به نام خدا

تغذیه و غذادهی ماهی و سخت‌پوستان

مؤلفین : ج. گیوم، س. کاشیک، پ. برگات، ر. متیلر

مترجم : دکتر مرتضی علیزاده

ویراستار فنی : دکتر ابوالفضل سپهداری

عنوان و نام پدیدآور	: تغذیه و غذادهی ماهی و سخت‌پوستان/ مؤلفین : ج. گیوم {و دیگران} ؛ مترجم مرتضی علیزاده؛ ویراستار فنی ابوالفضل سپهداری .
مشخصات نشر	: تهران : موسسه تحقیقات شیلات ایران ،مدیریت اطلاعات علمی ، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	: ۵۱۰ ص.
شابک	: ٤٥٠٠٠ ریال : 978-964-5856-38-8
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی : Nutrition et alimentation des poisons et crustaces,2001.
یادداشت	: اصل کتاب حاضر به زبان فرانسه است و کتاب حاضر از متن انگلیسی آن با عنوان "Nutrition and feeding of fish and crustaceans" به فارسی برگردانده شده است.
یادداشت	: مولفین ج. گیوم ، س. کاشیک، پ. برگات ،ر. متیلر.
یادداشت	: کتابنامه : ص. ٤٨٩-٥٠١.
یادداشت	: واژه‌نامه
یادداشت	: نمایه
موضوع	: ماهی‌ها -- تغذیه
موضوع	: سخت‌پوستان -- تغذیه
شناسه افزوده	: گیوم، ژان، ١٩٣٦ - م.
شناسه افزوده	: Guillaume, Jean
شناسه افزوده	: علیزاده، مرتضی، ١٣٤٧ - مترجم
شناسه افزوده	: سپهداری، ابوالفضل، ١٣٣٨ - ، ویراستار
شناسه افزوده	: موسسه تحقیقات شیلات ایران . مدیریت اطلاعات علمی
رده‌بندی کنگره	: ١٣٨٨ ٧ ت/SH ١٥٦
رده‌بندی دیویی	: ٦٣٩/٨
شماره کتابشناسی ملی	: ١٩١٨٠٩٥

نام کتاب : تغذیه و غذادهی ماهی و سخت‌پوستان
مؤلفین : ج. گیوم، س. کاشیک، پ. برگات، ر. متیلر
مترجم: دکتر مرتضی علیزاده
ویراستار فنی : دکتر ابوالفضل سپهداری
ویراستار ادبی : گل‌اندام آل‌علی
شمارگان : ٦٠٠ نسخه
چاپ اول : سال ١٣٨٨
ناشر : موسسه تحقیقات شیلات ایران – مدیریت اطلاعات علمی
(خیابان فاطمی غربی – پلاک ٣٢٥- تلفن ٦٦٩١٩١٣٣ – www. IFRO. ir)
شابک : ٨-٣٨-٥٨٥٦-٩٦٤-٩٧٨ (ISBN : 978- 964-5856-38-8)
نشر : انتشارات علمی آبزیان – تلفن ٢١- ٢٢٩٠٦٢٢٠
قیمت : ٤٥٠٠٠ ریال

پیشگفتار

امروزه سهم صنعت آبزی‌پروری در تولید فرآورده‌های آبزی قابل مصرف حدود ۲۲ درصد است. در حالیکه در سالهای اخیر تولیدات حاصل از صیادی به مقدار نسبتاً ثابتی رسیده، صنعت آبزی‌پروری با سرعت قابل ملاحظه‌ای رو به گسترش است. هم اکنون روشهای متنوعی از آبزی‌پروری در سراسر جهان در حال اجراست. تولید انبوه کپور ماهیان چینی و هندی (۷۰ درصد تولیدات آبزی‌پروری در آبهای شیرین) صرفا از طریق پرورش غیرمتراکم حاصل می‌شود. تقریباً کل میگوهای پرورشی با استفاده از روش نیمه متراکم تولید می‌شود که در آن غذای طبیعی نقشی اساسی را در تغذیه ایفا می‌کند. از سوی دیگر، در کشورهای توسعه‌یافته و بسیاری از کشورهای در حال توسعه، تولید متراکم بر پایه استفاده از غذای دستی در حال گسترش است. پویایی این صنعت، بویژه در مورد پرورش متراکم، نیاز روز افزون به کسب اطلاعات علمی و تکنیکی دقیق و تخصصی را مطرح می نماید. دانش آبزی‌پروری پیرامون موضوع های فیزیولوژی، پاتولوژی و تغذیه به اندازه اطلاعات موجود در زمینه پرورش دام و طیور نیست. برای مثال، اگرچه اکثر مطالعات انجام شده در زمینه تغذیه ماهی در محیطهای آزمایشگاهی، افزایش آگاهیهای فنی و علمی را موجب شده‌اند، اما لازم است برای بروز شدن، اطلاعات موجود مورد بررسی و بازنگری قرار گیرند.

هدف این کتاب ارائه اطلاعات تایید شده به صورت قابل فهم برای دانشجویان ،محققان و تکنسین‌های علاقه مند به آبزی‌پروری است. همه این افراد به آسانی به کتابهایی در زمینه مهره‌داران عالی دسترسی دارند، ولی این کتاب جنبه‌های مختلف تغذیه ماهی و سخت‌پوستان را ضمن مقایسه با منابع متعدد موجود در مورد پستانداران و پرندگان، ارائه نموده است.

اطلاعات علمی مربوط به متابولیسم و انرژی یا مواد مغذی بطور مختصر ذکر شده‌اند. خوانندگانی که مایل به کسب اطلاعات بیشتر هستند باید به کتابها یا مقالات مختلف مذکور در بخش کتابنامه، مراجعه نمایند. البته در این کتاب موضوع تغذیه و غذادهی ماهی و سخت پوستان تا حد امکان پوشش داده شده است. موضوعات خاصی نظیر فیزیولوژی گوارش سخت پوستان یا لارو ماهی در فصول جداگانه تشریح گردیده ضمن آنکه مطالب متنوعی همچون مواد خام، فرآوری غذا و مصرف آن توسط آبزیان پرورشی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارائه مفیدتر مطالب کتاب، از جداول و اطلاعات عددی استفاده شده تا بتوان از آنها به طور مستقیم در فرموله کردن غذا در آبزی‌پروری استفاده کرد.

از زمان پیدایش بیماری جنون گاوی، استفاده از جیره های غذایی حاوی آردهایی با منشأ حیوانی از نظر اروپائیان مورد تردید قرار گرفت. این مسئله ما را برآن داشت تا شرح مختصری از این قبیل آردها که جزء مواد خام محسوب می شوند را در کتاب بگنجانیم، هرچند ماهیت تفصیلی این مواد مغایر با رسالت اصلی کتاب است.

امید است تا این کتاب که بخش عمده آن توسط اعضاء گروه مشترک تغذیه ماهی IFREMER- INRA به رشته تحریر درآمده، بتواند زمینه ساز اطلاعات مفیدی باشد که تاکنون تدوین یا چاپ نشده است.

Jean Guillaume, Sadasivam Kaushik,
Pierre Bergot, Robert Metailler

مقدمه مترجم

صنعت آبزی پروری جهانی از دو دهه گذشته تا کنون رشد قابل توجهی داشته و در تامین پروتئین مورد نیاز جامعه نقش مهمی را ایفا میکند. هر چند هنوز در برخی نقاط جهان روش های غیر متراکم برای پرورش آبزیان رایج است،ولی آبزی پروری متراکم که مبتنی بر تغذیه دستی است ، به صورت روزافزون در حال گسترش است. ایران نیز از جمله کشورهایی است که طی دهه گذشته بیشترین میزان رشد آبزی پروری را در جهان داشته است. رشد این صنعت در کشور ما که عمدتا بر اساس پرورش نیمه متراکم و متراکم آبزیان است، بیشتر ناشی از پتانسیل بالای تولید،استقبال سرمایه گذاران و نیز تلاش های صورت گرفته توسط سازمان های مرتبط با آبزی پروری بوده است.بهبود شناخت ما از احتیاجات غذایی گونه های ماهی و میگو در افزایش تولیدات آبزی پروری نقش مهمی داشته است بطوریکه در حال حاضر صنعت جهانی خوراک های آبزیان پرورشی توسعه و تکامل زیادی یافته و خوراک های تخصصی شده و متنوعی تولید و عرضه میشوند. این دستاورد ها حاصل تلاش محققین و بازنگری مداوم استراتژی های تغذیه ای آبزی پروران است.

با توجه به اهمیت زیاد غذا و غذادهی در آبزی پروری و اختصاص بخش قابل توجهی از هزینه های جاری پرورش به تامین غذا،تدوین استراتژی غذادهی توسط مدیران مزارع پرورشی از جایگاه ویژه ای در مدیریت پرورش برخوردار است. هر چند پیشرفت های زیادی در زمینه تغذیه آبزیان پرورشی در سطح جهان صورت گرفته، ولی مدیریت تغذیه در مزارع پرورشی کشور از سطح مطلوبی بهره مند نیست. مهمترین راهکار برای رفع این مشکل ارتقاء اطلاعات و دانش فنی پرورش دهندگان است.

هر چند طی سالهای اخیر منابع علمی متعددی در زمینه تغذیه آبزیان در کشور ترجمه یا تالیف شده است، ولی این کتاب که توسط تعدادی از متخصصین صاحب نام جهان در زمینه تغذیه آبزیان تالیف شده، حاوی اطلاعات جامع و کاملی در تمام مباحث مرتبط با تغذیه و غذا دهی ماهی و سخت پوستان است و میتواند راهنمای خوبی برای آبزی پروران،کارشناسان،دانشجویان ،تکنسین ها و سایر افراد علاقمند باشد.

مطالب ارزشمند این کتاب اینجانب را بر آن داشت تا با کمک تعدادی از کارشناسان شیلاتی و مساعدت مدیریت محترم اطلاعات علمی موسسه تحقیقات شیلات ایران اقدام به ترجمه آن نمایم. در اینجا بر خود لازم میدانم از کارشناسان ارجمندی که کتاب حاضر را مرهون همکاری صمیمانه آنها میدانم،تقدیر و تشکر نمایم. از سرکار خانم **مهندس اکرم بمانی** برای همکاری دلسوزانه و همه جانبه ایشان در ترجمه، بازبینی، تهیه و تدوین مطالب، استخراج تصاویر و تنظیم نهایی این کتاب تشکر میکنم. از سرکار خانم

مهندس زهرا حافظی نژاد به خاطر همکاری بسیار ارزنده و موثر ایشان درترجمه این کتاب کمال امتنان را دارم. بی شک حمایت بی دریغ و زحمات فراوان این دو همکار ارجمند تاثیر بسزایی در انتشار این اثر علمی داشته است. از جناب آقای دکتر ابوالفضل سپهداری که با دقت و حساسیت ویرایش علمی کتاب را انجام دادند،سپاسگزارم. همچنین از سرکار خانم مهندس ملوک پورامینی به خاطر همکاری در بازبینی متن و همچنین سرکار خانم آل علی به خاطر ویرایش ادبی کتاب صمیمانه تقدیر و تشکر مینمایم.

هرچند تلاش و دقت زیادی در ترجمه این کتاب نفیس بعمل آمد ولی یقینا خالی از اشکال نیست. امید است متخصصین ارجمند اینجانب را از رهنمودهای خود محروم نفرمایند.

با آرزوی آینده‌ای درخشان برای صنعت آبزی‌پروری کشور

مرتضی علیزاده

عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات شیلات ایران

فهرست مطالب

پیشگفتار

«فصل ۱» مقدمه ۱

۱-۱- منشا صفات تغذیه ای ماهیان و سخت پوستان ۲

«فصل ۲» اصطلاحات و روش ها ۸

۱-۲ - تغذیه : بخش های اصلی و ایده های بنیادی ۹

۲-۲ - برخی معیار ها برای تعیین بازدهی غذادهی ۱۱

۳-۲ - تعریف رشد ۱۲

٤-۲- برخی از توصیه ها در مورد آزمایشهای تغذیه ماهی ۱۳

«فصل ۳» رفتار تغدیه ای و تنظیم دریافت غذا ۱۹

۱-۳ - تنظیم مرکزی و محیطی دریافت غذا ۱۹

۲-۳ - روش های اندازه گیری میزان دریافت غذا ۲۱

۳-۳- عوامل موثر بر مصرف غذا ۲۲

۱-۳-۳) عوامل تغذیه ای ۲۲

۲-۳-۳) عوامل زیست محیطی ۲۳

۳-۳-۳) عوامل رفتاری ۲٤

٤-۳ - خلاصه ۲۷

«فصل ۴» فیزیولوژی دستگاه گوارش و قابلیت هضم مواد غذایی در ماهی ها ۲۸

۱-٤ - آناتومی و فیزیولوژی دستگاه گوارش ۲۸

۱-۱-٤) آناتومی دستگاه گوارش ۲۸

۲-۱-٤) آنزیم های گوارشی ۳۹

۳-۱-٤) جذب مواد غذایی ٤۸

٤-۱-٤) زمان هضم ٥۱

٥-۱-٤) بررسی کلی پدیده هضم ـ جذب ٥۳

۲-٤ - قابلیت هضم مواد غذایی ٥۳

۱-۲-٤) شاخص های هضم پذیری ٥٤

۲-۲-٤) روش های کاربردی در مطالعه قابلیت هضم ٥٥

۳-۲-٤) مواد دفعی ٥۷

٤-٢-٤) جمع آوری مدفوع ٥٨
٥-٢-٤) استانداردسازی..... ٦٢
٦-٢-٤) قابلیت هضم مواد غذایی: نتایج..... ٦٤
٧-٢-٤) سایر متغیرها..... ٦٧
٣-٤ - خلاصه..... ٦٩
«فصل ٥» انرژی زایی مواد غذایی..... ٧٠
١-٥- تولید انرژی در سطح سلولی..... ٧٠
١-١-٥) کلیات ٧٠
٢-١-٥) کاتابولیسم اسیدهای‌آمینه..... ٧٤
٣-١-٥) کاتابولیسم چربیها..... ٧٤
٤-١-٥) کاتابولیسم هیدرات‌کربن ٧٥
٥-١-٥) چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید(TCA) ٧٥
٦-١-٥) چرخه تنفسی..... ٧٦
٢-٥ - تقسیم‌بندی انرژی غذایی..... ٧٧
١-٢-٥) انرژی خام..... ٧٨
٢-٢-٥) انرژی قابل هضم..... ٧٨
٣-٢-٥) انرژی قابل متابولیسم..... ٧٨
٤-٢-٥) انرژی خالص ٨٠
٣-٥ - نیاز های انرژی ماهی..... ٨٤
١-٣-٥) اصول اندازه گیری ٨٤
٢-٣-٥) مصرف انرژی ماهیان تغذیه نشده ٨٥
٣-٣-٥) عوامل مؤثر بر حداقل مصرف انرژی..... ٨٨
٤-٣-٥) نیازهای انرژی نگهداری ٩١
٥-٣-٥) نیازهای انرژی برای تولید ٩٢
٤-٥ - توازن انرژی و ذخیره آن..... ٩٥
١-٤-٥) روش های اندازه گیری سیر انرژی ٩٦
٢-٤-٥) ذخیره انرژی..... ٩٧
٥-٥- خلاصه..... ٩٩
«فصل ٦» پروتئین ها..... ١٠١
١-٦ - ویژگی های متابولیسم پروتئین در ماهی..... ١٠٢

۱-۱-٦) متابولیسم اسیدهای آمینه..... ۱۰۲
۲-۱-٦) تغییرات در متابولیسم ۱۱٤
۲-٦ - نیازهای پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری..... ۱۱٦
۱-۲-٦) برخی تعاریف ها..... ۱۱٦
۲-۲-٦) روش های مطالعه..... ۱۱۷
۳-۲-٦) کیفیت غذایی پروتئین ها ۱۲۲
٤-۲-٦) کل نیازهای پروتئینی ۱۲۸
۳-٦ - نیازهای مطلوب ۱۳۷
۱-۳-٦) پروتئین کل و اسیدهای آمینه ضروری بر حسب درصد غذا..... ۱۳۷
۲-۳-٦) پروتئین کل، اسیدهای آمینه ضروری و سطح انرژی..... ۱۳۸
۳-۳-٦) سایر رویکردها برای آینده ۱۳۹
٤-٦- خلاصه..... ۱٤۱
«فصل ۷» چربی ها..... ۱٤۲
۱-۷ - قابلیت هضم پذیری..... ۱٤۳
۱- ۱- ۷) انتقال..... ۱٤٦
۲-۱-۷) ذخیره سازی..... ۱٤۷
۳-۱-۷) استفاده از ذخائر چربی ۱٤۹
۲-۷ - نیازهای اسید های چرب ضروری ۱۵۰
۱-۲-۷) سنتز داخلی و تبدیل زیستی اسیدهای چرب..... ۱۵۰
۲-۲-۷) اسیدهای چرب ضروری..... ۱۵۲
۳-۷ - اهمیت چربی ها در جیره های ماهی..... ۱۵۹
۱-۳-۷) کلیات ۱۵۹
۲-۳-۷) اثرات صرفه جویی بر مصرف پروتئین و کاهش مواد دفعی ۱۵۹
٤-۷ - تاثیر چربی های جیره غذایی در ترکیب بدن و کیفیت ماهی..... ۱٦۱
۱-٤-۷) ارتباط بین چربی های جیره غذایی و چربی های بافتی ۱٦۱
۲-٤-۷) تاثیر چربی های جیره غذایی در کیفیت ماهی..... ۱٦۱
۳-٤-۷) اهمیت پراکسید شدن چربی ها..... ۱٦٦
۵-۷ - خلاصه..... ۱۷۰
«فصل ۸» هیدراتهای کربن..... ۱۷۱
۱-۸ - هضم – قابلیت هضم..... ۱۷۵

۲-۸ - متابولیسم گلوکز ۱۷٦
۱-۲-۸) بالا رفتن قند خون و کنترل آن توسط انسولین ۱۷۸
۲-۲-۸) فسفوریلاسیون گلوکز ۱۷۹
۳-۲-۸) کاتابولیسم هیدراتهای کرین ۱۸۰
۳-۸ - سنتز و متابولیسم گلیکوژن ۱۸۲
۱-۳-۸) گلیگوژنئوژنزیز ۱۸۲
۲-۳-۸) ذخائر گلیکوژن ۱۸۲
۳-۳-۸) مصرف ذخائر ۱۸۳
٤-۸ - اهمیت و محدودیتهای نقش انرژی‌زایی هیدراتهای کربن ۱۸٤
۵-۸ - فیبر و ترکیبات پرکننده ۱۸۵
۱-۵-۸) تعریف ۱۸۵
۲-۵-۸) ارزیابی ها ۱۸۵
۳-۵-۸) نقش های تغذیه‌ای ۱۸٦
٤-۵-۸) سایر عملکردها ۱۸۷
٦-۸ - خلاصه ۱۸۸
«فصل ۹» ویتامین ها ۱۸۹
۱-۹- تعاریف ۱۸۹
۲-۹ - کلیات ۱۹۱
۱-۲-۹) خصوصیات ویتامین ها و انواع آنها ۱۹۱
۲-۲-۹) طبقه بندی ۱۹۱
۳-۲-۹) پایداری و قابلیت دسترسی ۱۹۲
٤-۲-۹) ویتامرها و آنتی ویتامین‌ها ۱۹٤
۵-۲-۹) جذب ۱۹٤
٦-۲-۹) نقش متابولیک ۱۹۵
۷-۲-۹) استانداردهای غذادهی و نیازها؛ علائم کمبود و مسمومیت‌ها ۱۹٦
۳-۹- ویتامین های با عملکردکوآنزیمی ساده ۱۹۷
۱-۳-۹) تیامین ۱۹۷
۲-۳-۹) پیریدوکسین ۲۰۰
۳-۳-۹) بیوتین ۲۰۱
٤-۳-۹) اسید فولیک و پلی‌گلوتامین‌ها ۲۰۲

۵-۳-۹)کوبالامین‌ها..... ۲۰۲
۶-۳-۹) رتینول..... ۲۰۳
۹-٤ - انتقال و اکسیداسیون – احیاء ویتامینهای کوآنزیمی..... ۲۰۵
۱-٤-۹) ریبو فلاوین..... ۲۰۵
۲-٤-۹) نیاسین ۲۰۷
۳-٤-۹) اسید پانتوتنیک..... ۲۰۸
٤-٤-۹) ویتامینهای K..... ۲۰۹
۵- ۹ - آنتی‌اکسیدانها..... ۲۱۰
۱-۵-۹) آسکوربیک و دی‌آسکوربیک اسید..... ۲۱۰
۲-۵-۹) توکوفرول‌ها..... ۲۱۲
۶-۹ کلسیفرول..... ۲۱۳
۷-۹ شبه ویتامینها و عوامل موثر بر رشد..... ۲۱٤
۱-۷-۹) کولین ۲۱۵
۲-۷-۹) اینوزیتول..... ۲۱۵
۳-۷-۹) عوامل موثر بر رشد ۲۱۶
۸-۹- نیاز ها و تامین آنها..... ۲۱۷
۹-۹ - خلاصه..... ۲۱۸
«فصل ۱۰» مواد معدنی..... ۲۱۹
۱-۱۰ - ویژگیهای تغذیه‌ای مواد معدنی ۲۲۰
۱-۱-۱۰) کلیات ۲۲۰
۲-۱-۱۰) تعامل بین محیط زیست، موجودات آبزی و احتیاجات غذایی..... ۲۲۰
۲-۱۰ - مواد معدنی ۲۲۲
۱-۲-۱۰) کلسیم..... ۲۲۲
۲-۲-۱۰) فسفر ۲۲۶
۳-۲-۱۰) منیزیم..... ۲۲۸
٤-۲-۱۰) سدیم ـ کلرین و پتاسیم..... ۲۲۸
۳-۱۰- عناصرکمیاب..... ۲۲۹
۱-۳-۱۰) آهن..... ۲۳۱
۲-۳-۱۰) مس..... ۲۳۱
۳-۳-۱۰) روی..... ۲۳۲

٤-٣-١٠) منگنز ٢٣٣
٥-٣-١٠) سلنیم ٢٣٣
٦-٣-١٠) ید ٢٣٤
٧-٣-١٠) سایر عناصر کمیاب ٢٣٤
٤-١٠ - خلاصه ٢٣٥
«فصل ١١» کاروتنوئیدها وتجمع آنها در بافت ٢٣٦
١-١١- قابلیت رنگ‌آمیزی بافت‌ها توسط رنگدانه‌های کاروتنوئیدی ٢٣٧
١-١-١١) ساختار ٢٣٧
٢-١-١١) رنگهای ویژه ٢٣٩
٣-١-١١) قابلیت هضم یا قابلیت دسترسی ٢٣٩
٤-١-١١) تبدیل متابولیک ٢٤٠
٥-١-١١) میل ترکیبی ویژه در بافت‌ها ٢٤٠
٢-١١ - شاخص‌های ارزیابی قابلیت رنگ‌آمیزی بافتی ٢٤٢
١-٢-١١) آنالیز شیمیایی ٢٤٢
٢-٢-١١) ارزیابی کالریمتریک ٢٤٢
٣-٢-١١) آنالیزحسی ٢٤٣
٣-١١- عوامل مؤثر بر رنگ‌آمیزی بافتی ٢٤٤
١-٣-١١) عوامل تغذیه‌ای ٢٤٤
٢-٣-١١) تغییرات مرتبط با حیوان ٢٤٩
٣-٣-١١) عوامل زیست‌محیطی ٢٥٢
٤-١١- سایر نقش‌های کاروتنوئیدها در حیوانات ٢٥٣
٥-١١- خلاصه ٢٥٣
«فصل ١٢» روند تکامل رشد و فیزیولوژی گوارش در لارو ماهی‌ها ٢٥٤
١-١٢- رشد پیش‌لاروی ٢٥٤
١-١-١٢) استفاده از ذخائر کیسه زرده ٢٥٤
٢-١-١٢) استفاده از گویچه چربی ٢٥٨
٢-١٢ - انتقال از مرحله تغذیه داخلی به خارجی ٢٥٩
١-٢-١٢) تمایز دستگاه گوارش ٢٥٩
٢-٢-١٢) اثر تاخیر بر تغذیه ٢٦٠
٣-١٢ مراحل تکامل لاروی ٢٦١

۱-۳-۱۲) ویژگیهای رشد و تکامل ۲٦۱
۲-۳-۱۲) سیستم‌های آنزیمی ۲٦٤
٤-۱۲ - خصوصیات ماهیان جوان ۲٦۹
۱-٤-۱۲) همگنی گروههای همزاد ۲٦۹
۲-٤-۱۲) ناهنجاری‌های مراحل تکامل ۲٦۹
۵-۱۲ - خلاصه ۲۷۰
«فصل ۱۳» تغذیه لارو ماهی با غذای زنده ۲۷۱
۱-۱۳ - غذای زنده مورد استفاده در آبزی‌پروری دریایی ۲۷۲
۱-۱-۱۳) ارگانیسم‌های تک سلولی ۲۷۳
۲-۱-۱۳) ارگانیزم‌های زنده حیوانی ۲۷٤
۲-۱۳- نیازهای تغذیه‌ای لارو ۲۷۸
۳-۱۳ - ارزش غذایی غذای زنده ۲۷۹
۱-۳-۱۳) روشهای پرورش ۲۷۹
۲-۳-۱۳) روشهای غنی‌سازی ۲۷۹
۳-۳-۱۳) انرژی ۲۸۰
٤-۳-۱۳) ترکیب چربی و اسیدهای چرب ضروری ۲۸۱
۵-۳-۱۳) ترکیب پروتئین ۲۸۳
٦-۳-۱۳) مواد معدنی ۲۸٤
۷-۳-۱۳) ویتامین‌ها ۲۸۵
۸-۳-۱۳) آلوده‌کننده‌ها و مواد سمی ۲۸۵
٤-۱۳- غذادهی عملی ۲۸۵
۱-٤-۱۳) رفتار تغذیه‌ای لاروها ۲۸۵
۲-٤-۱۳) اندازه و نوع طعمه ۲۸٦
۳-٤-۱۳) جنبه‌های کمی ۲۸٦
٤-٤- ۱۳) مدیریت کیفیت غذای زنده در مخازن پرورش لارو ۲۸۷
۵-۱۳ - کیفیت باکتریایی غذای زنده ۲۸۸
۱-۵-۱۳) اهمیت باکتری‌ها در چرخه مواد غذایی ۲۸۸
۲-۵-۱۳) عملکرد پیچیده ویبریوها ۲۸۹
۳-۵-۱۳) پیشگیری ۲۸۹
٤-۵-۱۳) تیمارهای اختصاصی ۲۹۰

٦-١٣- نتایج **٢٩١**
٧-١٣ - خلاصه **٢٩٢**
«فصل ١۴» خوراک ساختنی برای تغذیه لارو **٢٩٣**
١-١٤ - شرایط استفاده از غذاهای دستی **٢٩٤**
١-١-١٤) روش های تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای مصنوعی ٢٩٤
٢-١-١٤) روشهای توزیع ٢٩٦
٣-١-١٤) انطباق دستگاههای پرورشی ٢٩٧
٢-١٤ - ویژگیهای غذای ساختنی در مرحله تغذیه لاروی **٢٩٧**
١-٢-١٤) اهداف و محدودیت‌ها ٢٩٧
٢-٢-١٤) مشخصات فیزیکی ٣٠٠
٣-٢-١٤) روشهای ساخت ٣٠١
٣-١٤ - ترکیب ذرات غذایی **٣٠٣**
١-٣-١٤) نیازهای غذایی ٣٠٣
٢-٣-١٤) رفع نیازها و انتخاب اجزای اصلی ٣٠٤
٤-١٤- خلاصه **٣٠٥**
«فصل ١٥» فیزیولوژی هضم میگوها **٣٠٦**
١- ١٥ - آناتومی و بافت‌شناسی دستگاه گوارش **٣٠٧**
١-١-١٥) دهان ٣٠٧
٢-١-١٥) مری ٣٠٨
٣-١-١٥) معده ٣٠٩
٤-١-١٥) غدد گوارشی ٣١٢
٥-١-١٥) روده میانی ٣١٤
٦-١-١٥) روده خلفی ٣١٥
٢-١٥ - عملکرد دستگاه گوارش **٣١٥**
١-٢-١٥) عادات تغذیه‌ای و گیرنده‌های شیمیایی ٣١٥
٢-٢-١٥) انتقال هضم ٣١٦
٣-٢-١٥) جذب و هضم ٣١٦
٤-٢-١٥) آنزیم‌های گوارشی ٣١٦
٥-٢-١٥) فلور گوارشی ٣٢٠
٦-٢-١٥) مسیرهای جذب ٣٢١

۳-۱۵- تنظیم و تعادل گوارشی **۳۲۲**
۱-۳-۱۵) قابلیت هضم‌پذیری مواد مغذی اصلی ۳۲۲
٤-۱۵ - خلاصه **۳۲۳**
«فصل ۱۶» تغذیه و غذادهی در لارو میگوهای پنئیده **۳۲٤**
۱-۱٦- تکامل لاروی و انتوژنی دستگاه گوارش **۳۲٤**
۱-۱-۱٦) مرحله اندوتروفیک ۳۲٤
۲-۱-۱٦) مرحله اگزوتروفیک ۳۲۵
۲-۱٦ - ظهور آنزیم‌های گوارشی و میزان فعالیت آنها در طول رشد **۳۲۷**
۱-۲-۱٦) شمای کلی فعالیت آنزیمی در طول رشد ۳۲۷
۲-۲-۱٦) سازگاری فعالیت آنزیمی با غذا ۳۲۸
۳-۱٦- نیازهای تغذیه‌ای **۳۳۰**
۱-۳-۱٦) پروتئین ۳۳۰
۲-۳-۱٦) چربی ۳۳۲
۳-۳-۱٦) ویتامین‌ها ۳۳٤
٤-۱٦- غذادهی عملی **۳۳٤**
۵-۱٦- خلاصه **۳۳۷**
«فصل ۱۷» تغذیه و غذادهی میگو در پرورش متراکم و گسترده **۳۳۸**
۱-۱۷ - تغذیه میگوهای جوان تحت شرایط آزمایشگاهی **۳۳۹**
۱-۱-۱۷) نیازهای پروتئینی ۳۳۹
۲-۱-۱۷) نیازهای اسیدهای‌آمینه ضروری ۳٤۲
۳-۱-۱۷) انرژی و **هیدراتهای کربن** ۳٤۳
٤-۱-۱۷) چربیها ۳٤۵
۵-۱-۱۷) ویتامین‌ها ۳٤۷
٦-۱-۱۷) مواد معدنی ۳٤۸
۷-۱-۱۷) سایر موارد ۳۵۰
۲-۱۷ - غذادهی میگو در سیستم پرورش تجاری **۳۵۰**
۱-۲-۱۷) اهمیت فرآوری ۳۵۰
۲-۲-۱۷) انواع خوراکهای اصلی ۳۵۱
۳-۲-۱۷) جیره‌های روزانه ۳۵۳
٤-۲-۱۷) روشهای توزیع غذا ۳۵۳

۵-۲-۱۷) بازدهی غذا..... ۳۵٤
۳-۱۷ - خلاصه ۳۵۵
«فصل ۱۸» مواد خام و افزودنی‌های مجاز در خوراک ماهی..... ۳۵٦
۱-۱۸ - مواد خام اصلی با منشا حیوانی..... ۳۵۷
۱-۱-۱۸) مزایا و معایب..... ۳۵۷
۲-۱-۱۸) آرد ماهی و سایر فرآورده‌های با منشا دریایی ۳۵۸
۳-۱-۱۸) آرد های حاصل از حیوانات خشک‌زی..... ۳٦٤
۲-۱۸- مواد خام گیاهی اصلی..... ۳٦٦
۱-۲-۱۸) مزایا و معایب..... ۳٦٦
۲-۲-۱۸) کنجاله دانه های روغنی ۳٦٦
۳-۲-۱۸) دانه‌های غلات و فرآورده‌های جنبی..... ۳٦۸
٤-۲-۱۸) حبوبات ۳٦۹
۵-۲-۱۸) آرد یونجه و برگها..... ۳٦۹
٦-۲-۱۸) مواد خام حاصل از ارگانیزمهای تک سلولی..... ۳۷۰
۳-۱۸- فرآورده‌های خالص‌سازی شده..... ۳۷۱
۱-۳-۱۸) چربیها ۳۷۱
۲-۳-۱۸) نشاسته‌ها..... ۳۷۲
۳-۳-۱۸) اسیدهای آمینه خالص‌سازی شده ۳۷۲
٤-۱۸- افزودنی‌ها..... ۳۷۳
۱-٤-۱۸) جاذب‌ها..... ۳۷۳
۲-٤-۱۸) افزودنی‌های خاص..... ۳۷۵
۵-۱۸- خلاصه..... ۳۷۸
«فصل ۱۹» عوامل ضد تغذیه ای..... ۳۷۹
۱-۱۹ - کلیات..... ۳۷۹
۱-۱-۱۹) طبقه‌بندی ۳۷۹
۲-۱-۱۹) نحوه وقوع و روشهای مقابله..... ۳۸۰
۲-۱۹ - عوامل ضد تغذیه‌ای..... ۳۸۱
۱-۲-۱۹) اسید فیتیک..... ۳۸۱
۲-۲-۱۹) عوامل ضد تریپسین..... ۳۸۲
۳-۲-۱۹) سایر عوامل ضد تغذیه‌ای پروتئینی..... ۳۸۳

٤-٢-١٩) گلوکوزینولاتها و عوامل ضد تیروئیدی ٣٨٤
٥-٢-١٩) ساپونین‌ها ٣٨٦
٦-٢-١٩) گوسیپول ٣٨٦
٧-٢-١٩) تانن‌ها ٣٨٧
٨-٢-١٩) آلکالوئیدها ٣٨٧
٩-٢-١٩) سایر عوامل ضد تغذیه‌ای حاصل از گیاهای عالی‌تر ٣٨٨
١٠-٢-١٩) سموم قارچی یا جلبکی ٣٨٩
٣-١٩- عوامل ضد تغذیه‌ای در فرآورده‌های حیوانی ٣٩١
١-٣-١٩) تیامیناز ٣٩١
٢-٣-١٩) هیستامین ٣٩٢
٣-٣-١٩) لیپیدهای پراکسید شده ٣٩٢
٤-٣-١٩) سموم جلبکی منتقل شده توسط ماهی ٣٩٣
٤-١٩ - خلاصه ٣٩٤
«فصل ٢٠» فرمولاسیون غذاها در آبزی‌پروری ٣٩٥
١-٢٠ - اصول کلی ٣٩٥
١-١-٢٠) اهداف اصلی ٣٩٥
٢-١-٢٠) طرح کلی ٣٩٦
٣-١-٢٠) ویژگیهای مرتبط با حیوان، غذا و محیط زیست ٣٩٧
٢-٢٠ - اصول و محدودیتهای فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه ٣٩٧
٣-٢٠ - محدودیتهای نظری فرمولاسیون خطی ٤٠٠
١-٣-٢٠) خطی بودن و جمع‌پذیری در تغذیه ٤٠٠
٢-٣-٢٠) موارد غیرقطعی و ناشناخته ٤٠١
٣-٣-٢٠) خصوصیاتی که تعیین آنها از نظر کمّی به آسانی امکانپذیر نیست ٤٠٢
٤-٢٠ - روشهایی برای مقابله با مشکلات ٤٠٣
١-٤-٢٠) واکنشهای متقابل- راه‌حلهای مختلف ٤٠٣
٢-٤-٢٠) نیازها، استانداردها و حدود اطمینان ٤٠٤
٣-٤-٢٠) فرمولاسیون با استفاده از ویژگیهای ناپایدار تغذیه‌ای ٤٠٤
٤-٤-٢٠) در نظرگرفتن فاکتورهای تغذیه‌ای مختلف با استفاده از محدودیتهای تکنیکی ٤٠٦
٥-٤-٢٠) تغییرات موقتی محدود ٤٠٧
٥-٢٠ - عوامل مرتبط با تکنولوژی یا محیط زیست ٤٠٧

۱-۵-۲۰) فرمولاسیون و فرآیند ساخت ٤٠٧
۲-۵-۲۰) فرمولاسیون، ساخت و توزیع ٤٠٨
۳-۵-۲۰) فرمولاسیون و حفاظت از محیط زیست ٤٠٩
٤-۵-۲۰) فرمولاسیون و کیفیت محصول نهایی ٤١٠
٦-۲۰ - سایر جنبه‌ها و موارد کاربرد فرمولاسیون خطی ٤١٠
۱-٦-۲۰) محاسبه ارزش آستانه ٤١١
۲-٦-۲۰) دامنه تحمل ٤١١
۳-٦-۲۰) هزینه نسبت‌ها ٤١١
٤-٦-۲۰) فرمولاسیون چندگانه ٤١٢
۷-۲۰- خلاصه ٤١٣
«فصل ۲۱» ساخت غذا ٤١٤
۱-۲۱ - فرآیندهای متداول در تولید غذای آبزیان ٤١٧
۱-۱-۲۱) آسیاب کردن ٤١٧
۲-۱-۲۱) تعیین نسبت‌های مواد در ترکیب غذا ٤١٨
۳-۱-۲۱) همگن‌سازی (مخلوط کردن) ٤١٩
۲-۲۱ - فرآیند ساخت غذا ٤٢٠
۱-۲-۲۱) سیستم پخت اکستروژن ٤٢٢
۲-۲-۲۱) فرآیندهای تکمیلی ٤٢٥
۳-۲-۲۱) استفاده از عوامل چسباننده یا همبند ٤٢٦
۳-۲۱- روشهای توصیف یک غذای ترکیبی ٤٢٧
۱-۳-۲۱) خصوصیات فیزیکی و هندسی ٤٢٧
۲-۳-۲۱) خصوصیات مکانیکی غذا در شرایط جو ٤٢٨
۳-۳-۲۱) ویژگیهای رفتاری غذا در محیط آبی ٤٢٩
٤-۲۱- خلاصه ٤٣١
«فصل ۲۲» روشهای غذادهی ٤٣٣
۱-۲۲ - اساس جیره‌های غذایی ٤٣٣
۱-۱-۲۲) تاثیر تعیین جیره‌ها در رشد و ضریب تبدیل غذا ٤٣٣
۲-۱-۲۲) غذادهی تا حد سیری ٤٣٤
۳-۱-۲۲) تراکم انرژی غذا و تنظیم مصرف توسط ماهی ٤٣٥
۲-۲۲ - عوامل اصلی موثر برتعیین نرخ غذادهی ٤٣٧

۱-۲-۲۲) اندازه ماهی، دما و رشد مورد نظر ٤٣٧
۲-۲-۲۲) محدودیتهای مربوط به محیط پرورش ٤٣٨
۳-۲-۲۲) تنظیم دفع مواد زائد ٤٣٩
۳-۲۲ - تعیین سطح غذادهی ٤٤٠
۱-۳-۲۲) جداول غذادهی ٤٤٠
۲-۳-۲۲) سطوح غذادهی بر اساس اطلاعات قبلی ٤٤٤
٤-۲۲- روشهای توزیع غذا ٤٤٥
۱-٤-۲۲) توزیع دستی ٤٤٥
۲-٤-۲۲) توزیع اتوماتیک ٤٤٥
۳-٤-۲۲) غذاده های تقاضایی ٤٤٦
۵-۲۲ - خلاصه ٤٤٧
ضمیمه A ٤٤٨
ضمیمه B ٤٦٠
ضمیمه C ٤٧٦
منابع ٤٨٩
فهرست اختصارات و لغات تخصصی ٥٠٢
فهرست اسامی متداول و علمی گونه های مذکور در کتاب ٥٠٨

«فصل ۱»

مقدمه

تا اواسط قرن بیستم مطالعات انجام شده صرفاً پیرامون آناتومی دستگاه گوارش موجودات و برخی جنبه‌های فیزیولوژیک گوارشی یا تغذیه حیوانات در محیط زیست طبیعی آنها صورت می‌گرفت. در پایان قرن نوزدهم پرورش ماهی به سمت تولید گونه‌های گوشتخوار در استخرها و مخازن پیش رفت، از آن پس تغذیه ماهیان پرورشی که پیش از این متکی به غذاهای طبیعی بود، به تغذیه دستی توسط انسان وابسته شد. اولین نوع غذای ترکیبی تحت عنوان پلت‌های تر اورگون، در دهه ۱۹۵۰ از مواد مغذی مختلف ساخته شد که نیازهای ماهیان پرورشی را به بهترین نحو ممکن برآورده می‌کرد. تولید پلت‌های خشک در پایان دهه ۱۹۵۰ در آمریکا و در اوایل دهه ۱۹۶۰ در اروپا آغاز گردید. از آن زمان به بعد، پرورش ماهی در ردیف تولیدات کشاورزی قرار گرفت و بررسی ها پیرامون احتیاجات غذایی آبزیان گسترش یافت. اگر چه عملاً این مطالعات، پیش از این و در اوایل دهه ۱۹۴۰ در کورتلند (آیداهو، ایالات متحده) آغاز گردید اما از دهه ۱۹۶۰ به بعد تلاشهای قابل ملاحظه‌ای در جهت انجام مطالعات تغذیه‌ای اختصاص یافت. در حال حاضردر سراسر دنیا، بیش از بیست تیم تحقیقاتی به انجام مطالعات پایه‌ای و کاربردی در زمینه تغذیه آبزیان مشغولند و به رغم شروع دیر هنگام، بواسطه وجود اطلاعات در زمینه نیازهای غذایی گونه‌های خشک زی، بسرعت به پیشرفت دست یافتند. گرچه عادات غذایی برخی ماهیان نظیر قزل‌آلای رنگین‌کمان (برای سادگی در این کتاب قزل‌آلا نامیده می‌شود) بخوبی شناخته شده است اما این در حالیست که هنوز در ارتباط با گونه‌های زیادی از ماهیان، اطلاعات محدودی وجود دارد.

در مجموع علم تغذیه آبزیان از سویی بواسطه جوان بودن و از سوی دیگر، به دلیل ویژگیهایی از جمله: خصوصیات زیست محیطی و تغذیه‌ای ماهی، با مشکلات بسیاری همراه است. متخصصین علوم تغذیه آبزیان از جمله فیزیولوژیست‌ها با موانع متعددی مواجه هستند. انجام آنالیز ترکیب بدن ماهی ساده‌تر از پستاندار است، ولی تعیین مقدار غذای خورده شده و بنابراین برآورد هزینه آن در رابطه با ماهی و حتی میگو بسیار دشوارتر از یک حیوان خشک زی است. از سویی، تکنیکهای رایج در این زمینه، از دقت کمتری نسبت به تکنیکهای مورد استفاده برای حیوانات خشک زی برخوردارند. همچنین مطالعه تغذیه لاروها و بچه ماهیان به دلیل وجود مشکلات بزرگتر با سرعت کمتری صورت می گیرد. مطالعه در این مرحله به سبب اندازه کوچک آبزیان، تکامل سریع آنها تا مرحله نوجوانی و بروز خصوصیاتی متفاوت از مهره داران، بسیار دشوار می‌باشد.

۱-۱ - منشأ صفات تغذیه‌ای ماهیان و سخت‌پوستان

همانطور که در جدول ۱ـ۱ مشخص شده است، ویژگیهای تغذیه‌ای ماهی دارای سه منشأ زئولوژیک (جانور شناسی)، بیولوژیک و اکولوژیک است. ماهیان بسیار متنوعند. براساس برآوردهای اخیر تعداد گونه‌های ماهیان استخوانی[1] به تنهایی، تقریبا برابر با مجموع سایر مهره‌داران از جمله دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران می‌باشد. هرچند به عقیده برخی تاکسونومیستها (متخصصان رده بندی)که در مطالعات خود از تکنیکهای مولکولی استفاده می کنند، این تعداد شناخته شده ممکن است نصف تعداد واقعی باشد. گرچه گونه های مختلف از نظر تکامل متفاوت بوده و هر یک از آنها با زیستگاههای مختلفی سازگار شده اند اما تنها تعداد اندکی از آنها مورد بررسی دانشمندان قرار گرفته اند. تعمیم اطلاعات حاصل از بررسی چندین گونه شناخته شده به تمامی ماهیان، یقینا گمراه کننده است و باید از مقایسه نتایج بدست آمده از هر منطقه با سایر مناطق اجتناب کرد.

[1] teleosts

جدول ۱-۱- ویژگیهای تغذیه‌ای آبزیان

منشأ ویژگی ها	نتایج
جانور شناختی	
٤٠٠٠٠ گونه (؟)	**تنوع زیاد بین گونه‌ای**
	تنوع احتیاجات
بیولوژیک	
مراحل لاروی	**عوامل ناشناخته(؟)**
رشد مداوم	**تفاوت نیازها همراه با افزایش سن(؟)**
فقدان معده	**فرآیند هضم منحصر بفرد**
فیزیولوژیک	
خونسرد بودن	**اثر دما بر فعالیت های گوارشی**
	کاهش انرژی مورد نیاز که بشدت با دما تغییر می کند.
دفع آمونیاک	**بهره‌وری نسبتا بالا از انرژی خالص پروتئینی**
اکولوژیک	
پایین بودن متوسط دمای بدن	**محدود بودن نقش فلور روده ای**
	دشوار بودن حفظ سیالیت غشا
	نیازهای منحصر به فرد به اسیدهای چرب
کمبود محتوای اکسیژنی	**نیاز به اکسیژن گیری و استفاده مداوم از تنفس غیر هوازی**
ویسکوزیته نسبتا بالای محیطی	**هیپرتروفی عضلات سفید- میزان زیادی پروتئین جهت سنتز این بافت مورد نیاز است (؟)**
چگالی بالای محیط	**کاهش نقش اسکلت بندی**
	کاهش نیاز به کلسیم و فسفر
انتشار مولکولی کند	**نقش نفش ویژه جاذبه های شیمیایی**
غنی بودن محیط از نظر عناصر ضروری	**تامین مستقیم املاح معدنی محلول ازمحیط اطراف**
زنجیره های غذایی منحصر به فرد (غالبیت گوشتخواران)	**کارآیی متفاوت منابع انرژی (کاتابولیسم شدید پروتئین و استفاده محدود ازکربوهیدرات ها)**
فراوانی اسیدهای چرب غیر اشباع	**کاهش قابلیت تبدیل زیستی**

ماهیان از ابتدایی‌ترین رده های مهره‌داران بوده که دارای خصوصیات اولیه می باشند. این ویژگیها شامل فقدان ماندیبولار[1]، فقدان معده در برخی خانواده‌ها، عدم تمایز روده کوچک وبزرگ، شاخصهای فیزیولوژیک از قبیل مکانیزم جذب از سلولهای دیواره روده از طریق پینوسیتوز[2] و تنظیم ناقص قند خون بعد از مصرف هیدراتهای کربن است. ویژگی دیگری که بین بی‌مهر گان و مهره‌داران ابتدائی‌تر متداول است رشد مداوم یا فقدان مرحله بلوغ به معنای واقعی است. از سوی دیگر، از جمله ویژگیهای ابتدائی ماهی که بدون شک از نظر عملی بسیار مهم است، وجود مرحله لاروی است. تنها درماهیان غضروفی[3] و برخی ماهیان استخوانی تخم‌گذار زنده‌زا[4] بچه ماهی نارس در مرحله پیشرفته‌تری متولد می شود و تقریبا تمام گونه‌های مناسب جهت آبزی‌پروری، تخم‌های کوچک و ریزی می‌گذارند. از این تخم‌ها، لاروهائی خارج می شوند که خصوصیات فیزیولوژی آنها هنوز بخوبی شناخته نشده و پرورش آنها اغلب دشوار است. بنابراین، انتخاب آزادماهیان به عنوان اولین ماهیان در آبزی‌پروری تصادفی نبوده است. در این خانواده بچه ماهیان نورس حاصل از تفریخ، براحتی مراحل دگردیسی[5] را طی می‌کنند. این خصوصیات اولیه از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، ولی نیازهای ویژه مراحل لاروی باعث مشکلات اساسی در توسعه آبزی‌پروری شده و برای بسیاری از گونه‌های پرورشی، تغذیه مرحله لارو هنوز بر اساس روشهای کم وبیش تجربی صورت می‌گیرد .

ماهیان خصوصیات فیزیولوژیک متفاوت زیادی دارند. نه تنها سیستم هورمونهای درون‌ریز آنها با پستانداران و پرندگان متفاوت است، بلکه خونسرد بودن و دفع آمونیاک نیز از ویژگیهای دیگر منحصربفرد آنها محسوب می‌شود.

خونسرد بودن، مصرف انرژی را به شکلی موثر تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین نیازهای حیوان مستقیما به دمای محیط وابسته خواهد بود.

---

[1] mandibular
[2] Pinocytosis
[3] Selachions
[4] Ovoviviparous
[5] Metamorphosis

این ویژگی اثر مستقیمی بر روابط بین انرژی و مواد غذائی دارد. دمای بدن موجودات خونسرد، همواره پایین‌تر از موجودات خونگرم است و فقط در شرایطی قادر به زیست هستند که غشاهای سلولی بدن آنها انعطاف پذیر باقی بماند. این حالت از طریق گنجاندن مقدار زیادی اسید چرب غیر اشباع ایجاد می‌شود و یکی از عملکرد چربیها در بدن ماهیان محسوب می‌شود. این مشخصه، نه تنها در ماهی بلکه در همه موجودات آبزی خونسرد از خصوصیات مهم تغذیه‌ای محسوب می‌شود .

همه ماهیان دفع‌کننده آمونیاک نیستند، اما در ماهیان استخوانی بیشتر مواد دفعی نیتروژن‌دار به شکل آمونیاک دفع می‌شوند. این پدیده ارزش انرژی‌زائی خالص پروتئینها، همچنین آلودگی زیست محیطی حاصل از مواد دفعی نیتروژنی را توسط ماهی تحت تاثیر قرار می‌دهد .

بین محیط زیست ماهیان و محیط خشکی شباهت اندکی وجود دارد. فشار جزئی پایین اکسیژن همراه با چگالی و ویسکوزیته بالای آب منجر به ایجاد ویژگیهای مشترک در گروههای مختلف تاکسونومیکی آبزیان، بخصوص در رابطه با منابع متداول برای متابولیسم بی‌هوازی و ذخیره انرژی از طریق شناوری می‌گردد. از عواقب ثانویه این دو ویژگی، افزایش نرخ تهویه، همچنین هیپرتروفی فیبرهای عضله سفید (به علت متابولیسم غیر هوازی) و آتروفی اسکلتی است. وجود این خصوصیات در ساختار آبزی می‌تواند نیازهای غذایی را تحت تاثیر قرار دهد که برای مثال، برای رشد استخوان در ماهی به کلسیم و فسفر کمتری نسبت به یک چهارپا با بیوماس مشابه نیاز است.

محیط آبی حاوی اکسیژن و مولکول های غیر آلی محلول است که وجود برخی از این مولکول‌ها برای حیات موجود آبزی ضروری است. آبزیان در مقایسه با حیوانات خشک‌زی به علت توانایی جذب مستقیم برخی از مواد غذایی مورد نیاز خود از محیط، از مزیت بالایی برخوردارند. اما مولکول های محلولی که حیوانات را به سمت طعمه یا غذا هدایت می کنند، در آب بسیار کندتر از هوا پخش می شوند. جاذب‌های غذایی یا محرک‌های تغذیه[1] تحت شرایط خاص نظیر تغییر رژیم غذایی از غذای طبیعی به غذای ترکیبی، نقش مهمی را در تغذیه لارو یا بچه ماهیان بر عهده دارند.

تعریف کلی از نیازهای غذایی ماهی، بدون توجه به موقعیت آنها در زنجیره غذایی آبی امکان‌پذیر نیست.

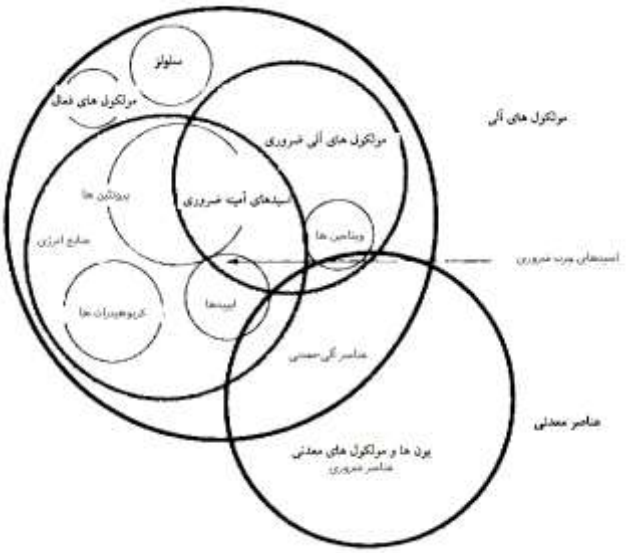
[1] Phagostimulants

زنجیر غذایی در محیط خشکی و در آب، با فتوسنتز شروع می‌شود. در خشکی، گیاهان عالی بوفور یافت می‌شوند درحالیکه در دریا اساس هرم غذایی را عمدتاً جلبک های تک سلولی تشکیل می‌دهند. در خشکی مهره‌داران علفخوار متعددی وجود دارند که برخی از آنها توسط انسان مورد مصرف قرار می‌گیرند، اما در دریا جلبک ها معمولا به وسیله ماهیان خورده نمی‌شوند، بلکه به مصرف زئوپلانکتون ها می‌رسند که این موجودات نیز توسط لارو ماهیان مصرف می‌شوند. حدود ۸۵ درصد از ماهیان دریایی را گوشتخوران سطح اول یا حتی سطح دوم زنجیره غذایی تشکیل می‌دهند و ماهیان علفخوار بزرگ بسیار نادرند. بر خلاف پرورش‌دهندگان سنتی حیوانات که اساسا به پرورش حیواناتی علاقه مندند که بخش عمده انرژی خود را از نشاسته و سلولز بدست می‌آورند، متخصصان آبزی‌پروری با آبزیان سروکار دارند که انرژی مورد نیاز خود را از طریق متابولیسم چربیها و پروتئین‌ها تامین می‌کنند.

نحوه تغذیه سخت‌پوستان بسیار منحصربفرد است. اگرچه عملکرد کلی دستگاه گوارش سخت‌پوستان مشابه مهره‌داران است، اما از نظر آناتومی تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. ترکیب اسکلت خارجی یا کاراپاس بسیار متفاوت از اسکلت استخوانی بوده و می‌تواند ظرفیت جذب مواد معدنی موجود در آب را از طریق پوست کاهش دهد. رشد همراه پوست‌اندازی در سخت‌پوستان، با ایجاد وقفه در جریان مواد غذایی[1] موجب می‌شود که این فرآیند هیچگونه شباهتی با مهره‌داران نداشته باشد. اما بسیاری از عوامل از قبیل خونسرد بودن، دفع آمونیاک و حتی ساختار زنجیره غذایی به طرز مشابهی احتیاجات غذایی ماهیان و سخت‌پوستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

اساساً، مجموعه مواد غذایی آلی و عناصر معدنی ضروری برای حیات ماهی، سخت پوستان و مهره داران عالی مشابه می باشد (شکل ۱-۱) و گاهی از نظر برخی نیازهای کمّی مهم نظیر اسیدهای آمینه ضروری یا ویتامین های محلول در آب با هم اختلاف دارند. این مطلب در مورد تمامی نیازهای کمّی صدق نمی‌کند و وجود این اختلافات در پستانداران و پرندگان بارزتر است که در فصل های بعدی به آن اشاره خواهیم نمود.

[1] Nutrient Flux



شکل ۱- ۱) نمودار احتیاجات غذایی کیفی حیوانات

مولکول های فعال : ترکیبات آلی در غذا که کارکرد مثبت (عوامل موثر بر رشد و غیره) یا منفی (مانند عوامل ضد غذایی) دارند (فصل ۸ و ۱۹)

((فصل ۲))

اصطلاحات و روشها

علم تغذیه نیز نظیر علوم فنی، اصطلاحات خاص خود را داشته که متشکل از واژه های تخصصی و عمومی با معانی خاص است و لازم است که این واژه ها در ارتباط با مبانی اصلی تعریف شوند.
اگرچه واژه تغذیه[1] اغلب برای بیان عمل غذادهی[2] بکار می‌رود، اما در این کتاب این اصطلاح به علم تغذیه[3] اختصاص داده می‌شود. علم تغذیه شاخه‌ای از علم فیریولوژی است و به مطالعه فعالیت‌هایی می‌پردازد که تامین مواد غذایی مورد نیاز جهت انجام فرآیندهای حیاتی یک موجود زنده را تضمین میکند. در اینجا، غذادهی به عنوان واژه‌ای کلی‌تر، به مفهوم غذای مورد استفاده برای تولیدات حیوانی و بخصوص برای هرچیزی که در تعیین نسبت‌ها و توزیع ذرات غذایی در جیره دخیل است، بکار خواهد رفت. ساخت غذاهای ترکیبی به دو بخش فرمولاسیون و تکنولوژی ساخت غذا (مراحل ساخت غذا) تقسیم می‌شود.

در یک نگاه، «تغذیه» به احتیاجات غذایی و انرژی می‌پردازد در حالیکه «غذادهی» به مواد اولیه خام مربوط می‌شود. گلوکز، اسیدهای‌آمینه و ویتامین‌ها از جمله مواد مغذی بوده که ترکیبات حد واسط غذا و مواد حاصل از متابولیسم را تشکیل می‌دهند.

---
[1] nutrition
[2] feeding
[3] Science of feeding

پروتئین‌ها، هیدراتهای کربن و چربیها در واقع ترکیبات اصلی غذا هستند که به اشتباه مواد مغذی نامیده می شوند. این مواد در واقع جزء ماکرونوترینت‌ها هستند اما این واژه در مورد آنها کمتر بکار می‌رود. عبارت «مواد مغذی انرژی زا» به آن دسته از ماکرونوترینتها اتلاق می شود که قادر به تولید انرژی هستند ولی انرژی حاصل از مواد غذایی بخودی‌خود یک ماده مغذی نیست. برخی محصولات قابل استفاده نظیر ماهیان کم ارزش[1]، بدون شک به شکلی رایج، نوعی غذا محسوب می‌شوند.

امروزه ترکیب غذاهای فرموله شده به گونه‌ای تعیین می‌شوند که تقریبا تامین‌کننده تمام غذای مورد نیاز ماهی در واحد های پرورشی پیشرفته می باشند. متخصصان تغذیه واژه «رژیم غذایی»[2] را برای غذادهی آزمایشی بکار می‌برند. در تغذیه، جیره غذایی همیشه بیان‌کننده مقدار غذای توزیع شده می‌باشد. محاسبه جیره غذایی در واحد وزن بدن، بیانگر نسبت غذادهی یا نرخ غذادهی است. همچنین جیره غذایی میتواند نشان دهنده درصد تغذیه بیشینه‌ای باشد که همان سطح غذادهی است و این به معنی درصدی از جیره‌غذایی است که حیوان تا مرحله سیری کامل از آن تغذیه می کند.

۱-۲ - تغذیه : بخشهای اصلی و ایده‌های بنیادی

تغذیه شامل مراحل رفتار تغذیه‌ای و گرفتن غذا، هضم و جذب (عمل گوارش)، متابولیسم موادغذایی و دفع مواد زاید می‌باشد.

اولین مرحله به اتولوژی یا علم رفتارشناسی حیوان مربوط است. وقتی که غذا خوش طعم باشد، حیوان اشتهای بیشتری برای خوردن غذا نشان می دهد. باید توجه نمود که در علم تغذیه، گرفتن غذا (شامل خوردن آن) را نمی توان جذب نامید. اصطلاح جذب به عبور مولکولهای غذایی یا غیرغذایی از دیواره روده (که در مفهوم بیولوژیک بخش خارجی موجود زنده محسوب می شود) به بخش داخلی اتلاق می شود. هضم ماکرونوترینت‌ها اولین مرحله از مصرف غذا قبل از انجام جذب است. این مرحله اغلب به عنوان قابلیت هضم[3] تعریف می شود که مفهومی بسیار کاربردی داشته و می توان با استفاده از معادله ای شامل مقادیر هضم و جذب ، مقدار آن را محاسبه نمود.

---

[1] trash fish
[2] Diet
[3] Digestibility

قابلیت هضم تنها در رابطه با مواد آلی و خشک و ماکرونوترینت ها بکار می‌رود. ضرایب قابلیت هضم در فصل ۴ تعریف خواهند شد. در ارتباط با ذرات غذایی، اصطلاح «قابلیت دسترسی»[1] استفاده می‌شود.

مرحله سوخت و ساز شامل یک سری فرآیندهای بیوشیمیایی است که تنظیمات آنها به عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیک وابسته است. فرآیندهای متابولیک معمولا از طریق اصطلاح حفظ یا تجمع یک ترکیب یا عنصر در توده بدن (اختلاف بین جذب و دفع) توصیف می‌شوند. زمانی که ابقاء غذا با افزایش بافت یا ترکیب شیمیایی مشخص (برای مثال، پروتئینهای بدن) همراه باشد، اصطلاح «ذخیره»[2] بکار می‌رود. در چنین مواقعی نباید از اصطلاح «جذب»[3] استفاده نمود (که از این پس در علم تغذیه کاربرد چندانی ندارد)، زیرا اغلب برای قابلیت هضم بکار می‌رود. ابقاء و دفع مواد غذایی مانند جذب، همواره با مقادیر مطلق تعریف می‌شوند و میزان آنها از طریق محاسبه ابقاء یا مصرف مواد غذایی تعیین می‌گردد که در فصول ۵ و ۱۱ توضیح داده خواهد شد. دفع، شامل تخلیه ترکیبات تولید شده در محیط داخلی است که تولیدات سنتز شده نظیر موکوس یا مواد جنسی[4] نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

امروزه متخصصان تغذیه بیشتر به سمت مطالعه نیازهای کیفی روی آورده اند. این نیاز ها شامل مولکول ها یا عناصر ضروری است که ذرات حیاتی نامیده می شوند و در صورتیکه این مواد مطلقا ضروری نباشند، تحت شرایط خاص به صورت ضروری یا نیمه ضروری در می‌آیند. امروزه اصطلاح نیمه ضروری کاربردی ندارد، ولی در این کتاب در ارتباط با آن دسته از مولکول‌هایی که از یک مولکول ضروری و تحت شرایط معین ساخته می شوند یا مولکول‌هایی که سنتز آنها دشوار است، بکار خواهد رفت. نیازهای کمی(مقادیر مورد نیاز از این مولکول ها یا عناصر) را به دو روش مختلف می توان مشخص نمود: نیازهای مطلق بصورت روزانه(برای مثال، میلی گرم به ازای هر مصرف کننده در روز یا میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن مصرف کننده در روز) و نیازهای نسبی به صورت مقدار یا نسبت (مثلا بصورت درصد جیره غذایی یا مقدار بر مگا ژول انرژی) ارائه می‌شوند. نیازهای هر مصرف‌کننده را می توان به دو بخش نگهداری و تولید تقسیم کرد. نگهداری، مرحله تامین غذای کافی برای مصرف کننده است بنحویکه نرخ انرژی صفر شود.

---

[1] Availability
[2] Accretion
[3] Assimilation
[4] sexual products

روش تحلیلی که در آن نیاز کل از طریق محاسبه نگهداری و رشد اندازه گیری می شود، در پرورش ماهی و سخت پوستان نسبت به پستانداران خشک زی ارزش کمتری دارد اما از این روش می توان تا حد معینی برای محاسبه جیره غذایی استفاده کرد. به منظور استفاده مفید از این روش در غذا دهی در ابتدا باید هر یک از نیازها را به استانداردی منطبق با دامنه ای از نیازها با حدود اطمینان مختلف، تبدیل نمود.

۲-۲ - برخی معیار ها برای تعیین بازدهی غذادهی

کارشناسان علوم جانوری اغلب کارآیی مصرف غذا را با استفاده از رابطه بین مقدار غذای خورده شده و افزایش وزن بدن محاسبه می کنند. این ضریب در واقع ، عکس عملکرد غذادهی بوده و ضریب تبدیل غذایی (FCR[1]) یا نسبت غذا به افزایش وزن (FGR[2]) نامیده می شود. باید توجه نمود که این رابطه صرفا تابع نوع غذا و حیوان نیست، بلکه به مقدار غذای خورده شده نیز بستگی دارد. درحقیقت، رابطه بین افزایش وزن بدن با مقدار غذای خورده شده یک رابطه خطی است ما نسبت مستقیم ندارد و متناسب با مقدار غذای خورده شده با توجه به شرایط نگهداری است. گاهی در آبزی‌پروری FCR از طریق افزودن وزن ماهیهای تلف شده به افزایش وزن بدن بدست آمده، مورد استفاده قرار می گیرد. بازدهی غذادهی عکس FCR بوده و چون به میزان ابقاء غذا در بدن محدود می شود، شاخص مناسب تری نسبت به FCR است و استفاده از آن به عنوان شاخص مصرف غذا توصیه می شود. سایر شاخص ها از قبیل نسبت کارایی پروتئین (PER[3]) را می‌توان برای بیان میزان مصرف پروتئین ها بکار برد. این شاخص تنها در رابطه با افزایش بیوماس است، درحالیکه سایر شاخص ها نظیر مصرف پروتئین خالص (NPU[4]) ، ضریب مصرف پروتئین(PUC[5]) یا میزان تولید پروتئین(PPV[6]) مقدار افزایش پروتئین بدن را نشان می دهند. همچنین با استفاده از ترکیب اسیدهای آمینه پروتئین‌ها، شاخص‌های بیشتری همچون شاخص شیمیایی و اسیدهای آمینه ضروری (یا شاخص Oser) را می‌توان محاسبه نمود. تعریف تمامی این شاخص ها در فصل ۶ ارائه شده است.

---

[1] Feed Conversion Ratio
[2] Feed Gain Ratio
[3] Protein Efficiency Ratio
[4] Net Protein Utilisation
[5] Protein Utilisation Coefficient
[6] Protein Production Value

بایستی توجه نمود زمانیکه یک ماده غذایی به عنوان یک عامل محدودکننده است (به عبارت دیگر در صورت کمبود آن، کارکرد زیستی حیوان افت شدید می کند) ، میزان قابلیت دسترسی آن ماده به عنوان معیاری برای بیان حداکثر مصرف بکار می رود. علاوه براینکه قابلیت دسترسی تابعی از هضم است، متعاقباً فرآیند جذب نیز با قابلیت دسترسی ارتباط داشته بنابراین، بیان روش مورد استفاده جهت محاسبه آن ضروری است.

۳-۲ - تعریف رشد

محصول اصلی ماهی ،گوشت است که بسادگی می توان با ثبت منظم افزایش وزن بدن برآورد نمود. معیار اصلی جهت اندازه‌گیری تولید، تعیین افزایش وزن در زمان مشخص است. افزایش بیومس در دوره‌های زمانی کوتاه مدت را می‌توان به عنوان تابع خطی زمان در نظر گرفت و اغلب نرخ رشد را به صورت افزایش وزن بر حسب درصد وزن متوسط بیان می‌کنند، اما نرخ رشد روزانه بیان‌کننده نرخ رشد در واحد زمان است. در بازه‌های زمانی طولانی‌تر نمی‌توان الگوی رشد را خطی فرض نمود بنابراین متخصصان علوم تغذیه معمولا از الگوهای نمایی نظیر $M = M_0 e^{kt}$ استفاده می کنند که M وزن بدن و t دوره زمانی است. توان منحنی،K ، مضربی از ۱۰۰ بوده که نرخ ویژه(SGR[1])نامیده می شود و بیانگر میزان رشد است.با این وجود، منحنی رشد حقیقی فقط در یک دوره زمانی کوتاه برای مثال، طی دوره لاروی به صورت نمایی است. (الگوی Muller – Fegua, 1990 ،کادر ۲-۱). رشد لحظه ای برابر با وزن بدن به توان ۲ است، در صورتیکه $r = 1$ باشد ، رشد نمایی بهترین حالت برای این مدل است. به طور کلی، در صورتیکه r متناسب با گونه‌ها و وضعیت فیزیولوژیک برآورد شود، بین مقادیر ۰/۵ تا ۰/۹ قرار میگیرد. همچنین رشد متناسب با شرایط دمایی (فصل ۵)، غذایی و پارامتر تصحیح می باشد. رشد لحظه‌ای[2] برابر با M^r است که r در محدوده ۰/۵ تا ۰/۹ می باشد.

اخیرا پیشنهاد شده که شاخص رشد روزانه (DGI[3]) جایگزین SGR گردد. این شاخص، در مقایسه با الگوی Muller- Fegua ،ساده تر است. در این شاخص، رشد متناسب با وزن بدن به توان $\frac{2}{3}$ است.

---

[1] Specific Growth Rate
[2] Instantaneous growth
[3] Daily Growth Index

اگر وزن بدن یک گرم یا حتی چند کیلوگرم باشد، این ضریب تغییر چندانی نخواهد کرد بنابراین، این ضریب نسبت به SGR امکان مقایسه بهتر نرخ رشد گروههای مختلف را فراهم می‌سازد. به‌بیان دقیق‌تر،این ضریب در هر شرایطی قابل قبول است. گرچه شاخص DGI هنوز بخوبی‌شناخته‌نشده‌است، اما درحال‌حاضر توسط برخی‌محققان‌و کارشناسان آبزی‌پروری بکار می‌رود.

سایر شاخص های پیشنهادی ، ضریب رشد (GC[1]) است. این شاخص برابر با نسبت DGI به مجموع دماها درجه حرارت(روز- درجه)است و در فیزیولوژی گیاهی بسیار کاربرد دارد و استفاده از آن در علوم جانوری به نوعی بدعت محسوب می‌شود. ازلحاظ تئوری، ضریب رشد(GC) امکان مقایسه گروههای پرورشی در دماهای مختلف فراهم می کند. اما دارای ایراداتی است که استفاده ار آن را با اشکالاتی مواجه می سازد. برخی شاخص‌ها در کادر ۲-۲ به طور خلاصه ارائه شده است.

٤-۲ - برخی از توصیه‌ها در مورد آزمایشهای تغذیه ماهی

در این کتاب آمار و آزمایشها مدنظر نیست، اما از آنجائیکه در فصول بعد مکررا به اغلب مطالعاتی که در آزمایشگاه انجام می شوند، اشاره خواهد شد در این فصل به برخی نکات خاص پیرامون مطالعات آزمایشگاهی اشاره خواهد شد.

نه، یا حذف یک ویتامین خاص بر بازماندگی موثر است ؟ همچنین در این آزمایشها، تخمین معیارهایی نظیر تعیین کمّی نیازهای تغذیه، یا برآورد ضریب هضم یا یک عامل اقتصادی مدنظر می باشد. بررسی یک فرضیه با احتمال بروز دو نوع خطا همراه است. خطای نوع اول و خطای نوع دوم که کارشناسان آماری آنها را بترتیب α وβ می نامند. نتایج حاصله هیچگاه دقیق نبوده و ممکن است با انواع دیگری از خطاها و طرح آزمایشاتی مستدل تر یا حتی اصلاح شرایط مجدداً مورد بررسی قرار بگیرند. هیچ آزمایشی مگر تحت شرایط خاص (گونه، وضعیت فیزیولوژیک، شوری، دما، اندازه مخزن، تعویض آب، طول دوره آزمایش، شرایط تغذیه ای و غیره)که باید توسط محقق کنترل شود، معتبر نبوده و مقایسه با سایر شرایط باید مورد به مورد و بصورت دقیق انجام شود.

[1] Growth Coefficient

کادر ۱-۲) تشریح رشد با استفاده از الگوی Muller – Feuga(1990)

معادله کلی (به شکل دیفرانسیل)

$$\frac{DM}{df} = \Gamma f_1(M)\, f_2(\theta)\, f_3(r)$$

M = وزن بدن

t = زمان

θ = دما

T = سطح تغذیه = درصد بیشینه جیره

Ґ= فاکتور تصحیح که عمدتا وابسته به شرایط محیط ، مهارت تکنیکی پرورش دهنده و شاخص های ژنتیکی و فیزیولوژیک حیوان است.

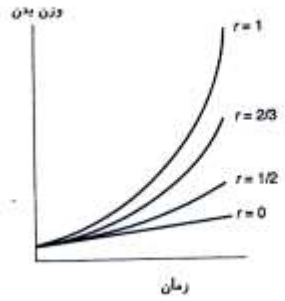
تابع رشد منطقی (Somatic function)

$\mathbf{f_1 = \acute{\Gamma}\, M^r}$

با انتگرال گیری از این تابع نرخ رشد ویژه (SGI) بدست می آید:

$$\frac{M^{1-r} - M_0^{\,1-r}}{(1-r)(t-t_0)}$$

در اینجا t_0 و M_0 مقادیر t و M در لحظه صفر می باشند.



ادامه کادر ۱-۲

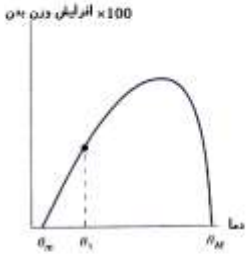
معادله دما

$$f = m^{\alpha(\theta_M - \theta)} - m^{\beta(\theta_M - \vartheta)}$$

θ_M= حداکثر دمای قابل تحمل توسط حیوان

m= جیره نگهدای

α,β = ضرایب



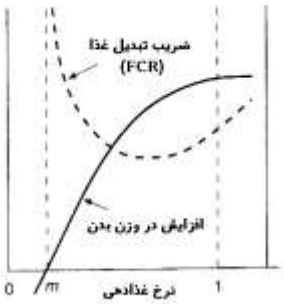
توجه شود که مقادیر این معادله در نزدیکی، θ_M حقیقی است ، اما در دماهای پایین تر از صحت کمتری برخوردار است و قبل از θ_1 ، منحنی نزدیک به محور **X** ها می شود.

معادله جیره غذایی روزانه :

$$f_3 = \frac{z(r)}{z(r_s)}$$

در این معادله ، **(**r**)** z بیانگر نرخ رشد است که بر حسب درصد نرخ رشد حاصل از جیره غذای بیشینه بیان می شود.

$\mathbf{r_s}$ سطحی از جیره غذایی است که بهترین حدواسط بین رشد بیشینه و FCR بوده و جیره نگهداری(m) است.



کادر ۲-۲) ضرایب اصلی مورد استفاده برای تخمین رشد ماهی و سخت پوستان

نرخ رشد روزانه :

$$DGR = \frac{M_f - M_i}{tM_i} \times 100$$

شاخص رشد ویژه:

$$SGI = \frac{M_f^{(1-r)} - M_i^{(1-r_0)}}{t^{(1-r)}} \times 100$$

نرخ رشد ویژه : (M=1)

$$SGR = \frac{\ln M_f - \ln M_i}{t} \times 100$$

شاخص رشد روزانه: ($M=\frac{2}{3}$)

$$DGI = \frac{M_f^{(\frac{1}{3})} - M_i^{(\frac{1}{3})}}{t} \times 100$$

M_i = وزن اولیه M_f = وزن نهایی

t = طول دوره (روز)

Ln = لگاریتم نپر

$\sum t\,\theta$ = مجموع درجه حرارت = حاصل جمع میانگین درجه حرارت روزانه (درجه سانتیگراد)

Muller – Feuga (1990) **:** این شاخص پس از تعیین ارزش r قابل استفاده است.

هدف از انجام آزمایش تغذیه، بررسی یک فرضیه است. برای مثال، آیا افزودن یک اسید آمینه خاص برای رشد مفید است؟ یا افزودن یک اسید چرب ویژه، ترکیب چربیهای بدن را تغییر می دهد یا از نظر بیولوژیک، دوره آزمایشهای آبزی‌پروری ثابت است و به منظور انجام مطالعات پیرامون رشد، در نظر گرفتن طول دوره آزمایش تا سه برابر شدن بیوماس توصیه می شود.

در رابطه با بررسی تاثیر ویتامین ها باید از حیوانات جوان استفاده نمود، بگونه ای که در برخی مواقع میتوان شاهد افزایش ده برابر بیوماس اولیه بود.

تعداد ماهی مورد استفاده مسئله کاملا متفاوتی است. بندرت می توان ماهی را به صورت انفرادی پرورش داد. از اینرو با استفاده از روش علامتگذاری می‌توان رشد هریک از ماهیها را کنترل نمود. البته این روش را نمی توان جهت اندازه‌گیری میزان هضم و متعاقب آن، میزان مصرف مواد غذایی بکار برد. به این ترتیب، بررسی ها روی گروهی از ماهیان انجام و عملکرد کلی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در حقیقت، در مطالعات آماری هر گروه واحد آزمایشی را تشکیل می دهد. با وجود اعتبار این روش، در کاربرد آن محدودیتهایی وجود دارد. برای مثال، بازدهی تغذیه یک جیره غذایی برای یک گروه برابر با میانگین بازدهی هر یک از افراد آن گروه نمی باشد و همچنین امکان اصلاح بیومس در مورد مرگ ومیر وجود دارد، اما در مورد بازدهی تغذیه امکان‌پذیر نیست.

از نظر تئوری، تعداد تکرارهای (گروههای آمار) مورد نیاز برای خطای نوع اول و دوم را می توان بسادگی محاسبه نمود. به منظور مشخص کردن دامنه تغییرات(D) و ضریب تغییرات (CV) یک معیار مشخص، می توان به جداولی که تعداد تکرارهای مورد نیاز برای نسبت $\frac{D}{cv}$ را بیان داشته‌اند، مراجعه نمود. درصورتیکه مطالعه آماری مورد نظر به دقت زیاد نیاز داشته باشد یا تغییرپذیری واریانس جمعیت در رابطه با شاخص مورد مطالعه، بالا باشد، باید تعداد تکرارهای نمونه‌برداری را افزایش داد. CV بیوماس جمعیت ماهیان پرورشی تقریبا دو برابر مهره داران خشک‌زی است. از طریق رقم بندی می توان CV را کاهش داده و گروههای بسیار همگن باCVهای۲،۳ یا حتی یک درصد را ایجاد نمود و چنانچه از فرمول $\frac{D}{cv}$ برای این گروههای همگن استفاده شود، تعدادتکرارها بسیار کاهش یافته و به ۳ یا ۴ تکرار خواهد رسید. البته شایان ذکر است که در گروههایی که به صورت مصنوعی همگن شده اند، به دلیل پیدایش مجددسلسله مراتب چیرگی، مقدار CV نهایی که در این گروهها کاهش یافته ، می تواند دوباره به حد بالاتر از میزان اولیه در گروههای نا همگن برسد. در عمل ، این روش کاربرد چندانی ندارد و از سویی، روشهایی که امروزه با استفاده از تکرار های ۴،۳ یا ۵ تایی توسط تعداد زیادی از محققان بکار می‌رود، بیانگر یک آزمایش دقیق و تحت شرایط ایده‌آل نیست.

شایان ذکر است که CV نه تنها در مورد جوامع پرورشی و روش های مرتبط با آن ، بلکه نسبت به عواملی نظیر محتوای پروتئین بدن، ضریب هضم ، بازدهی غذایی ، افزایش بیوماس و فعالیت آنزیمی متفاوت است.

بنابراین، احتیاط در تفسیر نتایج حاصل از آزمایشها و کاربرد آنها ضروری است. استفاده از نتایج آزمایشگاهی، به عنوان الگویی در انجام کارهای عملی به ما در کسب نتایج مطلوب کمک می کند اما در مقابل ، مشاهدات میدانی و داده های عملیاتی که با طی دوره‌های طولانی‌مدت در مورد تعداد زیادی از حیوانات حاصل شده است، بندرت با مقایسه‌های آماری و نتایج حاصله مطابقت دارد.

«فصل ۳»

رفتار تغذیه‌ای و تنظیم دریافت غذا

در آبزی‌پروری مدیریت مطلوب تغذیه ای، از طریق برقراری ارتباط تنگاتنگ بین مقدار غذای توزیع شده و غذای دریافتی توسط آبزیان ارزیابی می شود، هرچند دسترسی به این موضوع بسادگی امکان‌پذیر نیست. در بسیاری از موارد توزیع غذا، مازاد بر نیاز بوده و منجر به افزایش مصرف و آلودگی آب میشود. در حالت عکس چنانچه میزان غذای عرضه شده کمتر از نیاز ماهیان باشد، منجر به محدودیت رشد و در بسیار مواقع اختلاف در اندازه ماهیان می شود. عوامل متعددی بر میزان بلع غذا توسط ماهی تاثیر دارد که موجب شروع، تاخیر یا توقف فرآیند دریافت غذا از محیط می شود. این عوامل در دوره های زمانی کوتاه مدت یا بلندمدت تغییرات مشخصی را در رفتار تغذیه‌ای ماهیان ایجاد می‌کنند.

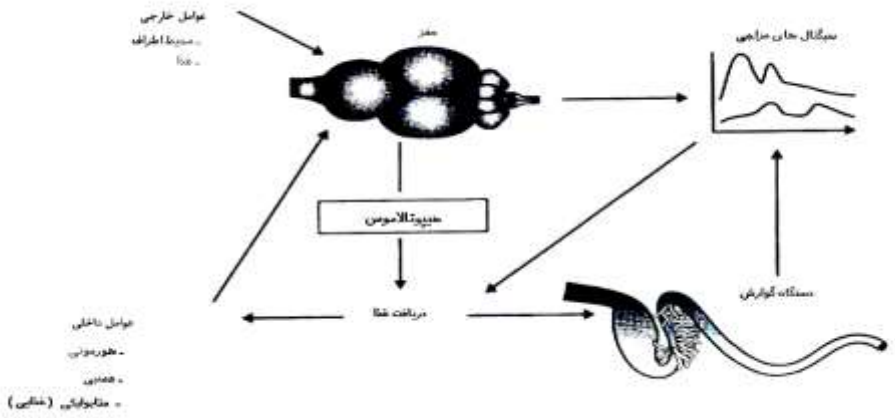
۳-۱- تنظیم مرکزی و محیطی دریافت غذا

هر چند موضوع بسیاری از مطالعات انجام شده پیرامون تغذیه ماهی، در زمینه مواد غذایی مورد نیاز ماهیان است اما میزان دریافت انتخابی غذا از محیط نیز در پاره ای از مواد مورد بررسی قرار گرفته است. در مهره داران خونگرم ، اطلاعات مربوط به محیط اطراف توسط حیوان با هم تلفیق و سازماندهی میشود و به این ترتیب ، مقدار دریافت انتخابی و ارادی غذا توسط سیستم عصبی مرکزی حیوان و محیط تعدیل می گردد.

ـ کنترل مرکزی توسط هیپوتالاموس انجام میشود که ایفاگر نقش اصلی در این زمینه است و هیپوتـالاموس عامل اصلی تحریک یا بازدارندگی دریافت ارادی غـذا از طریـق سیسـتم اعصـاب مرکـزی اسـت. مراکـز سیری و اشتها در آن اطلاعات تولیدی توسط عوامل مختلف فیزیکی، متابولیکی و غدد درون ریز را با هـم تلفیق می کنند (شکل ۱-۳).

ـ کنترل محیطی به شیوه های مختلف از جمله سیگنال های عصبی، باعث توقـف در تغذیـه مـی شـود. ایـن سـیگنالهای منتشـرده توسـط دسـتگاه گـوارش یـا مغـز (پپتیـدهایی نظیـر کولسیسـتوکینین[1]، بامبسـین[2] یـا سوماتوستاتین[3]) موجب ایجاد وقفه در تغذیه یا نشخوار کردن غذا می‌شوند و در تنظیم کوتاه‌مـدت تغذیـه نقش اساسی دارند.

برخی مطالعات نشان داده اند که عملکرد پیچیده این سیستم ها درجهت حفظ تعـادل وزن بـدن بـه نسـبت سن، اندازه، جنسیت و فصل با یکدیگر همکاری دارند. از جمله اطلاعات مورد علاقـه پـرورش‌دهنـدگان، مقدار غذای دریافتی توسط آبزی به ازای وزن بدن و در واحد زمان اسـت کـه نتیجـه فرآینـدهای تنظیمـی فوق است.



شکل ۱-۳) شمایی از نحوه تنظیم عصبی – هورمونی اشتها

[1] Cholecyctokinin
[2] Bombesine
[3] Somatostain

۲-۳ - روش های اندازه گیری میزان دریافت غذا

اغلب به منظور اندازه گیری مقدار واقعی غذای مصرفی، از میزان تغذیه ماهی تا حد سیری استفاده می‌شود. این روش هر چند در نگاه اول ساده بنظر می رسد، اما در حقیقت به درک واقعی موضوع توسط محقق بستگی دارد. این روش همچنین به انواع الگوهای قراردادی توزیع غذایی (تکرار، زمان بندی و فاصله بین وعده های غذایی) نیز وابسته بوده که الزاما مطابق با نحوه تغذیه ماهیان پرورشی در محیط طبیعی نیست.

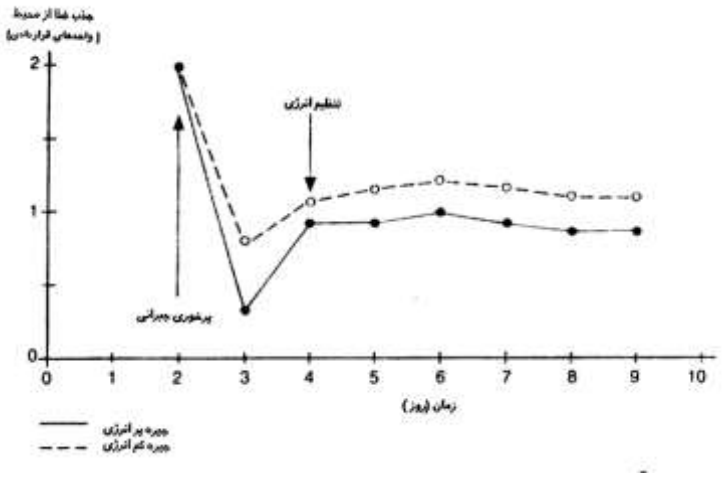
روش دیگر، توزیع غذای حاوی نسبت مشخصی از یک ماده قابل تشخیص توسط اشعه ایکس (برای مثال، خرده شیشه‌های بسیار کوچک) یا یک ترکیب نشاندار شده، است. این روش مزیتهایی دارد. با استفاده از این روش خطاهای ناشی از نشخوار کردن (بلع مجدد) یا ضایع شدن مواد غذایی، محدود شده و امکان مطالعه تغییرات خاص داخلی پس از بلع غذا فراهم می‌شود. اما نیاز به دستکاری نمونه ها پس از هر وعده غذایی (غذادهی جهت بررسی با اشعه ایکس) یا کشتن ماهی (در صورت استفاده از مواد نشاندار) این روش را محدود ساخته است. آخرین روش ارائه شده در این رابطه عادت دادن حیوان به تغذیه از طریق دستکاری اهرم موجود در دستگاه توزیع‌کننده غذاست. استفاده از چنین غذاده های تقاضایی، ماهی را نسبت به زمان بندی، تکرار و مقدار غذای مصرفی آزاد می گذارد. ازینرو، این روش احتمالاً تنها روش قابل اطمینان به منظور اندازه گیری میزان تغذیه تا حد سیری ماهی می باشد. اما تعدادی از گونه‌ها نظیر کفشک ماهی یا ماهیان خاویاری به سختی به غذادهنده ها عادت می‌کنند. علاوه بر این ، مقدار غذای توزیع شده در پاسخ به هر تقاضا باید دقیقاً مطابق با شرایط (گونه ها ،تراکم و....) در نظر گرفته شوند و کنترل مداوم غذای مصرفی توسط ماهی ضروری است.

استفاده از روشهای مختلف اندازه‌گیری می‌تواند اهمیت عوامل گوناگون موثر در مصرف غذا را مشخص می نماید. با توجه به منشاء درونی یا محیطی این عوامل، می توان آنها را به انواع تغذیه‌ای، محیطی یا رفتاری دسته‌بندی نمود.

۳-۳ - عوامل موثر بر مصرف غذا

۱-۳-۳) عوامل تغذیه‌ای

بسیاری از آزمایشها نشان داده‌اند که ماهی قادر به تشخیص دو غذای متفاوت از یکدیگر است. برای مثال، با استفاده از غذاده های تقاضایی در تغذیه قزل آلا مشخص شده است که پس از دو روز یادگیری، ماهی قادر به تشخیص غذاهای متشکل ازکازئین از غذاهای حاوی پودرماهی می باشد. وجود این قابلیت در ماهیان می تواندتوجیه مناسبی برای انتخاب وعده بعدی غذایی باشد. همچنین مشخص شده است که در شرایط خاص ماهی قادر به تفکیک غذاهایی است که در آنها کمبود یک ماده غذایی ضروری وجود دارد. بطوریکه در یک آزمایش، قزل آلا بعد از چندین روز توانست غذای حاوی عنصر روی را از غذایی با کمبود روی تشخیص دهد. متاسفانه قابلیت تشخیص دو نوع غذا و متعاقب آن تمایل به مصرف غذای فرموله شده مناسب، درتعداد کمی از گونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعمیم این توانایی به سایر گونه‌ها، خطرات زیادی بهمراه دارد. علاوه بر این، نمی توان عواقب ناشی از عرضه غذایی که دارای کمبود یک ماده غذایی است را پیش بینی نمود و با توجه به کمبود میزان و نوع ماده غذایی در جیره ممکن است افزایش یا کاهش مصرف غذا توسط ماهی بوجود آید. به علت ممانعت از کمبود مواد مغذی، باید جیره مصرفی مطابق با نیازهای انرژی ماهی و بر اساس محتوای انرژی قابل هضم غذا، تنظیم شود (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳) تفاوت در مقدار مصرف دو نوع جیره با مقادیر متفاوت انرژی بعد از یک دوره گرسنگی

این مسئله در مورد چندین گونه اثبات شده، اما باید با توجه به میزان انرژی جیره و سوابق تغذیه ای ماهی بهبود یابد. با توجه به اینکه اطلاعات کاربردی بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد میزان تنظیم انرژی (فوق العاده کم انرژی یا فوق العاده پرانرژی) به منظور دستیابی به بالاترین حد بازدهی، مشخص نشده است (فصل ۱۲). در گونه‌های دارای معده مشخص پس از طی دوره زمانی کوتاه به منظور تخلیه کامل معده، ملاحظه شدکه اولین وعده غذای مصرفی برابر با حجم معده است، زیرا گیرنده های عصبی حساس به فشار در دیواره معده، مقدار حداکثر غذای خورده شده را محدود کرده و در مکانیسم سیری شرکت می کنند. از طرفی تنظیم میزان غذای مصرفی بر اساس انرژی قابل هضم بعد از دومین یا سومین وعده غذایی وارد عمل می شود. همچنین برخی از محققان بیان داشته‌اند که در اولین روزها پس از طی دوره گرسنگی، مصرف انرژی غذای مصرفی کاملا به وضعیت تغذیه‌ای ماهی بستگی دارد، بطوریکه ذخیره بیشتر چربیها کاهش مقدار بلع را در پی دارد و عکس این حالت نیز صادق است. در نهایت، با استفاده از جاذبه‌های غذایی (فصل ۱۸) می‌توان بر بی‌اشتهایی غلبه کرده و مصرف غذا را در ماهیان تحریک نمود. موادی که بوفور در تغذیه لاروها مورد استفاده قرار می‌گیرند و باعث بهبود شروع تغذیه فعال شوند، جزء این دسته از ترکیبات محسوب می‌شوند (فصل ۱۳).

۲-۳-۳) عوامل زیست محیطی

در حیوانات خونسرد و بخصوص در ماهیها، دما مهمترین شاخص زیست محیطی موثر بر میزان مصرف غذاست. در رابطه با هر گونه، یک دمای اپتیمم وجود دارد که در آن میزان دریافت غذا به حداکثر میرسد و بطور کلی، هنگام افزایش دما به بیش از حد اپتیمم، میزان مصرف غذا همچنان بالا خواهد بود تا در یک آستانه دمایی خاص به یکباره نزول کند. با کاهش دما میزان مصرف غذا به بشدت کم شده تا اینکه در آستانه دمایی دیگری تغذیه ماهی متوقف می شود. در ماهیان با معده مشخص، نظیر آزاد ماهیان و گربه ماهیان دما بر زمان‌بندی بین وعده‌های غذایی موثر است. در دماهای پایین، وقفه بین وعده های غذایی نسبت به دماهای بالا طولانی‌تر است و این فاصله زمانی با دفعات خالی شدن معده که نسبت به دما نسبت عکس دارد، مرتبط است.

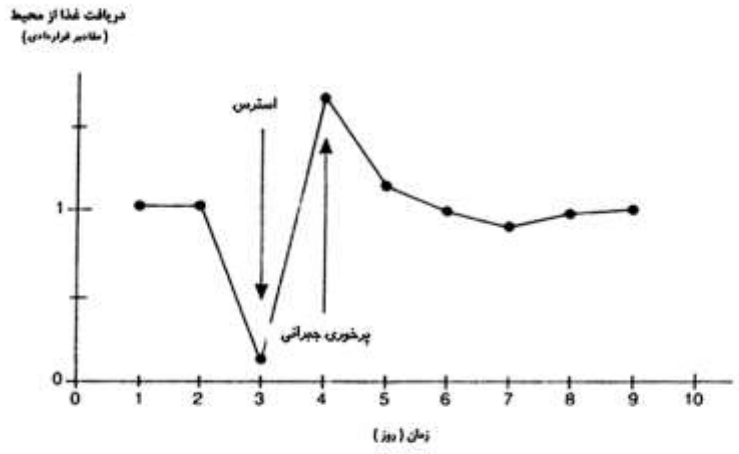
ماهیان نسبت به خصوصیات شیمیایی آبی که در آن زندگی می کنند نیز بسیار حساسند. برای مثال، در کپور معمولی، سطوح بالای آمونیاک یا نیتریت قبل از اینکه باعث مرگ ماهی شود، تغذیه را به طور کامل متوقف می‌کند. در قزل آلا نیز اکسیژن محلول کمتر از ۶ میلی گرم بر لیتر دارای اثری مشابه بر تغذیه ماهی است.

۳-۳-۳) عوامل رفتاری

جابجایی و دستکاری ماهیها یا حضور شکارچیان در اطراف قفس های پرورشی اغلب سبب ایجاد استرس و عدم تغذیه موقتی آنها می شود که معمولا این حالت تا زمان برطرف‌شدن عامل استرس‌زا بطول می‌انجامد. با شروع تغذیه مجدد ماهی، مقدار دریافت غذا از محیط به منظور جبران گرسنگی اجباری برای مدت کوتاهی، افزایش یافته و از این طریق اثر عامل استرس زا بر رشد، حذف یا کاهش می یابد (شکل ۳-۳).

برخی از عوامل دارای تاثیر طولانی‌مدت بر مصرف غذا در ماهیان هستند که در اصطلاح « استرس مزمن» نام دارند. برای مثال، اگر تراکم پرورش بسیار پایین باشد با بوجود آمدن غالبیت در بین گونه‌ها می توان شاهد بالا رفتن سریع عدم یکنواختی در نرخ رشد در ماهیان بود. در مقابل، در برخی گونه ها نظیر شانک ماهیان و Red porgy در صورت بالا بودن تراکم پرورش، ماهی ها مجبور به شنا درکنار یکدیگر نبوده و به دنبال کاهش فضای قابل زیست، مصرف غذا نیز کاهش می یابد.

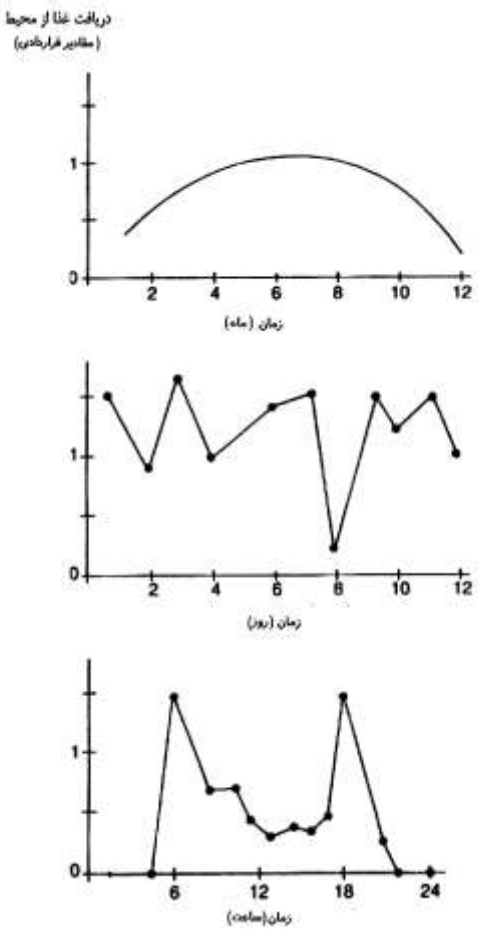
در شکل (۴-۳)، تغییرات موقتی در دریافت غذا از محیط ماهیها در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه شده است. تاثیر دمای مختلف ناشی از تغییر فصول در مصرف غذا شناخته شده است. اما در رابطه با اثر دوره‌های نوری در یک دمای ثابت بر مصرف غذا، اختلاف نظر زیادی وجود دارد . بسیاری از محققان بر این باورند که طول روز اثری بر مصرف غذا ندارد اما تغییر در طول روز بر مقدار دریافت غذا از محیط اثر می‌گذارد. از اینرو برای مثال، در ماهی آزاد اقیانوس اطلس افزایش طول روز در بهار باعث تحریک دریافت غذا از محیط می شود. تغییر در مصرف غذا نسبت به دوره‌های زمانی دوهفته ای یا یک ماهه ، توسط چندین محقق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار مصرف ارادی غذا حتی در شرایط آزمایشگاهی روز بروز تغییر می کند اما بندرت توجیهی در این رابطه بیان می شود.



شکل ۳-۳) تغییر در مصرف غذا به دنبال یک دوره اعمال استرس(برای مثال، اسارت- رهاسازی)

آخرین شاخص زمانی که مستدل تر از سایر معیارهاست، الگوی شبانه‌روزی تغذیه است. نتایج مطالعات مختلف بیانگر این نکته است که اکثر گونه‌ها در طول روز یا شب تغذیه می کنند. برخی گونه‌ها به تغذیه در طول روز تمایل دارند(گونه‌های روزگرد نظیر قزل آلا) و اغلب فعالیت تغذیه‌ای آنها در ساعات اولیه روز انجام می گیرد و در برخی مواقع قبل از غروب آفتاب نیز تغذیه می کنند. گونه هایی نظیر باس دریایی یا کپور معمولی، قابلیت تغییر الگوی تغذیه ای خود را دارند بنحویکه یک سال در روز تغذیه کرده و سال بعد به گونه های شب‌گرد تبدیل می شوند. معمولا توجیه این نوع تغییر رفتار حتی در زمان وفور دائمی غذا، دشوار است. برخی محققان بیان داشته اند که فعالیت تغذیه ای ماهی آزاد اقیانوس اطلس که یک گونه روز گرد است، هنگام افت دمای آب به زیر ۱۰ درجه سانتیگراد تغییرکرده و تبدیل به ماهی شب گرد می‌شود.

در تعیین نوبت‌های غذایی ماهی بر اساس معیار های زمانی مختلف، بررسی عوامل موثر ضروری است. در پاسخ به این سوال که آیا کنترل از طریق عوامل داخلی است یا صرفا توسط محیط صورت می گیرد؟



شکل ٤-۳) تغییرات موقتی دریافت غذا در مقیاس های زمانی گوناگون

داده های موجود در این زمینه بسیار محدود و ناقص بوده و طبقه بندی دقیق عوامل مختلف بر اساس الویت، دشوار است. بر اساس یافته های علمی موجود، از عوامل عمده محیطی موثر بر تغذیه، می توان به گردش ماه، روز، شب و همچنین دوره نوری و دما اشاره نمود.

با این وجود ، ساعت بیولوژیک بخشی از کنترل داخلی را بر عهده دارد. محققین بیان داشته اند که قزل‌آلا، باس دریایی و گربه ماهی کانالی در شرایط آزمایشگاهی می توانند نوبت های غذایی خود را در یک دوره زمانی ۲۴ ساعته تنظیم کنند که با تناوب روز و شب، این دوره زمانی حدود یک ساعت تغییر میکند.

پیامدهای فیزیولوژیک یا عملی ناشی از تحمیل غذا بوسیله پرورش‌دهنده ماهی در صورت غذادهی کمتر یا بیشتر از میزان مورد نیاز ماهی، شناخته نشده است، با اینحال، بهتر است تا جایی که امکان دارد اساس توزیع غذا را مطابق با الگوی گونه پرورشی قرار دهیم.

٤-۳ - خلاصه

عوامل مختلفی در مقدار مصرف غذا تاثیرگذارند و پاسخ هایی از جمله امتناع از غذا خوردن به صورت موقتی تا کم خوری و پرخوری را شامل می شوند. تنظیمات درونی جهت دریافت غذا از محیط، تحت‌تاثیر عوامل تغذیه ای قرار داد و میزان انرژی زایی آنها بسیار ضروری است. مقیاس‌های زمانی مختلف (شب و روز) نیز بر مقدار دریافت غذا از محیط موثر است. این متغیرها بیانگر مدیریت پیچیده توزیع غذاست و نیاز به توسعه استفاده از تکنیکهایی در زمینه غذا دهی تقاضائی ماهی را مطرح می کند.

((فصل ٤))

فیزیولوژی دستگاه گوارش و قابلیت هضم مواد غذایی در ماهی‌ها

اساس فیزیولوژی گوارش در ماهیان به طور عمده بر مبنای برخی مطالعات تشریحی و اغلب بسیار قدیمی قرار گرفته است. اغلب مطالعات اخیر در زمینه های مختلفی از جمله: مدت زمان هضم و عبور مواد غذایی، ساختمان مولکولی آنزیم ها، ساختار سلول های جذب کننده و ماهیت ونقش هورمون ها در دستگاه گوارش صورت گرفته است. علاوه بر این ، نتایج بررسی های انجام شده پیرامون قابلیت هضم مواد غذایی مختلف، مطالعات محققان را تکمیل نموده و به عنوان اولویت‌های اصلی در تنظیم جیره‌های غذایی و کاربرد مواد مغذی مورد استفاده قرار گرفته است.

٤-١ - آناتومی و فیزیولوژی دستگاه گوارش

٤-١-١) آناتومی دستگاه گوارش

طبقه‌بندی ماهی ها نظیر سایرمهره داران، منجر به ایجاد تنوع زیاد بخصوص در شکل ظاهری دستگاه گوارش در بین گونه های مختلف شده است.

جانور شناسان سعی درطرح یافته های خود بر طبق دو شاخص عمده تکامل گونه ها و سازگاری آنها با رژیم های غذایی متفاوت دارند که در این کتاب تنها به برخی از ویژگی های اصلی آناتومیک و کارکردی دستگاه گوارش ماهی ها اشاره خواهد شد.

۱-۱-۱-٤) ویژگی های عمومی

دستگاه گوارش ماهی های اولیه (ماهیان غضروفی نظیر کوسه ماهیان، سپر ماهیان و ماهیان خاویاری) از خصوصیات خاصی برخوردارندکه شامل معده ای تمایز یافته و در ادامه آن، روده معمولی همراه با ساختاری منحصربفرد به نام دریچه مارپیچی قرار دارد. این دریچه حاصل چین‌خوردگی و چسبندگی جزئی بافت پوششی روده است که ساختاری شبیه یک پلکان مارپیچی را تداعی می کند. این ویژگی منجر به افزایش سطح و ظرفیت جذب در طول کوتاهی از روده می شود.

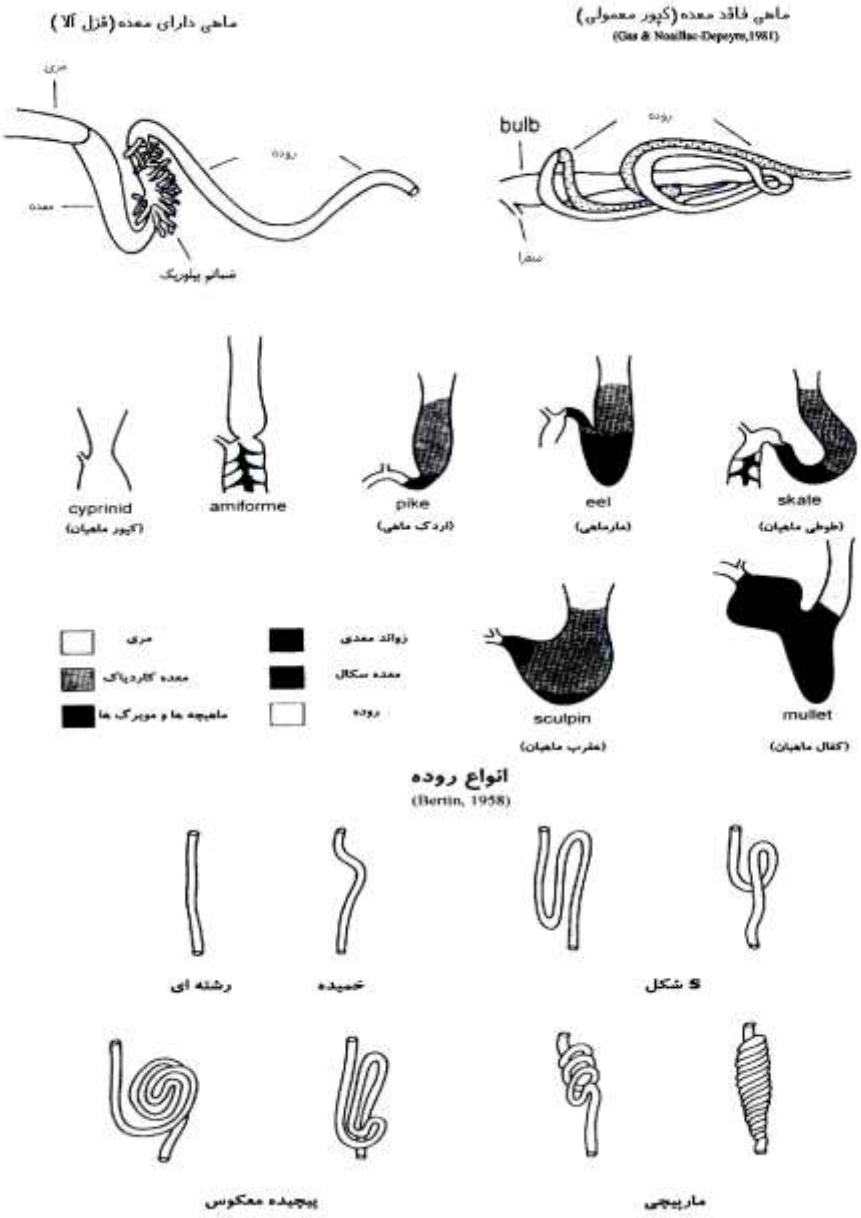
ماهیان استخوانی همانند سایر رده بندی های جانوری، دارای دهانی هستند که با نحوه غذا خوردن آنها سازگار شده است. آناتومی دستگاه گوارش ماهی های اولیه کاملا شبیه یکدیگر است، اما در ماهیان تکامل یافته‌تر با توجه به نوع تغذیه، دستگاه گوارش آنها سازگار یافته و متفاوت شده است. با این وجود، در این خانواده‌ها ماهیانی وجود دارند که دستگاه گوارش آنها نیز از لحاظ شکل ظاهری کاملا مشابه یکدیگرند.

دستگاه گوارش ماهیان از نظر خصوصیاتی شامل وجود یا فقدان معده، مری کوتاه یا بلند، روده صاف یا بلند و پیچ خورده، چین خوردگی های حلقوی یا طولی روده ای و وجود ضمائم پیلوریک تا هزار عدد یا فقدان آنها متفاوتند.

از دیدگاههای بسیاری ، دستگاه گوارش ماهی‌ها ویژگی های یکسان دارند:

ـ مری دارای بافت ماهیچه ای مخططی است که امکان نشخوار کردن و بلع مجدد غذا را برای ماهی فراهم می کند.

ـ روده ماهی ها مشابه روده کوچک پستانداران یا روده پرندگان است و بخش های مختلف روده (دوازدهه، روده کور و ایلیوم) قابل تمایز نیست، روده بزرگ واقعی (کولون) نیز براحتی قابل رویت نمی‌باشد.



شکل ۱-٤) دو ساختار از دستگاه گوارش در ماهی های مختلف

ـ دیواره روده دارای سه لایـه اسـت : ماهیچـه ای، سـروزی[1] و مخـاطی، بـه علـت فقـدان لایـه مخـاطی – عضلانی، عملا فاصله ای بین لایه مخاطی و زیر مخاطی وجود ندارد.
ـ برخی انتروسیت ها عملکرد اندوسیتوتیک خود را حفظ می کنند که این ویژگی مربوط به دوران بعـد از تولد پستانداران است اما در رابطه با ماهیان این حالت در سرتاسر عمر حفظ می گردد.
ـ آنزیم های فعال در فرآیند هضم نسبتا شبیه به مهره داران عالی است.

۲-۱-۱-٤) اندام های اصلی

دهان

دهان محل ورود آب و بلع غذاست. عملکرد دهان در ماهیان به سبب محیط زیست غیـر متـراکم و وجـود آبشش ها پیچیـده شـده و بـین آرواره هـا، زبـان، سـقف دهـان، کمـان هـای آبششـی و سـرپوش آبششـی هماهنگی ایجاد شده است. دندان ها به ندرت جهت جویدن سازمان یافته اند و معمولا دندان های محوطـه دهانی، فکی ، زبانی یا مری برای نگه داشتن طعمه و دنـدان هـای حلقـی یـا دنـدان هـای روی تیغـه هـای آبششی جهت فیلتر کردن و نگه داشتن ذرات غذایی و هدایت آنها به سمت معده، کارایی یافته اند.
عمدتاً دو نوع رفتار تغذیه ای در ماهی ها وجود دارد که شـامل صـید طعمـه و مکـش اسـت. فیلتـر کـردن نوعی از مکش غذایی جهت جمع آوری ذرات غذایی است. برخی از ماهی ها دارای دندان هـایی هسـتند که از آنها برای جویدن غذا استفاده می کنند. کپـور ماهیـان دارای دنـدان هـای حلقـی در آرواره پـایین و صفحه دندانی در آرواره بالا هستند. ماهی شانک دریایی قادر به لـه‌کـردن موجـودات صـدف‌دار اسـت و برخی از ماهیان علفخوار دارای عملکرد جویدن مخصوص بخود هستند.
در دهان ماهیان غدد بزاقـی وجـود نـدارد، امـا جوانـه هـای چشـایی از طریـق روش هـای بافـت شناسـی و شناسایی با میکروسکوپ الکترونی، مشخص و شناسایی شده و نقش آنها با انجام آزمایش های تغذیه‌ای اثبات گردیده است. در خارج از دهان نیز سلولهای گیرنده شـیمیایی وجـود دارنـد. هرچنـد در محیطهـای آبی تمایز بین حس بویایی و چشایی دشوار است، اما بنظر می رسد که سلولهای گیرنده شیمیایی وابسته بـه حس بویایی هستند.

[1] Serous

در خارج از محوطه دهانی، این گیرنده‌های شیمیایی منفرد همراه با پرزهای چشایی که دارای عملکردی متفاوت‌تر از آنها هستند، در رفتار تغذیه ای توقف یا سرعت بخشیدن به خوردن غذا مشارکت می نمایند.

مری

در گذشته در حالیکه نتایج محققان بیانگر اتصال مستقیم دهان به معده در ماهیان بود، اما بررسیهای جدید نشان دادندکه مری در ماهی ها کوتاه و پهن بوده و ساختار غشایی مری متفاوت از معده و روده است که توسط تعداد زیادی از سلول های موکوسی پوشیده می شود. مری در ماهیان به دلیل داشتن بافت ماهیچه‌ی مخطط یا نیمه مخطط دارای انقباظات ارادی بوده و بسیار شاخص است. به عبارت دیگر، در صورت نامناسب بودن غذا از نظر اندازه و مزه یا بافت، ماهی قادر به برگرداندن غذا بوده که این قابلیت در ماهی نسبت به مهره داران عالی، قابل توجه است. در برخی ماهیهای شکارچی، بافت ماهیچه‌ای توسعه یافته و ظاهرا امکان نگهداری طعمه زنده را فراهم می کند. در گونه هایی نظیر مارماهی، مری طویل شده که بخشی از آن طی مهاجرت از رودخانه به دریا، تنظیم اسمزی را بعهده دارد.

در گونه‌های آب شیرین بر خلاف ماهیان آب شور، معمولا دریچه ای به نام اسفنکتر در محل اتصال مری به معده وجود دارد. این اختلاف را به این صورت می توان توجیه نمود که گونه های آب شیرین سعی دارند تا میزان ورود آب را به بدن به حداقل برسانند، اما گونه های آب شور به منظورتنظیم اسمزی باید دائما آب بنوشند.

معده

معمولاً معده طی متامورفیسم یا بعد از آن ایجاد می شود و هیچگاه در مرحله لاروی ظاهر نمی‌شود. خانواده‌هایی نظیرکپورماهیان، فاقد معده هستند. در بعضی گونه‌های متعلق به سایر خانواده ها نیز معده وجود ندارد. در ماهیانی که از مرجان ها تغذیه می کنند، به علت وجود سطوح بالایی از کربنات کلسیم، رسیدن به pH مناسب جهت فعالیت پپسین دشوار است، این مسئله می تواند توجیهی منطقی در مورد علت فقدان معده در این گونه از ماهیها باشد.

بطورکلی، ماهیان فاقد معده اغلب ماکروفاژ یا علفخوارند وکپور ماهیان به عنوان شاخصی از ماهیان فاقد معده، از طیف گسترده و متنوعی از غذاها تغذیه می کنند.

شکل معده در حالت پر از یک برجستگی ساده تا یک کیسه کشیده، فرق می کند و به اشکال J یا Yدیده می شود و معمولا از طریق دریچه اسفنکتر از روده متمایز می شود. در ماهیان گوشتخوار به دلیل بلعیدن طعمه، معده قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی دارد ولی گونه های ماکروفاژ دارای معده های بسیار کوچکتری هستند. در معده ماهیان فیبرهای طولی عضلانی فراوان ترند، اما به رغم این تفاوت های آناتومیک، کل معده از لحاظ ساختار پاتولوژیک مشابه معده مهره داران عالی بوده و تنها از لحاظ کارکرد اندکی با هم اختلاف دارند. بافت پوششی معده منشأ اندودرمی دارد و سلول های ترشح‌کننده پیش آنزیم های گوارشی و اسید کلریدریک توسط پرزهای زیادی پوشیده شده‌اند. معمولا سلول های ترشح کننده موکوس تنها در بخش عقبی معده دیده می شوند.

درتعدادی از ماهیان علفخوار نظیر کفال ماهیان، منطقه پیلوریک به شکل یک عضو حقیقی و مجزا با دیواره های سخت تبدیل شده که به وسیله تعداد زیادی از ماهیچه های حلقوی باریک احاطه می شود و معده ای را بوجود می آورد که فاقد نقش ترشحی است. این عضو که در پرندگان همان سنگدان است، نقش آن صرفا خرد کردن و آسیاب نمودن غذاست. معده تنها منطقه ای از دستگاه گوارش است که چون حاوی اسید است امکان تخریب پروتئین ها و هیدرولیز و از بین بردن باکتری های بلعیده شده را به همراه غذا فراهم می کند. pH معده معمولا ۲ تا ۳ است اما در ماهیان دریایی که همواره آبی با pH = ۸ را می‌نوشند، به حدود ۵ هم می رسد.

روده

اصطلاحاتی که در رابطه با ساختمان روده توسط متخصصان آناتومی استفاده می شود ، بی نهایت گیج‌کننده است. بخش هایی نظیر روده جلویی، میانی و عقبی، دوازدهه، روده کور و ایلیوم با توجه به نظر محقق، معانی مختلفی دارند (برای مثال، یک منطقه توسط یک محقق روده میانی و توسط محقق دیگر روده خلفی نامیده می شود).

علت اصلی این مسئله ناشی از فقدان تفاوتهای قابل توجه آناتومیک است که مطالعه کتابها و منابع مختلف را نیز دشوار ساخته است. در این رابطه فقط علم یاخته‌شناسی می تواند بین سه یا چهار منطقه‌ای که هر کدام نقش های متفاوتی دارند، تمایز قائل شود.

اولین قسمت روده که اغلب دوازدهه نام دارد، در ماهیان فاقد معده وجود دارد و در بعضی خانواده ها بصورت یک برجستگی وسیع دیده می شود. در نگاه اول، ممکن است بین این عضو که نقش آن ذخیره موقتی غذا بعد از تغذیه است و معده حقیقی اشتباه شود. پاره ای از تفاوتها که دوازدهه را از معده متمایز می کند به شرح ذیل است:

محل اتصال مجاری صفراوی همیشه از بالای این برجستگی است در حالیکه در معده حقیقی، محل اتصال همیشه از پایین است. pH دوازدهه هرگز اسیدی نیست و هیچ کدام از انواع سلول های ترشح کننده معدی در دوازدهه دیده نمی شود و فعالیت پپسینی در این منطقه وجود ندارد.

صرفا در ماهیان دارای معده، ضمائمی با انتهای بسته وجود دارد که به آنها سکوم گوارشی[1] می گویند و تعداد آنها از صفر تا چند ده یا چند صد متفاوت است. در ماهی Saithe تعداد این ضمائم حتی نزدیک به یک هزار عدد می رسد، اما در خانواده هایی نظیر آزادماهیان، تعداد این زوائد در بین گونه ها با توجه به عوامل ژنتیکی، متفاوت بوده و از طریق بهگزینی تغییر می کنند. همچنین دمای آب طی تکامل بر تعداد آنها مؤثر است. اما بنظر نمی رسد که ارتباطی با مواد غذایی داشته باشد. طی مطالعات بافت شناسی تفاوت قابل توجهی بین روده حقیقی و ضمائم پیلوریک مشاهده نشده است. در گونه های سردآبی ، ضمائم پیلوریک دارای فلور میکروبی خاصی نیستند، اما در گونه های گرمابی، نظیر یک گونه علفخوار از شانک ماهیان[2] و ماهی علفخوار استرالیایی، باکتریهای سنتزکننده ویتامین‌ها یا حتی سلولوتیک در ضمائم پیلوریک دیده شده اند. مهمترین مسئله ای که در حال حاضر مورد توجه ماهی شناسان است، در نظرگرفتن ضمائم پیلوریک به عنوان سطوح گسترش یافته روده ای است که سطح جذب دستگاه گوارش را افزایش می دهد.

از نظر بافت شناسی، سلول های تولید کننده موکوس روده ای در ماهی ها به همراه شبه پرزهایی که بواسطه چین‌خوردگی، سطح منطقه را افزایش می دهند(شکل۲-۴) دارای عملکردی مشابه مهره‌داران

---

[1] caeca
[2] *Kyphosus corneli*

عالی هستند، تعداد سلول های انتروسیت در محل چین‌خوردگی‌ها چند برابر شده و زمانیکه از شبه پرزها به داخل موکوس یا سلول های جاذب مهاجرت می کنند، متمایز می شوند و عملکردی تخصصی می یابند اما هنگام از دست دادن کارایی خود، بسرعت تجزیه می شوند. انتروسیت ها در سطح لومینال که با میکروپرزهای متراکم پوشیده شده، بخوبی قابل تشخیص‌اند. میکروپرزها حاوی یک سری رشته های پلی‌ساکاریدی هستند که بواسطه آنها در شبکه فیلترکننده‌ای به نام حفره گلیکوکالیگس[1]، منتشر می شوند. غشای آنها شامل آنزیم های متصل به غشایی، ناقل های پروتئینی و کانال های یونی است که مجموعه این مولکول های پروتئینی در یک غشای دو لایه لیپیدی محصور می‌شوند.

غشای دو لایه لیپیدی، شامل ذرات چربی و چربیهای انتشاری، بعد از یک وعده غذایی در سلولهای دوازدهه تشکیل می شوند. ظاهرا این منطقه نقش فعالی در جذب لیپیدها دارد.

هرچند روده میانی که به آن jejunum نیز می گویند، قهوه ای تر از روده قدامی است ولی تقسیم آن به بخش های خلفی و قدامی دشوار است. خصوصیات بافت شناسی این منطقه نشان دهنده قابلیت های بالایی است، در این منطقه انتروسیت ها با پیچ خوردگی های فراوان به سمت پایه میکروپرزها هدایت میشوند. تعداد زیادی واکوئل بین انتروسیت ها و هسته ها وجود دارند (شکل ۳-۴) که شبیه سلول های موجود در ایلیوم پستانداران تازه متولد شده هستند. وظیفه این سلولها جذب مولکولهای پروتئینی ازطریق هضم درون سلولی است و در دوره زندگی ماهیها جذب مواد آلی پروتئینی را انجام می دهند.

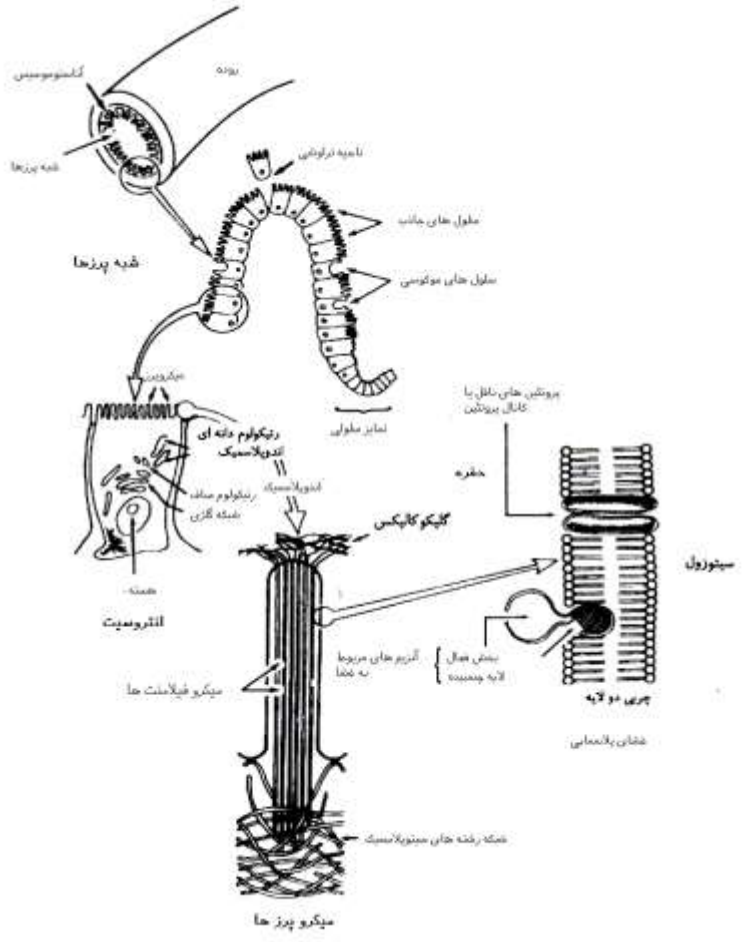
بخش انتهایی روده که ایلیوم نام دارد، معمولا خیلی کوتاه است. انتروسیت ها حاوی تعداد زیادی میتوکندری هستند که می توانند ایفاگر نقش مهمی در تنظیم اسمزی از طریق جذب انتخابی یونهای معدنی باشند. گاهی اوقات این بخش تا ناحیه پیش مقعدی یا راست روده (رکتوم)، امتداد مییابد.

طول روده بسیار متغیر است و بین طول روده و طول بدن و جیره غذایی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد.

عموماً، گوشتخواران، روده کوتاه و علفخوران، روده طویل دارند. این حالت در مفهوم کلی طی طبقه‌بندی حیوانات دیده می شود و می تواند ناشی از تفاوت در روند رشد یا وجود یا فقدان ضمائم پیلوریک باشد. چین خوردگی روده به اشکال متفاوتی از جمله S شکل، پیچ‌خورده معکوس و مارپیچی قابل مشاهده است.

---

[1] Glycocalyx



شکل ۲-٤) نمایی از ساختار آناتومی و بافت شناسی روده، از ساختار میکروسکوپی روده تا ساختمان مولکولی غشا پلاسمایی- میکروپرزها

غدد ضمیمه گوارشی

کبد در ماهی به خوبی توسعه یافته و با توجه به گونه، ساختمان متنوعی دارد و از نظر بافت شناسی به سبب نداشتن لوب (lobules) با کبد پستانداران فرق دارد، هرچند از لحاظ عملکرد کم و بیش مشابه کبد مهره‌داران عالی است.

اگرچه کبد حاوی مقدار زیادی ترشحات صفراوی است، اما فقدان کیسه صفرا در موارد بسیار کمیاب رخ می دهد. در برخی گونه ها کبد بسیاربزرگ می‌شود و به عنوان اندام ذخیره‌کننده چربی[1] مانند آنچه در پرندگان وجود دارد، عمل می نماید.

درمقابل، پانکراس جز در برخی ازماهی ها نظیر کوسه و سپر ماهیان، در ماهیانی مانند اردک ماهی و ماهیان دو دمی، به صورت یک اندام مجزا نیست. در برخی گونه ها مجموعه ای پراکنده از سلول در اطراف دوازدهه و ضمائم پیلوریک وجود دارد، این غدد کوچک می توانند در اندام های مجاور ادغام شده و هپاتوپانکراس را ایجاد کنند(نظیر آنچه که در کپور ماهیان دیده می شود). ترشحات آنزیمی از مجاری صفراوی منتشر می شود و سلول های ترشح کننده انسولین(جزایر لانگرهانس) در کنار این سلولهای هضم‌کننده قرار دارند.

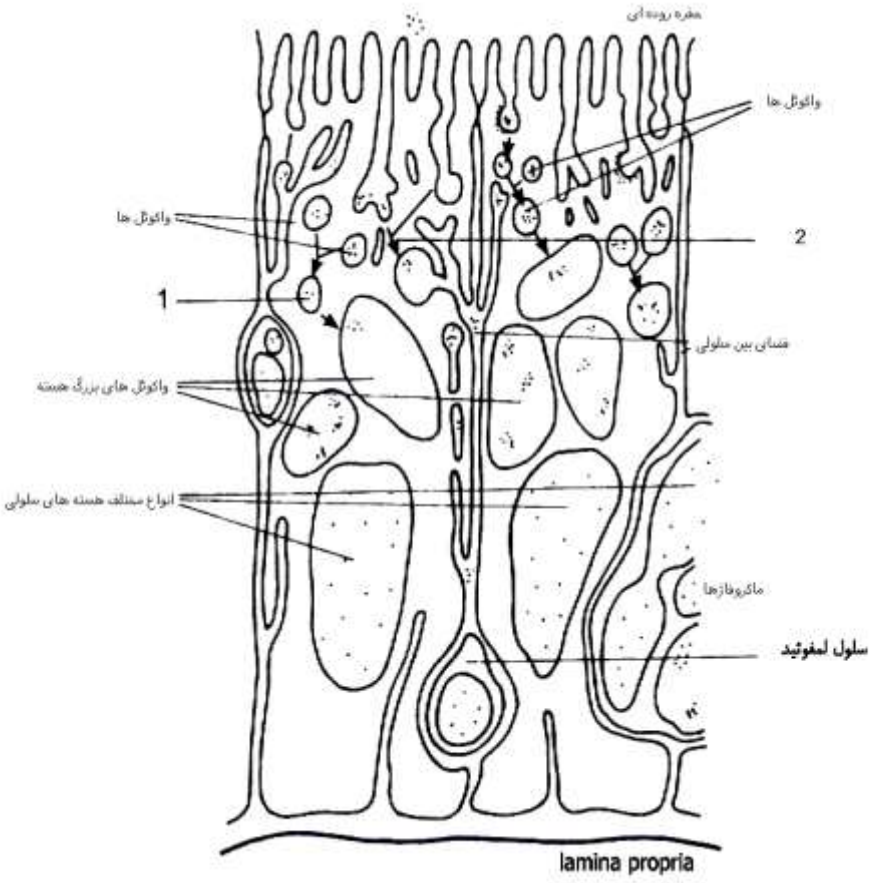
۳-۱-۱-٤) سایر عملکردها

دستگاه گوارش به همراه غدد وابسته، به عنوان اندامی با عملکردی هورمونی در مهره داران عالی شناخته شده است. چون مطالعات هورمونی در ماهی ها اخیرا مورد توجه قرار گرفته است، کاربرد این اصطلاح در رابطه با ماهی کمی دشوار است. دیواره دستگاه گوارش ماهی حاوی سلول های ترشح کننده موادی نظیر کولسیستوکینین (CCK) ، گاسترین، سرولین و گلوکاگون است، اما ویژگی و نقش این ترشحات زیاد مورد بررسی قرار نگرفته است.

نقش دستگاه گوارش ماهیان در ایمنی بدن چندان شناخته شده نیست و با وجود اینکه بین لمفوسیتهای بافت مخاطی روده و ایمنی فعال در برابر هجوم باکتری ها، ارتباط وجود دارد (شکل ۳-۴) ، شواهدی دال بر وجود این ارتباط در ماهی ها، در دست نیست.

بعضی از ماهیها نظیر خانواده های Cobitidae,Callichthyidae دارای تنفس روده ای هستند و این تنفس از طریق شکل‌گیری عروقی مشابه نایژه‌ها ی سیستم تنفسی، انجام می شود. در نهایت، سلولهای شگفت‌انگیزی در سطح اپتیلیوم دستگاه گوارش وجود دارند که توسط محققان مختلف اشکال گلابی یا میله ای توصیف شده اند.

[1] adipogenic



شکل ۳-٤) سلول های ترشح کننده هورمون و ویژگیهای روده خلفی در ماهی (Size and Vernier, 1989) **ماکرومولکولهای پروتئینی از طریق پیچ‌خوردگی‌های حفره روده‌ای به سمت پایه میکروپرزها نفوذ می‌کنند و واکوئل ها را می‌سازند که (۱) با هم ادغام شده و واکوئل‌های هسته‌دار بزرگ را جهت هضم مولکول ها بوجود می آورند یا (۲) در یک فضای بین سلولی قرار می‌گیرند و به لمفوسیت ها و ماکروفاژها متصل می‌شوند.**

این سلول ها در کلیه و آبشش ها نیز مشاهده شده اند. تاکنون فرضیه وجود اشکال مختلف باکتریهای انگلی یا همزیست در نظر گرفته نشده است. این باکتری ها که ممکن است ترشح کننده باشند، هنوز ناشناخته مانده اند.

۲-۱-٤) آنزیم‌های گوارشی

۱-۲-۱-٤) کلیات

آنزیم‌های گوارشی ماهی ها نظیر مهره داران عالی، در سه دسته طبقه‌بندی می شوند:

ـ آنزیم هایی که توسط پانکراس و به میزان کمتر توسط معده، به شکل گرانولهای زیموژن یا آنزیم غیر فعال و به صورت مخلوط با ترکیبات یونی و در pH ویژه ترشح می شوند. این اشکال غیر فعال از آنزیم ها هیچوقت در بخشهای دهانی فعال نمی‌شوند و در معده بخصوص در دوازدهه فعال می گردند.

ـ آنزیم های غشایی که در معده به مقدار کم وجود دارند، اما هنگام اتصال به غشا میکروپرزها و در شرایط طبیعی، فعالیت می کنند. کل آنزیم های این دسته روده ای هستند و ماکرومولکول های فیلتر شده توسط گلیکوکالیکس را به قطعات کوچکتر می شکنند. به منظور ایجاد جذب در سیتوپلاسم انتروسیت، محل این آنزیم ها نزدیک به سیستم های انتقالی است.

ـ آنزیم های سلولی دستگاه گوارش در مناطقی غیر از دیواره برای مثال، در لیزوزوم ها وجود دارند. چون بررسی عملکرد این آنزیم ها پس ار مرگ سلولی و در شرایط آزمایشگاهی، امکان‌پذیر است، بیان این نکته که این آنزیم هادر هضم برون سلولی نقش دارند، دشوار است.

عملکرد آنزیم های گوارشی در تمامی گونه ها مشابه نیست. برای مثال، پپسین در ماهیان فاقد معده و کیتیناز در گونه های خاصی از ماهی ها وجود ندارند. گرچه لیپاز و آمیلاز در معده فعالیت می کنند اما در بین گونه ها ، اندامی که آنزیم های خاص ترشح می کنند، متفاوتند. در بسیاری مواقع بررسی فعالیت آنزیمی در بخشهایی از دستگاه گوارش فقط ویژگیهای کیفی آنها را تشریح می کند و در مورد فعالیت آنزیمهای موثر بر طعمه خورده شده، حرکات دودی یا حرکات مواج عضلانی در روده و فعالیت فلور روده ای مشهودتر بوده و مسائل ناشناخته بیشتری در مورد آنها وجود دارد.

آنزیم‌های تولید شده از زیموژن‌ها (معده ای و پانکراسی)

مهمترین آنزیم های این دسته در جدول ۱-۴ ارائه شده اند. فعال سازی آنـزیم هـای غیـر فعـال، از طریـق شکسته شدن پپتیدها به اجزاء کوچکتر انجام می شود. هیدرولیز پپسین بوسیله فعالیت اسـید هیـدروکلریک شروع می شود و به صورت خودبخود تسـریع مـی شـود(هیـدرولیز پپسـینوژن توسـط پپسـین صـورت مـی گیرد). در رابطه با آنزیم های معدی، در ابتدا فعال سازی تریپسینوژن از طریق انتروکیناز انجـام مـی شـود، سپس فعالیت تریپسین بر کموتریپسینوژن آغاز مـی گـردد و پـس از آن آنـزیم هـای الاسـتاز، کلاژنازهـا، کربوکسی پپتیداز A وB ، فسفولیپاز و کولیپاز بطور متوالی فعال مـی شـوند. آنـزیم هـای ایـن دسـته بجـز کولیپاز و لیپاز بر ماکرومولکول ها از طریق هیدرولیز داخلی اثر می کنند و مولکول های کوچکتر غیرقابل جذب را ایجاد می نمایند.

پروتئازها

پروتئازها شامل آنزیم معدی پپسین و چهار آنزیم کبدی تریپسین، کموتریپسین،کلاژناز و الاستاز هستند. چهار آنزیم کبدی به خانواده پروتئازهای سرینی متعلـق بـوده و از انـواع پپتیـدازهای داخلـی هسـتند کـه فعالیت یکدیگر را تکمیل کرده و جایگاه کاتالیتیک آنها مشابه و حاوی سـرین آزاد اسـت. هـر کـدام از آنهـا بـر پپتیـدهای خاصـی فعالیـت مـی کننـد (جـدول۲-۴). بـا توجـه بـه تـوالی اسـیدآمینه موجـود در زنجیره‌های پپتیدی، بـر اثرهیـدرولیز نـاقص توسـط پپتیـدازها، اسـیدهای آمینـه آزاد و بقایـای پپتیـدی بـا اندازه‌های متفاوت ایجاد می شوند

لیپازها

ساختار لیپاز بسیار مشابه پروتئازهای سرینی و آمیلاز است که از انواع آنزیم های کبدی بوده و در ابتدابه شکل فعال ترشح می شوند. لیپاز فقط در صورت وجود مولکول هایی نظیر کولیپاز مشخصاً فعال میشـود. نقش اصلی کولیپاز به شرح ذیل است:

جدول ١-٤) آنزیم های ترشحی غیر فعال در ماهی ها

گونه ها	اندام	فعالیت	آنزیم	
ما هی های دارای معده تمام ماهی ها	معده پانکراس	هیدرورلیز پیوندهای داخلی	پپسین تریپسین کموتریپسین الاستاز کلاژناز	پروتئازها
تمام ماهی ها	پانکراس	هیدرولیز پیوندهای خارجی هیدرولیز پپتیدازها	کربوکسی پپتیداز کربوکسی الاستاز A,B	پپتیدازها
تمام ماهی ها گونه های تغذیه کننده از حشرات و سخت پوستان	پانکراس معده، پانکراس سایر بافت ها؟	هیدرولیز نشاسته (پیوندهای α ١ ← ٤) هیدرولیز کیتین	آمیلاز کیتیاز	گلیکولیزها
تمام ما هی ها	پانکراس	هیدرولیز تری گلیسریدها (بخصوص در موقعیت α) هیدرولیز تری گلیسریدها و سایر لیپازها	لیپازهای و کولیپاز های کبدی استرازها	لیپازها
مطالعات کمی انجام شده است	پانکراس	هیدرولیز اسیدهای نوکلئیک	ریبونوکلئازها	نوکلئازها

جدول ٢-٤) جایگاه عمل آنزیم های غیر فعال مهم در ماهی ها

پیوند هیدرولیز شده	آنزیم ها
NH_2 دی اسیدهای آردماتیک و آمینواسیدها	پپسین
COOH آرژنین یا لیزین	تریپسن
COOH آمینو اسیدهای حلقوی	کیموتریپسین
آمینواسیدهای آلیفاتیک (بخصوص آمینواسیدهای فعال بر روی الاستان)	الاستاز
آمینواسیدهای دارای گروه آزاد COOH	کربوهیدروکسی پپتیداز
آمینواسیدهای دارای گروه آزاد NH_2	آمینوپپتیداز
پیوندهای دی و تری پپتیدها	دی و تری پپتیداز

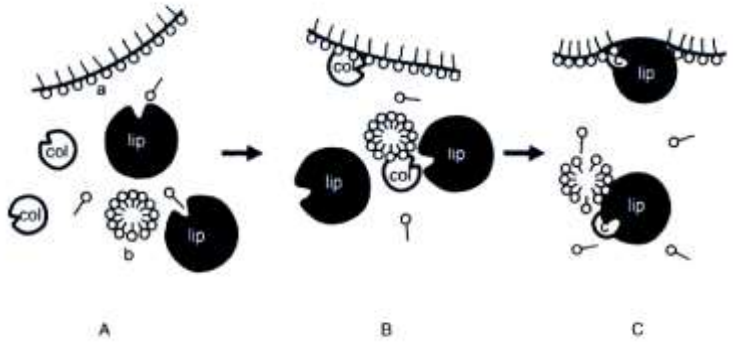
در مقایسه با سایر آنزیم های فعال در محیطهای آبی، لیپاز بر ذرات لیپیدی اثر می کند، ازاینرو فقط میتواند به گلبول‌های معلق در محیط آبی حمله نماید. در حالیکه نمک های صفراوی رویارویی آنزیم را با ذرات، از طریق افزایش سطح تماس، بالا می‌برند اما تعیین محل قرارگیری لیپاز روی ذرات لیپیدی را مشکل می سازند.

کولیپاز دارای یک پیوند دوگانه است و امکان تشکیل کمپلکس ذره لیپیدی- لیپاز- کولیپاز را فراهم می سازد که در آن لیپاز ها تا حدی به لیپیدها متصل می شوند(شکل ۴-۴). نتایج مطالعات اخیر نشان داده اند که کولیپاز پس از اتصال به لیپاز، محل کاتالیتیک آنزیم را شناسایی می کند. عملکرد لیپاز در ماهیان متفاوت از مهره داران عالی است و نسبت به تری گلیسیریدهای مختلف، میل ترکیبی زیادی دارد. در نهایت، گرچه نمک های صفراوی نقش مثبتی در امولسیون لیپیدها یا پراکنش آنها در محیط آبی دارند، اما نقش اصلی و عمده آنها پس از هیدرولیز تری گلیسریدها و با تشکیل کمپلکس لیپاز- کولیپاز انجام می شود.

عملکرد ساختمان سایر آنزیمهای تجزیه‌کننده لیپیدها در ماهی کمتر بررسی شده‌اند. استرازها و فسفولیپازها فعالیت زیادی دارند چون لیپازها به ترکیب خاصی گرایش ندارند. اثبات این مطلب دشوار است که این آنزیم ها بوسیله معده یا حتی پانکراس ترشح می شوند.

گلیکوسیدازها

مهمترین آنزیم های تجزیه کننده قندها، α ۱ ← ۴ گلیکوسیداز یا آمیلاز است که پیوندهای α ۱ ← ۴ در آمیلوز یا بخش های خطی آمیلوپکتین گلیکاگن را هیدرولیز می کند، اما نمی تواند پیوندهای α ۱ ← ۶ در اشکال شاخه دار آمیلوپکتین گلیکاگن را هیدرولیز نماید. این آنزیم در ماهیان گوشتخوار دریاهای آزاد یافت میشود که در غذای طبیعی آنها هرگز نشاسته وجود ندارد. آمیلاز با حمله به زنجیره خطی، از طریق رفع بقایای زنجیره های شاخه دار قندهای کوتاه زنجیره با اندازه‌های متفاوت، آنها را به مالتوز هیدرولیز می کند. گلیکوسیدازهای دیگری نیز با فعالیت پایین وجود دارندکه از بین آنها اغلب سلولاز (β ۱ ← ۴ گلیکوسیداز) مورد مطالعه قرار گرفته است. معمولا این آنزیم ها، شامل آنزیم های خارجی با منشأ باکتریایی هستند.



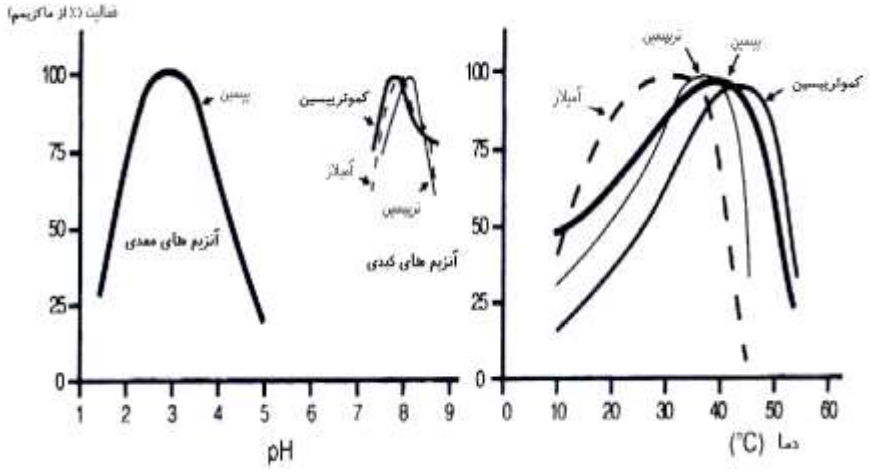
شکل ٤-٤) نحوه فعالیت لیپاز و کولیپاز . A : لیپاز و کولیپاز آزاد هستند و نمک های صفراوی(b) سطح ذره لیپید را پوشش می دهند بنابراین لیپاز نمی تواند فعالیت کند. B : کولیپاز به ذره می‌چسبد. C : لیپاز به کولیپاز می‌چسبد و می‌تواند تری‌گلیسریدها را هیدرولیز کند.

شواهدی وجود دارد مبنی بر اینکه می توان وجود سلولاز داخلی را در کپور معمولی با استفاده از تری مایسین آنتی بیوتیکی که از رشد باکتری های دستگاه گوارش جلوگیری می کند، اثبات نمود.
وجود لامینارینازها (β۱ ← ۳ گلیکوسیداز) در ماهیان تغذیه کننده از جلبک، اثبات شده است. این آنزیم امکان هیدرولیز بخشی از لامینارین با ساختار پلی هولوسیدی را فراهم میکند که در جلبک عملکردی مشابه سلولز در گیاهان خشکی دارد. شواهد مربوط به ترشح اندک این آنزیم توسط پانکراس، چندان قابل قبول نیست. با وجود این، آنزیم های هیدرولیز کننده کمپلکس بتای متصل به هیدراتهای کربن بسیارند. از انواع آنها کیتیناز است که β ۱ ← N۴- استیل گلوکزامین متصل به کیتین را به شکل کیتوبیوز (دایمر N استیل گلوکزامین) می شکند. این پلیمر در قارچ و بی‌مهرگان بخصوص کرم‌ها و بندپایان وجود دارد و محققان بر این اعتقادند که فعالیت کیتیناز در ماهی های تغذیه کننده از سخت پوستان و حشرات و آنهایی که طعمه خود را بدون جویدن می بلعند، بالاتر است.

ترشح آنزیم ها و فعال سازی آنها

نحوه ترشح و فعالیت آنزیم های هضم کننده کاملا مشابه مهره داران عالی است. ترشح هورمون‌های دستگاه گوارش (گاسترین، CCK و غیره) نقطه شروع انتشار ذرات زیموژن و صفرا است.

شرایط فیزیکی اپتیمم جهت فعال سازی آنزیم ها در شکل ۵-۴ مشخص گردیده است. pH اپتیمم برای فعالیت پپسین در حدود ۲ تا ۳ است ، درحالیکه در مورد سایر آنزیم ها در حدود ۷ تا ۸ می باشد. بنابراین جهت فعالیت آنزیم های معدی شرایط بسیار مطلوبی از لحاظ pH در معده و دوازدهه وجود دارد. در رابطه با سایر آنزیم های معدی اطلاعات محدودی در مورد pH اپتیمم موجود است. دمای اپتیمم جهت فعالیت تمامی آنزیم های ماهی، بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد است (شکل ۵-۴)، گرچه این دما به دمای داخلی بدن موجودات خونگرم نزدیک تر است، اما شایان ذکر است که آن دسته از آنزیم هایی که در دمای پایین یافت می‌شوند، آنزیم‌هایی هستند که در دماهای کم فوق العاده فعالند.



شکل ۵-٤) دما و pH اپتیمم جهت فعالیت آنزیم های معدی و کبدی در ماهی
(Uys and Hecht, 1989)

آنزیم های وابسته به غشاء روده ای

روده ماهیان نظیر روده مهره داران عالی ترشح کننده آنزیم ها نیستند. غـده هـایی در قسـمت ابتـدایی روده gadoids وجود دارند که تنها ترشح کننده یون هـا هسـتند. منشـا فعالیـت آنـزیم هـای موجـود در مایعـات روده‌ای می تواند ناشی از غذا، معده، پانکراس یا باکتری باشد. همچنین سلول های تحلیل رفتـه یـا بـدون تغییری که در پایه پرزها نفوذ می کنند یا حاصل از گسسته شدن زنجیره پپتیدی متصل با آنزیم های وابسته به غشای دیواره پرزها هستند، می توانند منشا این فعالیت باشند.

تحت شرایط فیزیولوژیک فعالیت آنزیم های وابسته به غشاء روده را فقط می توان روی دیواره روده مورد بررسی قرار داد. در شرایط آزمایشگاهی این فعالیت در پرزهای روده دیده می شود، اما کمتر شناخته شـده اند. آنزیم های اصلی(جدول ۳-۴)، قطعات ماکرومولکول های حاصـله از فعالیـت آنـزیم هـای معـدی یـا پانکراسی، شامل پپتیـدها، دی سـاکاریدها (عمـدتا مـالتوز) و دکسـترین هـایی بـا زنجیـره هـای کوتـاه را هیدرولیز می کنند. نحوه عمل مالتاز بر مالتوز ، مشابه عملکـرد ایزومالتـاز روی دکسـترین هـای شـاخه دار است و منجر به شکل گیری گلوکز شده که مستقیما جذب می شود. فعالیـت پپتیـدازها موجـب هیـدرولیز کامل پپتیدها و تجزیه آنها به آمینواسید نمی شود، اما ترکیب متنوع و پیچیـده ای از آمینواسـیدها را ایجـاد می کند که کوچکترین آنها (۴-۲ تایی) قابل جذبند. نحوه فعالیت این آنزیم هـا در شـکل ۲-۴ نشـان داده شده است. امروزه مشخص شده است که فعالیت هیدرولیزی آنزیم های وابسـته بـه غشـاء روده همیشـه در محل های نزدیک بـه منـاطق جـذب انجـام مـی شـود. همچنـین درمـورد ترانسـفراز γ - گلوتـامین، عمـل هیدرولیز و انتقال، تواما توسط یک ترکیب پروتئینی انجام می گردد.

سایر آنزیم ها

آمینوپپتیدازها از پپتیدازهای خارجی هستند که بر قسمت های انتهایی پپتیدهای حاصل از فعالیـت پپتیـداز داخلی با وزن مولکولی کم عمـل مـی نماینـد .ایـن آنـزیم هـا بجـز آنـزیم هـای لیزوزومـی کبـدی، در گرانولهای زیموژن به شکلی غیر فعال ترشـح نمـی شـوند. پپتیـداز لوسـین-آلانـین از انـواع آنـزیم هـای لیزوزومی روده ای است. استرازها، آنزیم های داخل سـلولی هسـتندکه پـس از اینکـه ذرات در معـرض اندوسیتوز قرار گرفتند، ایفای نقش می کنند.

جدول ۳-٤ آنزیم های اصلی وابسته به غشاء روده در ماهی

پپتیدازها	دی پپتیدیل پپتیداز IV لوسین آمینوپپتیداز فنیل آلانین – گلیسین پپتیداز γ- گلوتامین – ترانسفراز سایر آنزیم ها (احتمالا)
گلیکوسیدازها	α – گلیکوسیدازها (مالتاز) ایزو مالتاز کیتوبیاز سایر آنزیم ها
لیپازها	استرازها لیپازها (کمتر شناخته شده اند)
انواع مختلف	فسفاتاز اسیدی فسفاتاز قلیایی
نوکلئاز	(موقعیت نامشخص)

سطح فعالیت این آنزیم ها در لاروها بسیار بیشتر از ماهیان جوان است (فصل۱۲). آنزیم های باکتریای گرچه اغلب مورد توجه قرار می گیرند، اما معمولا فعالیت بسیار کمی دارند.

جدول ٤-٤) فعالیت آنزیم آمیلاز در گلدفیش در مقایسه با سایر ماهیان(استاندارد:١٠٠)
(Nagoyama and Saito, 1968)

فعالیت نسبی	گونه ها
١٠٠	گلد فیش
٨٤	کپور علفخوار
٤٤	تیلاپیا
٣٥	کپور معمولی
٣١	کپور نقره ای
٨	قزل آلا
١	مارماهی
١	ماهی دم زرد

٢-٢-١-٤) فعالیت آنزیمی

اگرچه آنزیم هایی که در فرآیند هضم در ماهی دخالت دارند بسیار مشابه آنزیم هایی گوارشی در مهره‌داران عالی هستند، اما فعالیت این آنزیم ها یکسان نیست. سطح فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئینها (پروتئیولیتیک) ،حتی در گونه های علفخوار، بالاست. میزان فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده لیپیدها (لیپولیتیک) از مقادیر بسیار بالا در ماهی آزاد اقیانوس آرام تا مقادیر متوسط در ماهی کفشک متغیر است. فعالیت آنزیم های آمیلاز (آمیلولیتیک) در تمامی ماهیان از لحظه شروع زندگیشان وجود دارد و سطح آن در ماهیان علفخور بالاتر از ماهیان همه‌چیزخوار است (جدول۴-۴) و این حالت نشاندهنده سازگاری خوب ماهیان با عادات غذایی خود در محیطهای طبیعی است. در کفشک ماهی که غذای آن را نرم تنان غنی ازگلیکوژن تشکیل می دهند نیز فعالیت آمیلاز بالاست. چنین بنظر می رسد که ترشح آنزیم آمیلاز همراه با افزایش دمای آب افزایش می یابد.

۳-۱-٤) جذب مواد غذایی

جذب مواد غذایی از حفره داخلی روده به سیتوزول داخل سلولی آغاز شده و سپس از دو طریق به رگهای خونی انتقال می یابند:

ـ جذب ذرات یا ماکرومولکول ها بدون اینکه هضم انجام شود.

ـ جذب مولکول های کوچک ازطریق فرآیندهای انتشار ساده،انتشار تسهیل شده یا انتقال فعال .

۱-۳-۱-٤) جذب توسط اندوسیتوزها

نقش سلول های اندوسیتیک (شکل ۳-۴) که عمدتاً در بخش خلفی روده قرار دارند، با استفاده از تکنیک های ایمونوفلورسنس[1] شناسایی شده است. چین خوردگی های موجود در پایه میکروپرزها نقش گیرنده[2] را ایفا می کنند که از طریق آن مولکول های پروتئینی بدون تغییر عملکرد از داخل سیتوزول عبور می نمایند. تعدادی از این مولکول ها در داخل واکوئل ها هضم می شوند(هضم درون سلولی) و تعدادی دیگر از طریق دیواره جانبی سلول، از سلول خارج شده و در فرآیند هضم خارج سلولی (اگزوسیتوز) شرکت می کنند و لایه ای به نام lamina propria ایجاد می کنند.به این ترتیب، با توجه به نوع گونه سلول های اندوسیتی می توانند با اتصال به لمفوسیت ها آنتی ژن ترشح کنند. با الهام از این پدیده می توان مولکول های پروتئینی فعال را ازطریق واکسیناسیون یا به صورت خوراکی وارد بدن نمود.

چون سهم جذب از طریق مکانیسم اندوسیتوز کم و در حدود ۱ تا ۶ درصد جذب کل پروتئین های غذایی را تشکیل می دهد، تعیین میزان اهمیت این مکانیسم در علم تغذیه دشوار بوده و ضروری بنظر نمی رسد. از اینرو، اندوسیتوز به عنوان مکانیسم ورود اسیدهای آمینه درنظر گرفته نمی‌شود. در این رابطه، می توان اطمینان حاصل کرد که روند جذب پروتئین جانوران ابتدایی می تواند مرتبط با کیفیت پروتئین های مورد تغذیه‌ای باشد که منشا بسیاری از واکنش های شبه ایمنی در بدن باشدکه در این زمینه مطالعات زیادی صورت نگرفته است.

---

[1] immunoflurescence
[2] receptor

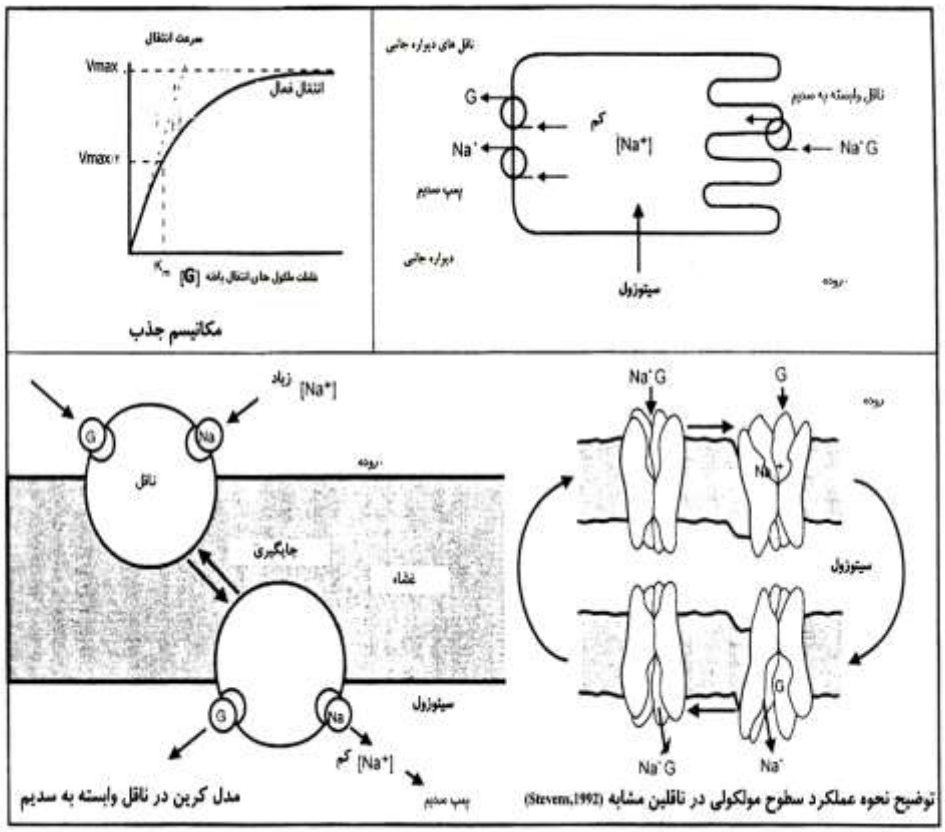
۲-۳-۱-٤) جذب از طریق انتشار یا انتقال

جذب از طریق انتشار ساده در طول غشا همواره در جهت شیب غلظت صورت می گیرد (شکل ۶-۴) هر چند فرآورده های حاصل از تجزیه لیپیدها نیز از این طریق جذب می شوند اما بندرت مولکول های محلول در آب از طریق این فرآیند جذب می گردند.

جذب از طریق انتشار تسهیل شده و انتقال فعال بر اثر مداخله مولکول های ورودی به غشاهای دولایه ای لیپیدی(شکل ۲-۴) صورت می گیرد و عملکرد آنها را می توان با بررسی سینتیک منحنی مجانب آنها تشخیص داد. عملکرد این پروتئین ها کاملا شبیه آنزیم هاست و در صورتی که توسط جریان انرژی جابجا شوند(جریان Michaelis-Menten ، شکل ۶-۴) ، می توان از معادلات مشابه برای آنها استفاده نمود. انتقال گلوکز یا آمینواسیدی که از طریق انتقال وابسته به سدیم صورت می گیرد، نمونه ساده ای از این مکانیزم است. در حقیقت انتقال از روده به سیتوزول انتروسیت ها، انتقال مولکول های آلی با کمک یون سدیم است(شکل۶-۴). با کاهش شیب غلظت یون سدیم داخل سلولی ، پمپ سدیم غشا، غلظت سدیم را حفظ می کند و یون ها را با فشار به سمت محفظه داخلی وارد می کند، انرژی این عمل از طریق هیدرولیز ATP تامین می شود. از اینرو علاوه بر افزایش شیب غلظت ،گلوکز یا آمینواسیدها درسیتوزول ها جمع می‌شوند، سپس از طریق انتشار تسهیل شده و در طول شیب کاهشی از دیواره جانبی سلول عبور می کنند(شکل۴-۶).مکانیسم انتقال فعال به منظور جذب پپتید ها(معمولا مونو، دی یا تری پپتیدها) نیز مشابه جذب گلوکز است.

انتشار تسهیل شده به حضور ناقل ها وابسته است. بنابراین، بر خلاف انتقال فعال، این مکانیسم صرفا در جهت شیب کاهشی تنظیم می شود و نیازی به انرژی ندارد. مولکول هایی که از پرزهای روده عبور میکنند، در سیتوزول تغییر شکل می دهند(برای مثال ایزومره شدن یا تبدیل مجدد اسیدهای چرب به تری گلیسیریدها) و شیب کاهشی به سمت سیتوزول باقی می ماند. انتشار تسهیل شده هر چند بندرت اتفاق می افتد اما مانند انتشارساده، نقش مهمی در انتقال ذرات و یون ها ایفا می کند.

در حیوانات، جذب لیپید از طریق ذرات معروف به میسل صورت می گیرد که از اسیدهای چرب شامل مونواسیل گلیسرول ها (حاصل از هیدرولیز تری اسیل گلیسرول توسط لیپاز کبدی) و نیز فسفولیپیدها (گوارشی یا صفراوی)،کلسترول و اسیدهای صفراوی ساخته می شوند.



شکل ٦-٤) مکانیسم جذب گلوکز (G) از طریق انتقال فعال. این روند در رابطه با سایر ترکیبات نظیر اسیدهای آمینه و پپتیدها نیز مشابه است.

ترکیبات مختلف لیپیدی و ترکیبات محلول در چربی (گروه ویتامین A و کاروتنوئیدها) که به مقدار کم در میسل ها دیده می شوند، بعد از تجمع میسل ها در طول دولایه چربی انتشار می یابند. در ماهیان تری اسید گلیسریدها سنتز می شود که سازنده برخی از لیپیدها نظیر لیپوپروتئین ها هستند. میزان سنتز این ترکیبات با سنتز آنها در کیلومیکرون های موجود در اندوپلاسمای رتیکلوم و دستگاه گلژی پستانداران برابری می کند. این ذرات از طریق اگزوسیتوز از انتروسیت ها خارج و از طریق رگ های

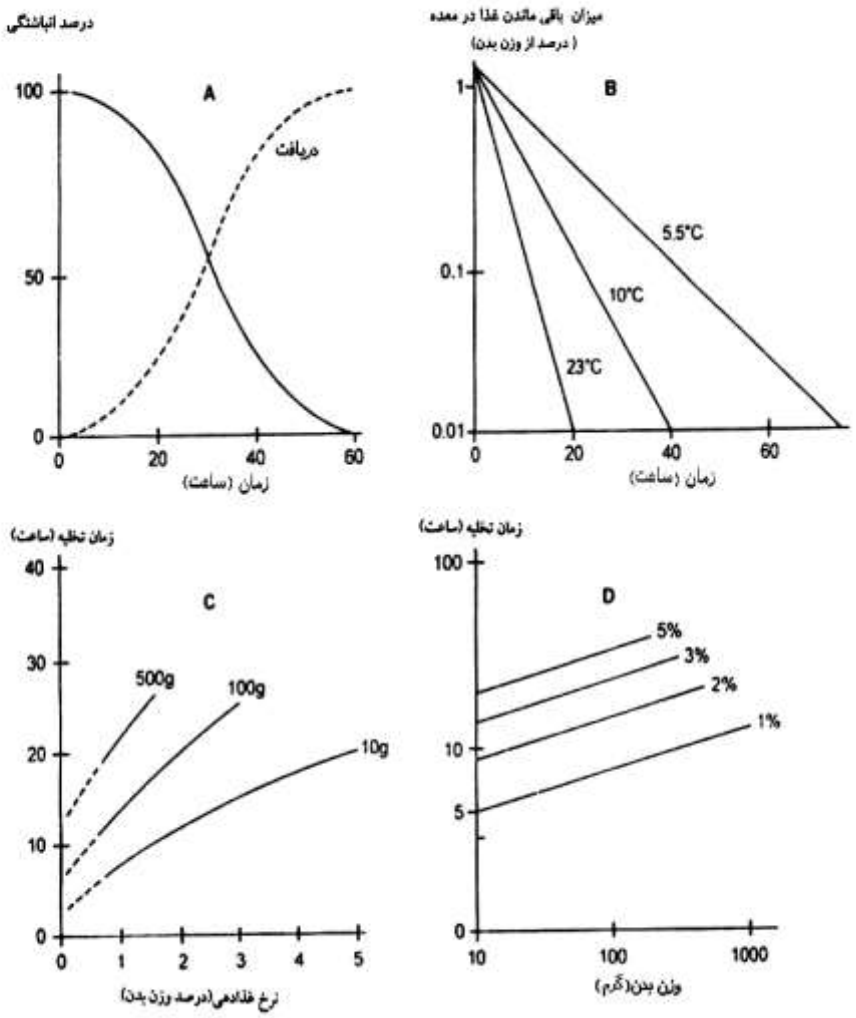
خونی یا لنفاوی به اعضای مختلف می روند. لیپیدهای موجود در انتروسیتها ذخیره مهمی برای ماهیان محسوب می شوند. جذب ویتامین های محلول در چربی از طریق میسل ها صورت می گیرد، اما ویتامین های محلول درآب درطول غشابه وسیله حامل های ویژه یا از طریق انتشار غیر فعال انتشار مییابند. مواد معدنی یا مینرال ها نیز با کمک حامل ها یا از طریق معبر های یونی جذب می شوند، در حالیکه عناصر منفرد جهت جذب معمولاً از اتصال به اسیدهای آمینه استفاده می کنند.

٤-١-٤) زمان هضم

غذایی که توسط ماهی از محیط دریافت می شود، در ماهیان دارای معده برای زمان نسبتا طولانی در معده می ماند (اغلب دهها ساعت در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد). در ماهیانی که طعمه خود را به طور کامل می بلعند وجود معده دارای اهمیت ویژه ای است. عمل هضم ابتدا روی پوشش خارجی طعمه خورده شده صورت می گیرد و با فعالیت فشرده آنزیم های تجزیه کننده پروتئین (بخصوص الاستاز) و کیتیناز ادامه می یابد. در سایر موارد بخصوص زمانیکه ماهی از غذاهای ترکیبی تغذیه کند، مکانیسم تخلیه غذا از معده به عوامل مختلف از جمله گونه و اندازه ماهی، نوع و مقدار غذا و دما بستگی دارد. به طورکلی، می توان تخلیه شدن معده را به شکلی متمایز با معادله‌ای مشابه با معادله پر شدن معده توصیف نمود. عموماً معده پرتر زودتر تخلیه می شود و خالی شدن معده تا حد معینی، می تواند با برگشت اشتها همراه باشد.

در مورد برخی از گونه ها و غذاهای مشخص ، زمان خالی شدن معده با میزان مصرف ارتباط مستقیم دارد و به لگاریتم وزن بدن نیز وابسته است (شکل۷-۴). هنگام مصرف مقادیر یکسانی از غذا، تخلیه معده در ماهیان کوچکتر سریع تر اتفاق می افتد. در این حالت، عکس آن هم صادق است. در زمان مصرف مقادیر یکسان غذا، نرخ مصرف غذا در ماهیان کوچکتر، بیشتر است. با افزایش درجه حرارت محیط فرایند گوارش تسریع می یابد (شکل۷-۴).

در گونه های فاقد معده، فرآیند تخلیه کامل دستگاه گوارش مشابه ماهیان دارای معده است. دراین گونه‌ها نقش بخش روده ای مشابه معده است و سرانجام اینکه ماهیانی که تمایل بیشتری به رژیم غذایی علفخواری دارند نسبت به گونه های گوشتخوار زمان هضم سریع تری دارند. بنابراین، آگاهی از میزان مصرف غذا و روند تخلیه غذا از معده(برای مثال در ماهی) امکان محاسبه تعداد وعده های غذایی مورد نیاز جهت توزیع غذا و کل جیره غذایی روزانه را فراهم می کند.



شکل ۷-٤) تنظیم زمان انتقال هضم

A: ارتباط بین معده خالی و بازگشت اشتها(Jobling,1977)

B : اثر دما بر زمان تخلیه معده(مدل لگاریتمی)

C: اثر وزن بدن بر زمان تخلیه معده

D: اثر جیره مصرفی(درصد وزن بدن) بر زمان تخلیه معده- ارتباط لگاریتمی بین دماهای مختلف.

۵-۱-٤) بررسی کلی پدیده هضم ـ جذب

بازدهی هضم غذایی در مفهوم گسترده ناشی از فرآیندهای موثر هضم نظیر ترشح آنزیم، فرآیندهای انتقال و جذب است. گرچه برخی عوامل مانند سن یا اندازه ماهی، موازنه مواد غذایی و دما، ممکن است به میزان زیاد بر این سه پدیده تاثیر گذار باشند، اما ارتباط بین آنها هنوز بررسی نشده است. به استثنای موارد پاتولوژیک (برای مثال فقدان آنزیم های پانکراسی به علت بیماری پانکراتیک در آزادماهیان یا اسهال که زمان هضم را تسریع می کند)، بنظرمی رسد که بررسی روابط بین این فرآیندها بسیار سودمند باشد. برای مثال، کاهش دما منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌ها و کاهش نرخ جذب و سرعت انتقال بیشتر و کاهش جذب غذای خورده شده می شود. اما حداقل درماهیان یوری ترم، کاهش دما بندرت بر این تعادل مؤثر است. افزایش پروتئین،هیدرات کربن و لیپید غذا بسرعت ترشح پپسین، آمیلاز و لیپاز را تحریک میکند. این فرایند طولانی و نامطلوب است اما تنظیم مکانیسم های جذب (نظیر مهره داران عالی) معمولا باعث ثابت نگه داشتن میزان بازدهی کل فرایند ها بعد از یک دوره سازگاری میشود که اغلب به طور منظم طی یک روز رخ می دهد. به طور مشابه، در جریان رشد (به استثنای دوره متامورفیسم) نیازها نسبت به وزن بدن متغیر بوده و در صورتیکه غذا براحتی از محیط جذب شود، بلع غذا به موازات نیازها افزایش می‌یابد. به رغم این مسئله ،تعادل هضم همواره بدون تغییر باقی می ماند که دلیلی بر وجود موازنه بین بلع، ترشح آنزیم، جذب و زمان انتقال می باشد.

نقش شوری به صورت وسیع بررسی نشده است. انتقال یک ماهی یوری هالین از آب شیرین به آب شور، زمان هضم را تسریع می کند و قابلیت هضم را کاهش می دهد. شایان ذکر است که مکانیسم جذب وابسته به سدیم در گونه های آب شیرین نسبت به گونه های آب شور یا حیوانات خشک زی متفاوت است (Ferraris and Ahearn,1984).

۲-٤ - قابلیت هضم مواد غذایی

قابلیت هضم شامل برآورد کلی از گروهی از رخداد هاست که در بخش اول بطور خلاصه ارائه شده و دربر گیرنده مراحل جذب روده ای مواد مغذی است. به دلایل مختلفی بخشی از غذای هضم شده نمیتواند از موکوس روده ای عبور کند به شکل مواد زائد همانند مواد زاید با منشا متابولیک (موکوس، سلول های مرده، آنزیم های ترشحی) یا ضایعات حاصل از فعالیت باکتریایی، از بدن دفع می شوند .

بنابراین، ارزش غذایی یک غذا نه تنها به محتوای مواد مغذی آن، بلکه به قابلیت بلع و جذب آن توسط مصرف کننده نیز بستگی دارد. قابلیت هضم نشان دهنده تعادل بین مواد غذایی خورده شده و جذب شده در حیوان است.

در آبزی پروری ، مطالعات انجام شده پیرامون قابلیت هضم دارای سه هدف است: فهم بهتر پتانسیل مصرف مواد غذایی، بهبود کیفیت غذای مصرفی توسط ماهی و در نهایت کاهش ضایعات غذا که باعث حفظ کیفیت محیط زیست بویژه کیفیت آب می شود.

۱-۲-٤) شاخص‌های هضم‌پذیری

با استفاده از شاخص های هضم پذیری (DC[1]) امکان اندازه گیری قابلیت هضم فراهم می شود. با توجه به اینکه مواد دفعی با منشا داخلی (عمدتاً چربی ها، اسیدهای آمینه و مواد معدنی) در محاسبه مواد دفعی در نظر گرفته می شوند یا خیر، این شاخص ها را به دو صورت می توان تعریف نمود.

بطور مجزا ضریب قابلیت هضم ظاهری (ADC[2]) وضریب قابلیت هضم واقعی (TDC[3]) به این صورت تعریف می شوند:

$$\mathbf{ADC} = \frac{\text{غذای دفع شده} - \text{غذای خورده شده}}{\text{غذای خورده شده}} \times ۱۰۰$$

$$\mathbf{TDC} = \frac{(\text{مواد دفعی با منشا داخلی} - \text{غذای دفع شده}) - \text{غذای خورده شده}}{\text{غذای خورده شده}} \times ۱۰۰$$

[1] Coefficient Digestibility
[2] Coefficient Apparent Digestibility
[3] Coefficient of Digestibility True

از لحاظ تئوری ، ADC به وضیت فیزیولوژیک ماهی و نرخ هضم بستگی داشته و امکان برآورد توانایی حیوان برای نگهداری یا مصرف جیره غذایی را فراهم می کند. TDC عمدتاً به نوع جیره مصرفی و قابلیت هضم در گونه بستگی دارد و امکان برآورد نقش یک غذا در تامین مواد غذایی مورد نیاز حیوان را فراهم می کند. اما چون تعیین کسر مواد زاید با منشا داخلی در ماهی دشوار است بنابراین، معمولا از شاخص ADC استفاده می شود.

۲-۲-٤) روش های کاربردی در مطالعه قابلیت هضم

به علت پرورش نسبتاً آسان آزادماهیان، مطالعات در این زمینه روی این گونه ها انجام شده است. اما در حال حاضر قابلیت هضم مواد غذایی در سایر گونه ها نظیر مارماهی، کفشک ،کپور، گربه ماهی کانالی و غیره نیز در حال بررسی است. شاخص های مورد بررسی به اطلاعاتی در زمینه مصرف غذا و دفع مواد زاید نیاز دارد که می توان با روش مستقیم یا غیر مستقیم این اطلاعات را تهیه نمود.

۱-۲-۲-٤) روش مستقیم

در این روش، اندازه گیری کل غذای خورده شده و کل مواد زاید دفع شده در یک وعده غذایی مشخص، مورد نیاز است. استفاده از سایر روش های اندازه گیری مواد دفعی نیز می تواند مفید باشد، چون در این روش ها امکان محاسبه کمی مواد دفع شده حاصل از جیره های غذایی مصرفی توسط ماهی فراهم می شود.

۲-۲-۲-٤) روش غیر مستقیم

این روش در مقایسه با روش مستقیم، به اندازه گیری کل غذای مصرف شده یا کل مواد زاید دفع شده نیاز نبوده و از یک ماده نشانگر غیر قابل جذب، غیر قابل هضم و بی اثر استفاده میشود که در مواد غذایی گنجانده یا به جیره غذایی اضافه شده است. به علت ویژگی منحصربفرد این روش، پس ازعبور غذا از روده، ماده نشان دار بدون تغییر در ترکیب، در مدفوع دیده می شود (میزان غذای خورده شده × مقدار ماده نشانگر در غذا = میزان مدفوع × مقدار ماده نشانگر در مدفوع).

افزایش غلظت ماده نشانگر در مدفوع نسبت به غلظت مواد غذایی، امکان تعیین میزان کاهش مـواد غـذایی را بر اثر جذب در روده، فراهم می کند. عمدتاً دو گروه از مواد نشانگر مورد استفاده قرار می گیـرد: مـواد نشانگر داخلی یا مواد موجود در ترکیب غذایی (لیگنین، سیلیکا) و مواد نشـانگر خـارجی یـا مـواد افـزوده شده به غذا (اکسید کروم، مواد معدنی کمیاب یا قطعات رنگی). به رغم شناخت محـدوده گسـترده ای از این مواد ، هیچیک از آنها از لحاظ کیفی فاقد عملکردی عالی هستند.

خصوصیات یک ماده نشانگر ایده آل عبارتند از:

ـ کاملا بی اثر و بدون هیچ گونه اثر فیزیولوژیک یا رفتاری بر حیوان .

ـ جذب یا متابولیسم نشود.

ـ در جذب، ترشح، هضم یا تحریکات گوارشی تاثیری نداشته باشد.

ـ زمان عبور آن مشابه غذای مورد بررسی باشد.

ـ میزان آن براحتی و بسرعت قابل اندازه گیری باشد.

با توجه به مطالب مطرح شده، جهت اندازه گیری قابلیت هضم، هنگام انتخاب نیاز های غذایی بایـد یـک ماده نشانگر مناسب در نظر گرفته شود. امروزه به منظور تعیین قابلیت هضم مواد مغذی بـا اسـتفاده از روش غیر مستقیم، از اکسید کروم به عنوان ماده نشانگر و در یک نسبت ثابت یک تا دو درصد استفاده می شود. تحت این شرایط ، قابلیت هضم غذا بر اساس وزن خشک (بـه صـورت درصـد) بـا اسـتفاده از رابطـه ذیـل محاسبه می گردد:

$$\mathbf{ADC} = ۱۰۰ - \left(۱۰۰ \times \frac{\text{درصد ماده نشانگردر غذا}}{\text{درصد مواد نشان دار در مواد دفعی}}\right)$$

به طور مشابه، قابلیت هضم یک ماده مغذی به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\mathbf{ADC} = ۱۰۰ - \left(۱۰۰ \times \frac{\text{درصد ماده نشانگر در غذا}}{\text{درصد مواد نشانگر در مواد دفعی}} \times \frac{\text{درصد ماده مغذی در مواد دفعی}}{\text{درصد ماده مغذی در غذا}}\right)$$

قابلیت هضم یک ماده مغذی بویژه مواد خام به طرق مختلف قابل محاسبه است:

- ماده مغذی را می توان به تنهایی و بدون هیچ ماده مغذی دیگر توزیع نمود و به این ترتیب، قابلیت هضم خام آن را محاسبه نمود، اما جز در موارد معدودی، مواد خام به تنهایی نمی توانند جیره غذایی متناسب و متعادلی را فراهم کنند، از سویی همراه شدن آنها با سایر ترکیبات مغذی قابلیت هضم آنها را تغییر میدهد.
- می توان ماده مغذی را به یک جیره پایه با قابلیت هضم مشخص با نسبت افزایشی اضافه نموده اما این روش بندرت مورد استفاده قرار می گیرد.
- ماده مغذی را به جیره پایه با قابلیت هضم مشخص و به نسبت ثابت اضافه کرد. افزودن آن به جیره میتواند با یک نسبت مشخص (تقریبا ۳۰ درصد جیره) یا به منظور افزایش دقت در سطوح مختلف (برای نمونه۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد جیره) انجام شود. در نهایت ، محاسبه ADC مربوط به ماده خام مورد نظر را میتوان از طریق تعیین میزان اختلاف با جیره پایه یا قیاس کردن با جیره های دیگر برآورد نمود، از این روش، بخصوص در مورد اندازه گیری قابلیت هضم نشاسته در ماهیهای کاد، قزل آلا و کپور استفاده میشود.

به طور کلی، قابلیت هضم دارای خاصیت جمع پذیری است و قابلیت هضم یک غذا را می توان از طریق مجموع قابلیت هضم اجزا اصلی تشکیل دهنده غذا پیش بینی نمود. اما در پاره ای گزارشها قابلیت هضم جمع پذیر نبوده است. هرچند افزایش نشاسته به غذا می تواند کاهش هضم پروتئین را موجب شود ، اما می تواند در قابلیت جذب نشاسته تاثیر مثبت بگذارد. از نظر کاربردی، قابلیت هضم یک ماده مغذی تحت تاثیر تعادل جیره غذایی نیست و بیان این مطلب فقط در حد یک فرضیه نزدیک به واقعیت است، اما به طور قطعی ثابت نشده است.

۳-۲-٤) مواد دفعی

در سیستم پرورش متراکم با مدیریت مطلوب که کل غذای داده شده توسط حیوان مصرف می شود، مدفوع شامل بخشی از غذای هضم نشده بعلاوه مواد زائد متابولیک (مخاط سلول های سنگفرشی، ترشحات آنزیمی و فلور باکتریایی) است. مواد زائد از لحاظ کمی نسبت به بقایای غذای هضم نشده بخش کمی از مواد دفعی را تشکیل می دهند.

بنابراین، در قزل آلا به ازای هر ۱۰۰ گرم ماده خشک که حدود ۰/۶ گرم(۶ درصد) نیتروژن دارد، مواد دفعی متابولیک فقط حاوی ۰/۱گرم نیتروژن می باشند، درحالیکه مقدار مواد هضم شده ۰/۴ تا ۰/۶ گرم نیتروژن دارند. ازینرو مقدار مواد زائد جامد نسبت به مواد اصلی مصرفی در غذاهای ترکیبی و نیز سهم مختلف هر یک از مواد مغذی (پروتئین ها، چربیها و هیدراتهای کربن) متفاوت است.

۱-۳-۲-٤) ترکیب

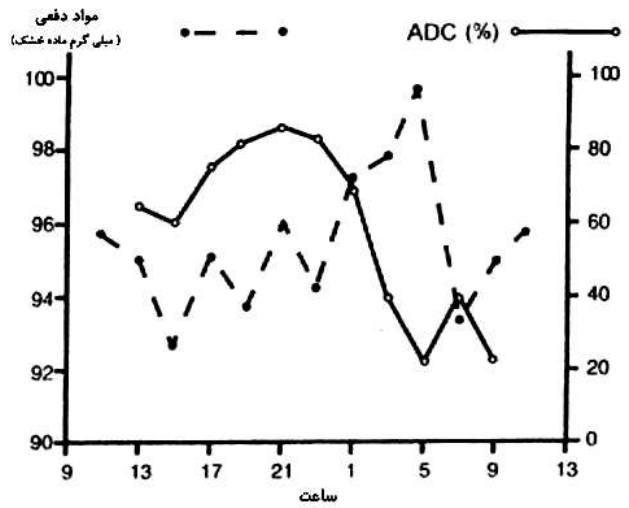
بین ۳ تا ۶ گرم از فضولات دفع شده توسط یک قزل آلای ۲۰۰ گرمی حاوی ۸۰ تا ۸۵ درصد آب است. بخش جذب نشده غذا به طور متوسط شامل۱۵ تا ۲۰ درصد پروتئین (۶/۲۵ × N)، کمتر از یک درصد لیپید ، ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد معدنی و مقادیر مختلفی از هیدراتهای کربن و فیبرهاست. سهم هر یک از این مواد در ترکیب غذا به شکل قابل توجهی به نوع غذا بستگی دارد. در ماهیان دریایی میزان مواد معدنی در فضولات افزایش می یابد که مقدار این افزایش با توجه به روش نمونه برداری متفاوت است.

۲-۳-۲-٤) عوامل موثر بر تغییرات

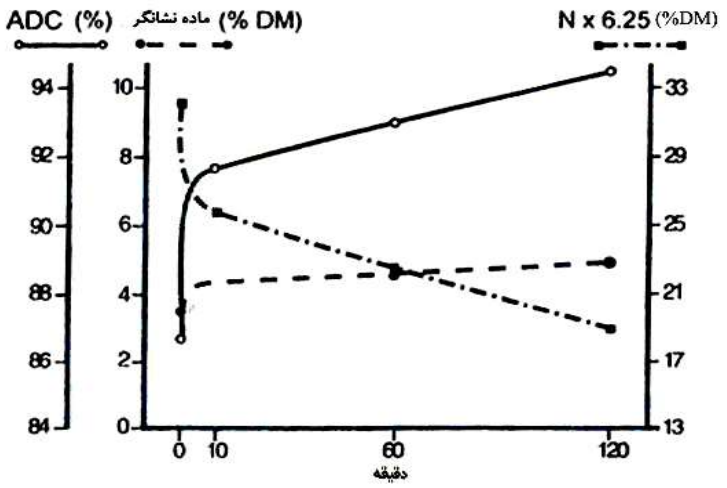
در قزل آلا ، دفع فضولات در یک دوره ۲۴ ساعته صورت می گیرد اما بصورت منظم تداوم نداشته و در شب افزایش می یابد. ریتم دفع فضولات در قزل آلا سینوسی است(شکل ۸-۴) و تفاوت در میزان دفع همراه با تغییر در ترکیب آنهاست. این پدیده باید هنگام اندازه گیری مقادیر ADC ، در یک دوره طولانی مدت، در نظر گرفته شود.

٤-۲-٤) جمع آوری مدفوع

چون محیط پیرامون ماهی را آب تشکیل می دهد، بروز پدیده هایی نظیر خیس خوردن، رقیق شدن و خرد و تکه‌تکه شدن وجود دارد، جمع آوری فضولات ماهی بمراتب دشوارتر از حیوانات خشک زی است. تاثیر این عوامل از پنج دقیقه اول دفع فضولات آغاز می شود و برای چندین ساعت ادامه دارد(شکل ۹-۴). این عوامل موجب تخمین بیش از حد مواد دفعی می شود (برای مثال ، برای نیتروژن ۱۰ تا ۱۵ درصد در ساعت) و این عامل منجر به برآورد بیش از حد ADC می گردد. بنابراین، تفکیک روشهای جمع آوری فضولات از اهمیت خاصی برخوردار بوده و براساس اینکه ماهی خارج از آب یا داخل آب باشد، طبقه بندی صورت گرفته است.



شکل ۸-٤) بررسی تغیرات در میزان دفع و ADC طی شبانه‌روز در ماهی قزا آلای رنگین کمان



شکل ۹-٤) تغییردر مقدار ماده نشانگر و ماده خشک مدفوع پس از غوطه ور شدن در آب (در صورتیکه از آب خارج نشوند). نتایج بر آورد ADC

۱-٤-۲-٤) ماهی خارج از آب

جمع آوری فضولات با استفاده از وارد کردن فشار به شکم : در این روش ماهی بی حس شده و از طریق فشار به شکم، فضولات خارج می شود. در قزل آلا وارد کردن فشار موجب صاف شدن روده می شود، اما این روش را نمی توان برای تمامی ماهی ها بکار برد (از جمله ، کپورمعمولی). علاوه براین، فشار دادن شکم باعث خروج ترشحات جنسی و بعضی اوقات خون می شود. ADC در این روش کمتر از حد واقعی برآورد می شود. از اینرو، در جهت تکمیل این روش دو روش دیگر مورد استفاده قرار میگیرد.

جمع آوری مدفوع از طریق تخلیه مقعدی: با استفاده از یک کانولای[1] شیشه ای متصل به یک مخزن و ایجاد خلاء، مواد دفعی موجود در محفظه رکتال جمع آوری می شوند.

تشریح و کالبد شکافی : در این روش محتوای رکتوم به طور کامل جمع آوری می شود، اما لازمه آن کشتن ماهی است.

این سه روش با وجود ساده بودن دارای نقاط ضعفی نیز هستند. از آنجاییکه جذب (عمدتا پروتئین ها)، در قسمت عقبی روده صورت می گیرد، نمونه هایی که از طریق این روش ها جمع‌آوری می شوند ، در حقیقت دارای مواد قابل جذب بوده و مدفوع واقعی محسوب نمی‌شوند. علاوه براین، این نمونه ها فقط در یک لحظه و به صورت آنی جمع آوری می شوند، در حالیکه فضولات در یک دوره ۲۴ ساعته در جریان یک فرآیند کامل هضم تولید می شوند. متوسط زمان هضم در ماهی قزل آلا، حدود ۳۰ دقیقه است، بنابراین بدیهی است که نمونه هایی که در ابتدا، وسط و انتهای زمان هضم جمع آوری شوند، مشابه نباشند ودر نهایت اینکه، دستکاری ماهی علاوه بر محدودکردن تعداد نمونه‌ها، باعث ایجاد استرس در ماهی می شود که این امر امکان نمونه گیری بعدی را دشوار می سازد.

[1] Canula

٢-٤-٢-٤) ماهی داخل آب

برای جلوگیری از بروز مشکلات هنگام نمونه برداری مانند نمونه برداری از موادی که جزء مواد دفعی محسوب نمی شوند، چندین روش جهت جمع آوری مداوم فضولات ماهی ایجاد شده که به شرح ذیل می باشند :

سیفون کردن فضولات : این روش شامل سیفون کردن لحظه ای مدفوع بلافاصله پس از خروج از بدن می باشد. اگر چه این روش، آزمایشگاهی است اما می توان از نتایج آن به عنوان مرجع استفاده نمود. این روش ساده به علت وجود برخی محدودیت ها، اصلاح شده و با فیلتر و ستون های تخلیه تکمیل‌تر شده است . (شکل ١٠-۴، بالا). اما باید اثر پدیده های حل شدن و خرد و متلاشی شدن فضولات را که قبلا به آنها اشاره شد، بویژه لحظه رهاسازی مدفوع، به حداقل رساند. همچنین مدفوع قبل از جمع آوری در معرض فعالیت باکتریایی نیر قرار می گیرند و سرانجام اینکه استفاده از این روش در ماهیان دریایی منجر به جمع آوری مقدار زیادی نمک می‌شود که حاوی آب فراوانی است و لازم است که آب آنها تبخیر شود زیرا مقادیر زیادی نمک به ترکیب مواد دفعی لطمه زده و اندازه گیری ADC را دشوار میسازد.

تصفیه مداوم آب : در این روش از طریق حرکات صفحات دوار آب دائما تصفیه می شود (شکل ١٠-۴) و به این ترتیب، مدفوع موجود در آب بسرعت جدا می شود، اما این روش را نمی توان برای گونه های دارای فضولات بسیار نرم بکار برد.

اضافه کردن ترکیبات چسبنده یا سیمانی به منظور تولید مدفوع سفت تر همواره کافی نیست.

در ماهی آزاد چینوک و باس دریایی از این روش ها به منظور تعیین قابلیت هضم پروتئین ها استفاده شده است. نتایج حاصل از روش های صاف کردن در مقایسه با دو روش دیگر (جدول۵-۴) به روش مرجع(سیفون کردن مواد دفعی) بسیار نزدیک بود.

جدول ۵-٤) ضریب هضم ظاهری پروتئین ها و لیپیدها در باس دریایی با استفاده از روش جمع آوری مدفوع (میانگین ± خطای استاندارد)(Spyridakii *et al*., 1989)

	روش های جمع آوری مدفوع					
	فشار به بخش شکمی	کالبد شکافی	تخلیه مقعدی	فیلتر کردن	سیفون کردن	صاف کردن
ADC پروتئین ها	۸۲ /۵ ± ۱/٤[a]*	۸٤/٤ ±۰/ ۸ [ab]	۸٦/٦ ±۰/۳ [a]	۹۰/٤ ± ۰/ ٦ [c]	۹۰/٦ ±۰/ ۳ [c]	۹٤/۲ ±۰/ ۱ [d]
ADC لیپید ها	۹٤/۱ ±۰/ ۸ [a]	۹۵ ± ۰/ ٤ [ab]	۹٦/۳ ±۰/ ٤ [b]	۹٦ ±۰/ ۲ [b]	۹۷/۳ ±۰/ ۲[b]	۹۷/۱ ±۰/ ۳ [b]

*: اعداد با حروف مشابه(در هر ردیف) اختلاف معنی ندارند

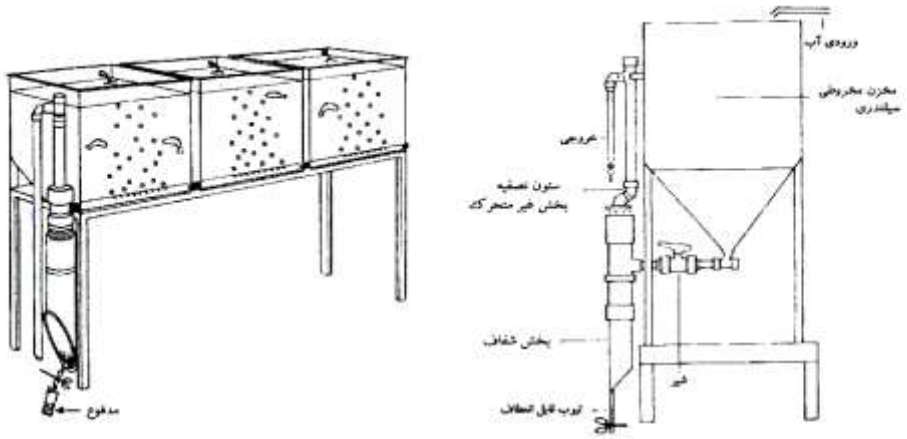
۵-۲-٤) استاندارد سازی

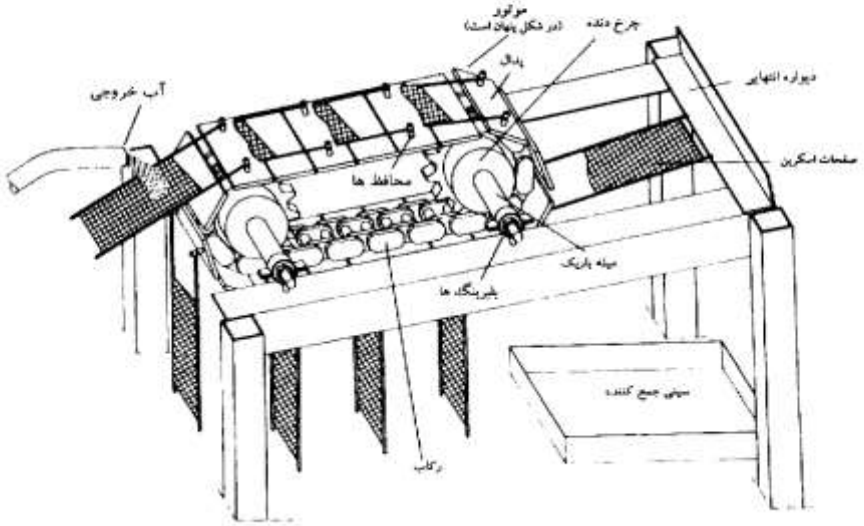
هر چند روش های عملی کاربردی و متعددی جهت برای جمع آوری مواد دفعی توسط EIFAC[1] پیشنهاد شده، اما بین مطالعات انجام شده در زمینه قابلیت هضم ماهی و در مفهوم مطلق آن، هیچگونه همگونی وجود نداشته و هر محققی معیارهای مخصوص بخود را برای برآورد قابلیت هضم دارد. با این وجود، برخی نکات متدولوژیک قابل تعریف به شرح ذیل است:

زمان سازگاری ماهی با شرایط تغذیه ای جدید: بعد از گذشت سه روز از تغییر جیره ADC مقادیر معینی را بخود اختصاص می دهد. بنابراین، سازگاری بسرعت انجام می شود و فقط اثرات زمان هضم را باید مورد توجه قرار داد به این ترتیب، مدفوع سه روز پس از توزیع جیره غذایی جمع‌آوری و قابلیت هضم آن بررسی می شود.

تکرار وعده های غذایی: بنظر نمی رسد تعداد وعده های غذایی در روز اثری بر قابلیت هضم داشته باشد، اما در زمان هضم و جذب غذا تاثیر می گذارد. از نظر اهداف کاربردی، یک وعده غذا در روز برای ماهی قزل آلا کافیست.

[1] European Inland Fishery Advisory Commission





شکل ٤-١٠) دستگاههای جمع آوری کننده فضولات ماهی

شکل بالا: دستگاهی با ستون تصفیه (از Guelph)

شکل پایین: دستگاهی با فیلتراسیون مداوم

(Choubert *et al.*,1983 ,Spyridakis *et al.*, 1989 Cho *et al.*,1985) (INRA-Saint-Pee)

ـ تعداد تکرار نمونه برداری و طول دوره نمونه برداری به منظور تعیین ADC با دقت بالا:
برای این منظور می توان از حاصل ضرب تعداد روزها × تعداد تکرارها استفاده کرد(جدول ۶-۴).

٦-۲-٤) قابلیت هضم مواد غذایی: نتایج

۱-٦-۲-٤) ویژگیهای کلی

اگر چنین فرض شود که دفع فضولات داخلی و قابلیت هضم در گسترده‌ترین مفهوم خود، مستقل از مقدار غذایی هستند که توسط حیوان خورده شده، TDC نیز مستقل از غذای خورده شده خواهد بود، اما در مورد ADC این حالت وجود ندارد. در صورت وجود سطوح بسیار پایین مصرف غذا، میزان ADC مقادیر بالای منفی را بخود اختصاص میدهد تا به صورت مجانب به TDC نزدیک شود. در صورت افزایش مقدار بلع ، حالت عکس صادق است. در عمل، ADC در منطقه ای اندازه گیری می شود که ADC آن نزدیک به TDC باشد و به این ترتیب ، ADC تقریبا ثابت باقی می ماند. اما زمانیکه میزان بلع غذا بالا باشد، در میزان ADC کاهشی مشاهده می شود که می تواند در نتیجه اشباع شدن ظرفیت هضم باشد.
ADC یک ماده غذایی را می توان با دقت بسیار بالایی اندازه گیری کرد (شاخص تغییر پذیری ۲ تا ۳ درصدی برای یک جیره و ۴ تا ۵ درصدی برای یک عنصر موجود در آن جیره)، اما میزان تغییر پذیری شیوه مورد استفاده بسیار زیاد می باشد. در نتیجه، مقایسه مقادیرADC بدست آمده در آزمایشگاههای مختلف با استفاده از گونه های متفاوت و مواد خام مختلف دشوار است. بنابراین، مقادیر قابل اطمینان، چیزی بیش ازیک بانک اطلاعاتی نسبتا اندک، نمی باشند اما برخی از نتایج با استفاده از همین مقادیر بدست آمده اند(جدول ۷-۴).

۲-٦-۲-٤) پروتئین ها

ماهی معمولا پروتئین ها را با ضریب هضم ظاهری (ADC) بیش از ۹۰ درصد هضم می کند که برابر یا بیشتر از مقادیر برآورد شده در مهره داران خشک زی است. در گونه های مختلف ماهی قابلیت هضم پروتئین ها از یک منبع مشخص، به میزان اندکی تغییر می کند.

جدول ٦-٤) تعداد تانک ها (T)× تعداد روزها (D) برای کسب یک دقت نسبی در برآورد ADC ترکیبات مختلف (de la Noue *et al* ,1980)

اجزاء	دقت		
	٪۱	٪۲	٪ ۵
مواد خشک	> 5T 14D	> 5T14D	3T10D
نیتروژن	2T 6D 3T5D 4T4D	2T4D 3T3D	2T3D 3T2D
انرژی	> 5T14D	> 5T14D	3T5D 4T4D

از حاصلضرب تکرار× تعداد روز، جهت تعیین دقت های مورد استفاده در جدول ٦-٤ استفاده شد.

جدول ٧-٤ قابلیت هضم برخی اجزاء اولیه جیره غذایی در قزل آلا (درصد)

عناصر اولیه	مواد خشک	پروتئین ها	لیپیدها	انرژی
آرد یونجه	۳۹	۸۷	۷۱	٤۳
آرد خون	۹۱	۹۹	-	۸۹
ذرت	-	۹۵	-	۳۹
گلوتن آرد ذرت	-	۹٦	-	۸۳
پودر پر هیدرولیز شده	۷۵	۵۸	-	۷۰
آرد ماهی	۸۵	۹۲	۹۷	۹۱
آرد استخوان	۱۸	۸۵	۷۳	۸۵
کنجاله شلغم روغنی	۳۵	۷۷	-	٤۵
سویای پخته	۱۸	۹٦	۹٤	۸۵
کنجاله سویا	۷٤	۹٦	-	۷۵
کنسانتره پروتئین ماهی	۹۰	۹۵	-	۹٤

در برخی گونه ها، ADC ثابت است، گرچه ممکن است با توجه به اندازه ماهی اندکی افزایش یابد. از نظر کاربردی، ADC تقریبا مستقل از مصرف غذا و درجه حرارت آب است و نیز تحت تاثیر لیپیدهای جیره، حتی در صورت غنی بودن جیره از لیپید ها قرار نمی گیرد.

قابلیت هضم با ماهیت پروتئین، منابع تامین کننده آن ، واکنش هایی که پروتئین در آن شرکت می کند و حتی اندازه ذرات غذا ارتباط دارد. پروتئین های با منشا حیوانی قابلیت هضم بیشتری نسبت به پروتئین های با منشا گیاهی دارند. هنگام استفاده از منابع پروتئینی گیاهی و به منظور بهبود ADC ، روش های پیشرفته ای جهت از بین بردن عوامل کاهنده ارزش غذایی این ترکیبات بکار می روند بطوریکه استفاده از سویای پخته شده باعث افزایش ADC تا ۷۰ تا ۸۵ درصد می شود.

۳-٦-۲-٤) لیپیدها

لیپیدها به علت نقطه ذوب پایین و بدون توجه به منشا،کاملاً توسط ماهی‌مصرف می شوند ٪ ۹۵<ADC) . در صورت جلوگیری از اکسیداسیون اسید های چرب جیره، میزان ADC افزایش می یابد در حالیکه با افزایش طول زنجیره اسیدهای چرب اشباع که منجر به افزایش درجه اشباعیت می شود، قابلیت هضم کاهش می یابد. به این ترتیب ، لیپیدهای غنی از اسیدهای چرب اشباع شده و زنجیره هایی با طول متوسط (مانند پیه) بخصوص هنگام پایین بودن دما، ADC نسبتا پایینی دارند. این پدیده به علت جامد بودن لیپیدها در دمای پایین است که امولسیون آنها را دشوار می سازد. ADC روغن خوک (lard) با نقطه ذوب ۲۸ تا ۴۸ درجه سانتیگراد در جیره غذایی آزاد ماهیان، هنگام افزایش دما از ۵ به ۱۵ درجه سانتیگراد، از ۷۰ به ۷۸ درصد تغییر می کند درحالیکه در شرایط مشابه، ADC روغن هایی با نقطه ذوب کمتر از صفر درجه سانتیگراد تقریبا بدون تغییر باقی می ماند(۹۰ تا ۹۳ درصد).

٤-٦-۲-٤) هیدراتهای کربن

گرچه قابلیت هضم قندهای ساده (گلوکز و ساکارز) نزدیک به صددرصد است ، اما مواد زائد هیدرات‌کربنی نسبت به سایر ترکیبات در مواد دفعی مشخص‌تر است. در حقیقت قابلیت هضم ۷۰ تا ۸۰ درصد و گاهی کمتر از ۵۰ درصد برای نشاسته که به دلایل اقتصادی احتمالا تنها منبع هیدرات‌کربنی است که در غذای ماهی گنجانده می شود، می تواند دلیل اصلی بالا بودن میزان مواد زائد حاصل از

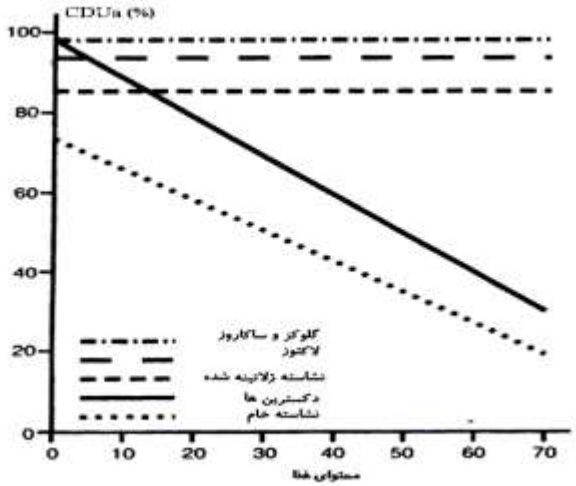
هیدراتهای کربن باشد. ADC نشاسته در رابطه با فعالیت آمیلاز تغییر می کند(جدول ۴-۴) همچنین تحت تاثیر دمای آب بوده و به طور کلی ADC نشاسته در ماهیان آبهای گرم، نسبت به ماهیان آبهای مناطق معتدل بالاتر است. افزایش دمای آب در ماهیان مناطق معتدل منجر به بهبود قابلیت هضم نشاسته می شود. این پدیده در قزل آلا در دمای ۸ تا ۱۸ درجه سانتیگراد و در کفشک در دمای ۱۳ تا ۱۸ درجه سانتیگراد مشاهده شده، بطوریکه ADC نشاسته خالص در قزل آلا و کفشک در دمای ۱۸ درجه از ۲۵ درصد به ۴۸ درصد افزایش می یابد. بطورکلی ، قابلیت هضم نشاسته به ماهیت آن که شامل ویژگی های نسبی آمیلوز و آمیلوپکتین (فصل ۸) و اندازه و پایداری نشاسته است، بستگی دارد. گرچه آمیلاز بر آمیلوز خالص، راحت تر از آمیلوپکتین عمل می کند، اما وجود ساختارکریستاله روی دانه های نشاسته باعث کاهش حساسیت آنها به آمیلاز می گردد، بنابراین زمانی که مقدار آمیلوز و همچنین اندازه ذرات نشاسته افزایش می یابد، ADC آن کاهش یابد. به این ترتیب، دانه های نشاسته در گیاهان غده ای و حبوبات نسبت به نشاسته غلات اندازه بزرگتر داشته واز قابلیت هضم کمتری برخوردارند. اعمال تیمارهای گرمایی یا هیدروترمال به منظور تغییر ساختار دانه ای نشاسته، ضریب بهره وری هضم (CDU[1]) آن را افزایش میدهد و نشان دهنده اثرات مفید ژلاتینه شدن است(فصل ۸). انجام تیمار خشک گرمایی نیز روی نشاسته خالص موجب هیدرولیز مولکول های اولیه و تبدیل آنها به دکسترین ها (فرآورده تجاری) می شود و تاثیری مشابه سایر تیمارهای گرمایی دارد. هنگام غیر قابل هضم بودن نشاسته وکاهش میزان مشارکت آن، معمولا ADC نیز کاهش می یابد، اما ADC قندهای ساده یا نشاسته های کاملاً ژلاتینه شده ثابت میمانند(شکل ۱۱-۴). در ماهیان فاقد معده قابلیت هضم نشاسته با اندازه ذرات غذایی رابطه معکوس دارد که در این زمینه اطلاعات بسیارمحدودی وجود دارد.

۷-۲-٤) سایر متغیرها

همانند سایر حیوانات، در ماهی نیز قابلیت هضم مواد مختلف بخصوص هیدراتهای کربن پیچیده از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است. در مورد میزان جذب مواد از جیره غذایی هنوز اختلاف‌نظرهای زیادی وجود دارد.

[1] Coefficient of Digestive Utilisation

بطورکلی ، فرض می شود که قابلیت هضم مواد غذایی مستقل از مقدار غذای خورده شده است. اما در گربه ماهی آفریقایی بین مقدار پروتئین خورده شده و قابلیت هضم همبستگی منفی وجود دارد، مشابه این حالت در ارتباط با قابلیت هضم نشاسته در قزل الا وجود دارد. علاوه براین، در همه گونه ها ، کاهش در مقدار غذای خورده شده امکان بهره برداری بهتر از مواد غذایی را فراهم می کند که با بهبود میزان ADC قابل توجیه است. سایر عوامل بصورت محدود ADC را تحت تاثیر قرار می دهند. صرف نظر از روش کار، از جمله این عوامل می توان به گیاهان قابل هضم و عوامل زیست محیطی دما (اثرآن نسبت به نشاسته تشریح شد) و شوری آب اشاره کرد. ظاهراً نقش گیاهان قابل هضم (حداقل در مورد گونه های مناطق معتدل) ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است اما در مورد تاثیر دما بر قابلیت هضم اختلاف نظرهای بسیاری وجود دارد.طبق نظر برخی محققان، در دمای ۸ درجه سانتیگراد ADC پروتئین ها و انرژی اندکی کمتر از دمای ۱۸ درجه سانتیگراد است، درحالیکه سایر محققان اثر دما را بسیار ناچیز و قابل اغماض می دانند. اما این مغایرت را می توان از طریق تغییر ADC نشاسته توجیه نمود که در دماهای بالا افزایش می یابد.



شکل ۱۱-٤) تغییرات بهره وری هضم (CDU) درهیدراتهای کربن مختلف نسبت به سطح همبستگی

احتمالاً افزایش شوری در گونه های یوری هالین کاهش قابلیت هضم پروتئین را بدنبال دارد. تاثیر شوری در ADC لیپیدها و هیدراتهای کربن کمتر شناخته شده است ، با این وجود بنظر می رسد که اثر شوری بر ADC این ترکیبات، مشابه اثرات مشاهده شده بر پروتئین‌هاست که می تواند ناشی از تسریع زمان هضم باشد.

٣-٤- خلاصه

ساختار دستگاه گوارش در ماهی بسیار متنوع تر و متفاوت تر از مهره داران عالی است. در مقابل، آنزیمهای درگیر در فرآیند هضم، گاهی از نظر مقادیر کمّی، مشابه آنزیم های مهره داران خشک زی میباشد. این حالت از نظر کیفی صادق نیست برای مثال، فعالیت زیاد پروتئاز در مقابل فعالیت کم آنزیم های تجزیه کننده گلوکز (گلوکوسیدازها) قرار می گیرد. امروزه، مکانیسم های اصلی هضم – جذب بخوبی شناخته شده اندکه به میزان زیادی تحت تاثیر خونسرد بودن ماهی قرار دارند، اما تنظیم فرآیند هضم، جذب و انتقال باعث می شود که تعادل هضم توسط عوامل جیره ای یا زیست محیطی تحت تاثیر قرار گیرد. گرچه بسیاری از جنبه ها هنوز مطالعه نشده که از بین آنها اختلافات بین گونه ای بیشتر قابل ملاحظه است.

به طور کلی، روند همه فرایند ها از فیزیولوژی هضم تا قابلیت هضم مواد غذایی ، در ماهی منحصربفرد بوده و این امر اندازه گیری این فرایند ها را بمراتب دشوارتر از حیوانات خشک زی ساخته است. ماهی ها قابلیت بسیار بالایی در هضم پروتئین ها دارند، درحالیکه قابلیت هضم هیدراتهای کربن در آنها پایین است. امروزه اطلاعاتی در دسترس است که می توان از آنها به منظور فرموله کردن غذا یا تنظیم آن استفاده نمود، اما این داده ها گونه های محدودی را در بر میگیرند و در مورد سایر گونه ها ناقص و پراکنده ارائه شده اند. پیشرفت حاصل شده در زمینه تغذیه و غذادهی، ضرورت افزایش علم ودانش مرتبط با فیزیولوژی هضم و قابلیت هضم غذا را می طلبد.

((فصل ۵))

انرژی‌زایی مواد غذایی

ماهی نیز همانند سایر حیوانات، در جهت انجام فعالیت های حیاتی به انرژی نیاز دارد. اکسیداسیون ترکیبات آلی (هیدراتهای کربن، چربیها و پروتئین‌ها) تحت شرایط هوازی، از طریق هضم غذا و تغییر و تحول سلول ها و بافت ها تامین می شود، تنها منبع انرژی است که می تواند توسط ارگانیسم مورد استفاده قرار گیرد. نیاز های انرژی در ماهی بستگی به گونه و مرحله فیزیولوژیک آبزی دارد. همچنین این نیاز ها با توجه به عوامل زیست محیطی بویژه دمای آب متغیر بوده بنحویکه خونسرد بودن تاثیر زیادی در متابولیسم انرژی در ماهی می‌گذارد. متخصصان علوم تغذیه در جهت تجزیه وتحلیل انرژی حاصل از غذا و تقسیم آن در مسیر کاتابولیسم یا آنابولیسم مطالعات زیادی انجام داده اند. مطالعه استفاده متابولیک از مواد مغذی مانند مراحل مختلف حدواسط متابولیسم و تولید انرژی در سطح سلولی بصورت شیوه ای مکمل، تفسیری بهتری از داده های تغذیه ای را امکان‌پذیر می کند.

۱-۵ - تولید انرژی در سطح سلولی

۱-۱-۵) کلیات

طی فرآیند هضم داخل یا خارج معده ای، ذرات غذایی درشت حاصل از غذای مصرفی به اجزاء کوچکتر شکسته می شوند بطوریکه پروتئین ها به آمینواسید ها (AA) ، تری اسیل گلیسرول ها (TAG) به اسیدهای چرب (FA) و گلیسرول ها ، و پلی هولوسیدها به هگزوز ها بویژه گلوکز تبدیل میشوند(فصل ۴).

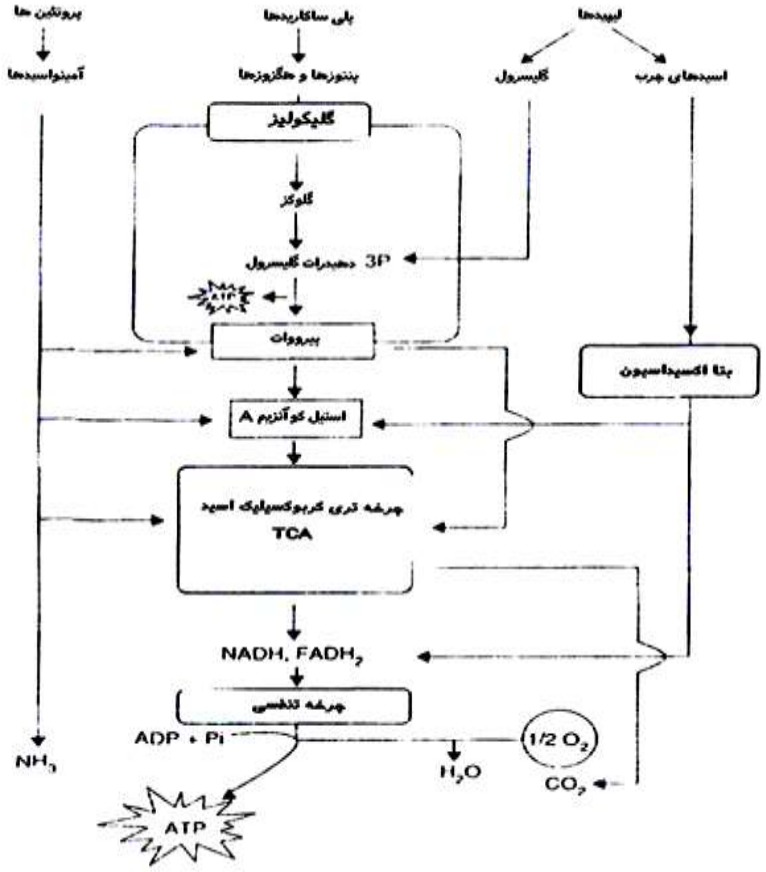
در هر حال، ذرات غذایی پس از جذب بر اثر تغییر شکل از طریق واکنش های آنابولیک که امکان تجمع انرژی را برای موجود زنده فراهم می کند، در ساختار سلولی گنجانده می شوند یا از طریق واکنش های گرمازایی که به معنی واکنش های تولید کننده انرژی است، کاتابولیز می شوند. واکنش های گرمازا به منظور سنتز مولکول هایی با حداقل یک باند غنی از انرژی که عمدتا شامل مولکول های ATP می باشد، استفاده می شوند و انرژی مورد نیاز جهت انجام فرآیندهایی از قبیل سنتز، انتقال بین غشایی و انقباضات ماهیچه ای، بر اثر هیدرولیز این مولکول ها حاصل می شود. مطابق اصل دوم ترمودینامیک که تبدیل انرژی شیمیایی به اشکال دیگر انرژی همیشه با بازدهی ۱۰۰ درصد نخواهد بود، در جریان فرآیندهای کاتابولیک، نیز بخشی از انرژی به شکل ATP یا اکی والان های آن ذخیره نشده بلکه به صورت گرما هدر می‌رود.

تولید انرژی به صورت هوازی در سلول ها در سه مرحله رخ می دهد(شکل ۱- ۵) :

- تشکیل استیل کوآنزیم A (CoA) از طریق اکسیداسیون اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه یا پیروات که عمدتا به واسطه گلیکولیز تولید شده است.
- تجزیه گروه های استیل بواسطه چرخه کربوکسیلیک اسید (TCA) معروف به چرخه اسید سیتریک یا چرخه کربس، همراه با آزاد شدن CO_2 ، احیاء نوکلئوتیدها و اتم های هیدروژن.
- انتقال الکترون های هیدروژن به اکسیژن مولکولی همزمان با فسفریلیشن و اتصال فسفر به ADP و تولید ATP .در هر لحظه با توجه به نیاز سلولی، انرژی می تواند از طریق پیوند ADP/ATP آزاد یا ذخیره شود و توزیع انرژی در داخل سلول را ممکن سازد.

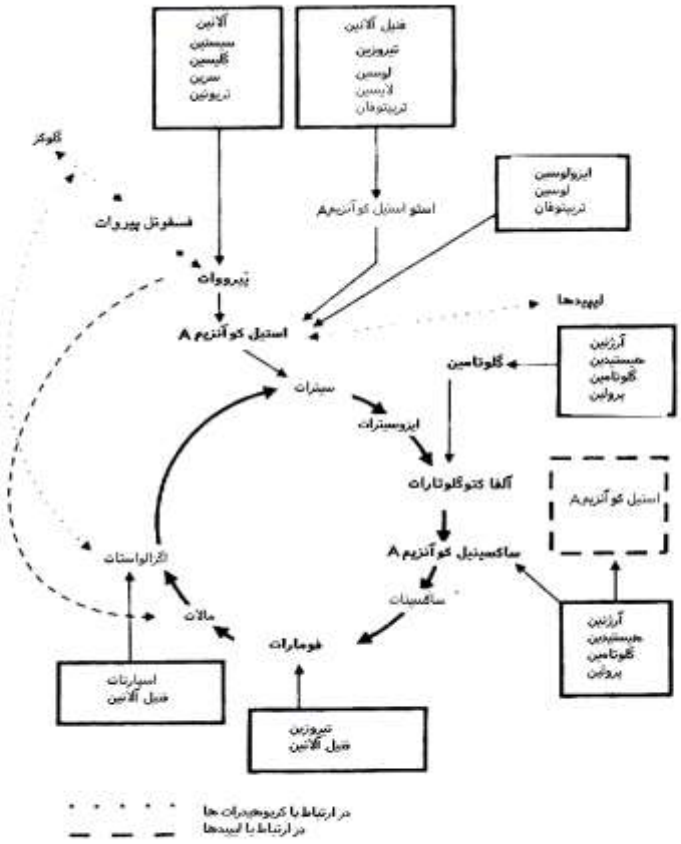
در ماهی همانند سایر مهره داران، چرخه کربس مکان معمول استفاده از مواد انرژی زا تحت شرایط هوازی است. برخلاف پرندگان و پستانداران، ماهی میزان کمی از گلوکز را به عنوان ماده انرژی زا برای اکسیداسیون سلولی مورد استفاده قرار می دهد.

از مهمترین خصوصیات ماهی، استفاده از اسید آمینه به عنوان منبع تامین انرژی است. اسیدهای‌آمینه میتوانند از جهات مختلف وارد چرخه شده (شکل ۲-۵) و باعث افزایش فعالیت ماهی ها شوند. بنابراین، در ماهی ترجیحا از اسیدهای‌آمینه به جای گلوکز به عنوان منبع انرژی استفاده می شود. اسیدهای چرب نیز در تولید ATP نقش دارند. هنگامی که جیره غذایی حاوی مقدار زیادی چربی باشد اکسیداسیون اسیدهای‌آمینه به میزان قابل توجهی کاهش یافته و باعث صرفه جویی در مصرف پروتئین می گردد.



شکل ۱-۵) مسیر های اصلی تولید انرژی

از نظر اکسیداسیون، تفاوت زیادی بین بافت ها وجود دارد. در بافت هایی که دارای بیشترین تعداد میتوکندری هستند مانند کبد، قلب، آبشش ها و عضله قرمز که انقباضات آرام و مستمری دارد، بالاترین سطح اکسیداسیدن مشاهده می شود.در کبد، کتواسیدهای حاصل از کاتابولیسم آمینواسیدها همراه با گروههای استیل حاصل از بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب، مهمترین منابع انرژی را تشکیل می دهند. در عضله سفید با داشتن فیبرهای فعال و وجود متابولیسم غیر هوازی،مهمترین منبع تولید انرژی تبدیل گلوکز به لاکتات است.



شکل۲-۵) جایگاههای احتمالی ورود اسیدهای آمینه به چرخه کربس در کبد ماهی

این بافت در مقایسه با عضله قرمز غنی از انرژی بوده و برای حرکات سریع در زمان کوتاه بکار می رود. ظرفیت اکسیداسیون و گلیکولیز عضله در گونه های مختلف متفاوت بوده و ظاهرا در ارتباط با ظرفیت شنای مستمر و دائمی گونه است.

۲-۱-۵) کاتابولیسم اسیدهای آمینه

اولین مرحله در تجزیه آمینواسیدها تبادل آمینی است. اسیدآمینه از طریق تجزیه آمینی به آلفا-کتواسید تبدیل می شود که با سنتز گلوتامین از آلفا-کتوگلوتارات همراه می باشد. سپس در مسیر دهیدروژنه شدن گلوتامین آلفا-کتو گلوتارات از طریق تجزیه گلوتامین ، مجددا شکل می گیرد. تبادل آمینی گلوتامین توسط تعداد زیادی اسید آمینه انجام می شود و کبد مکان اصلی این واکنش است. در هر بار تبدیل نیتروژن، ساختار کربنی می تواند هم برای سنتز گلیکوژن توسط اکسالواستات استفاده شود و هم درچرخه کربس اکسید گردد. زمانیکه اسیدهای آمینه در مراحل مختلف وارد چرخه می شوند مسیر چرخه نه تنها توسط فعالیت سنتز سیترات بلکه از طریق وارد شدن در مرحله آلفا-کتو گلوتارات تنظیم میشود. مهمترین انتقال دهنده های اسیدهای آمینه، انتقال دهنده اسپارتات و آلانین می باشند(به اتتقال دهنده اسپارتات، انتقال دهنده اکسالواستات گلوتامات یا GOT و به انتقال دهنده آلانین، انتقال دهنده پیروات گلوتامات یا GPT نیز گفته می شود).

۳-۱-۵) کاتابولیسم چربی‌ها

اگر چه در ماهی سنتز چربی ها عمدتا در کبد صورت می گیرد، اما تجزیه آن تقریبا در همه بافت ها انجام می شود. مکانیسم های انتقال در میتوکندری و اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی مشابه سایر مهره‌داران است.اسیدهای چرب حاصل از هیدرولیزتری اسیل گلیسرول ها(TAG) در مسیر لیپاز از طریق سیستم انتقالی آسیل- کارنتین به میتوکندری منتقل می شوند. سپس این ترکیبات از طریق چرخه های متوالی بتا- اکسیداسیون شکسته شده و اجزاء دو کربنه ای به شکل استیل کوآنزیم A آزاد می شود (فصل ۷) که در مرحله اسید سیتریک وارد چرخه کربس(TCA) می گردد.

درپستانداران استیل کوآنزیم A تولید شده از طریق بتا-اکسیداسیون اسیدهای چرب هنگام ورود به چرخه کربس، اشباع شده و منجر به تشکیل توده های کتونی می شود. در ماهی به علت وجود چرخه Futile «فرآیند بسیار فعالی که ماده انرژی زا تولید نمی کند ولی منجر به از دست رفتن انرژی به صورت استیل کوآنزیم A – استو ⟷ استو- استات می شود » سطح توده های کتونی در حد پایین نگه داشته میشود.

٤-١-٥) کاتابولیسم هیدرات‌کربن

مهمترین مسیر کاتابولیسم گلوکز در بافت های ماهی، گلیکولیز است. طی فرآیند گلیکولیز، گلوکز به پیروات تبدیل شده و ۲ مولکول ATP و مقدار کمی انرژی بدست می آید. البته این مقدار انرژی تنها معادل ۲ درصد انرژی حاصل از سوختن کامل (آنتالپی) گلوکز است.

در ماهی همانند سایر حیوانات واکنش های گلیکولیتیک کاملا برگشت پذیر بوده که بجز سه واکنش شامل کاتالیز شدن توسط هگزوکیناز، فسفوفروکتوکیناز و پیروات کیناز، می توانند در جهت تولید گلوکز از منابع غیر قندی (گلوکونئوژنز) عمل نمایند. هر سه این واکنش ها گلیکولیز را محدود میسازندکه از بین آنها هگزوکیناز از اثر کمتری برخوردار است و محدودیت کمتری ایجاد می کند. آنزیم های گلیکولیتیک موجود دربافت های گونه های مختلف ماهی، کشف و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند(فصل ۸). گلیکولیز در کبد ماهی به جای تولید پیروات به منظور اکسیداسیون، زمینه های بیوسنتز مولکول های مختلف را فراهم می کند. در سلول های هوازی، طی فرآیند جداشدن گروه های کربوکسیل از مولکول پیروات (دکربوکسیلاسیون) استیل کوآنزیم A تشکیل می شود که بعدا در چرخه کربس اکسید می گردد. واکنش تبدیل پیروات به لاکتات تحت شرایط بی هوازی در عضله سفید به وسیله کاتالیزور لاکتات دهیدروژناز تسریع می شود. گلیکولیز تنها راه تجزیه هیدراتهای‌کربن نیست. در ماهی ها چرخه پنتوز یا Shunt نیز به منظور تجزیه هیدراتهای‌کربن عمل می نماید. این چرخه NADP مورد نیاز جهت سنتز اسیدهای چرب را فراهم می کند (فصل ۸) و فعالیت آن به دما بستگی دارد.

٥-١-٥) چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید(TCA)

هشت واکنش این چرخه در پستانداران و ماهی ها به شکلی مشابه در میتوکندری انجام می گیرد و آنزیمی که در کبد قزل آلا ورود استیل کوآنزیم A را در مرحله سنتز سیترات به داخل چرخه کنترل میکند دارای عملکردی مشابه با پستانداران است. با این وجود، در ماهی تنها یک شکل فعال از آنزیم ایزوسیترات دهیدروژناز (شکل وابسته +NADP) وجود دارد، در حالیکه این آنزیم در پستانداران دارای دو شکل فعال است. مراحل بعدی که منجر به تشکیل اکسالواستات در ماهی می شود تفاوت چندانی با پستانداران ندارد.

٦-۱-۵) چرخه تنفسی

اشکال احیاء شده NAD, NADP, FAD که در چرخه کربس و همچنین طی فرایند گلیکولیز تولید شده‌اند، سرانجام به صورت هوازی و از طریق پاره ای واکنش های اکسیداسیون- احیا در چرخه تنفسی اکسید می شوند. در چرخه کربس جفت الکترون های حاصل از واکنش های حدواسط در طول یک زنجیره از آنزیم های انتقال الکترون همراه با کاهش تدریجی سطوح انرژی عبور داده می شوند. این الکترون ها در آخرین مرحله، اکسیژن مولکولی را که پذیرنده نهایی الکترون ها در عمل تنفس است، احیا می کنند که در واقع در این مرحله، الکترون ها اکسیژن و هیدروژن را با هم ترکیب نموده و مولکول آب را تشکیل می دهند. کل این فرآیند، در اصطلاح فسفریلاسیون اکسیداتیو (سنتز ATP) نامیده میشود که طی آن از هر مولکول گلوکز ۳۶ مولکول ATP تولید می شود و انرژی معادل ۳۸٪ انتالپی این ترکیب ایجاد خواهد شد.

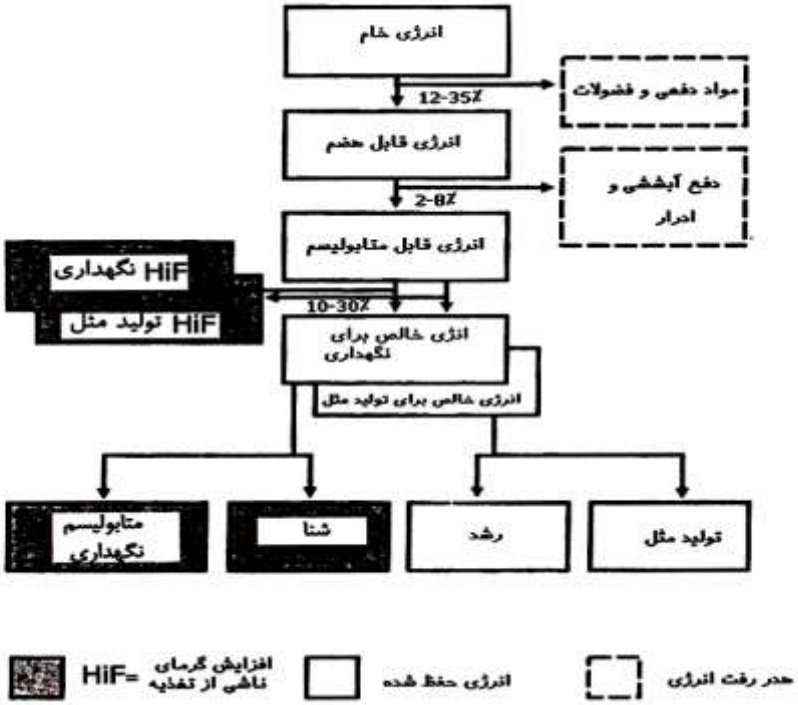
تغییرات مداوم کربن در چرخه کربس بوسیله نسبت های ATP/ADP , NADH/NAD+ تنظیم می شود و چون این مولکول ها به عنوان تعدیل کننده های آنزیم های متابولیک عمل می کنند، حضور آنها برای عملکرد این آنزیم ها ضروری است. نسبت های ATP و ADP در سلول، نشان دهنده تعادل بین واکنشهای مصرف و تولید انرژی است. حالت انرژی زایی سلول بر طبق شارژ انرژی به صورت ذیل توصیف می گردد:

$$EC = \frac{[ATP] + \frac{1}{2}[ADP]}{[ATP] + [ADP]} + AMP$$

شارژ انرژی بافت کبدی در گونه های مختلف ماهی پایین تر از پستانداران است که گرچه نشان دهنده وجود تفاوت تنظیم متابولیسم انرژی در بین این ارگانیسم‌هاست، اما پیامدهای این پدیده ناشناخته مانده و هنوز مطالعه نشده است.

۲-۵ - تقسیم بندی انرژی غذایی

تقسیم بندی انرژی حاصل از غذا در ماهی در شکل ۳-۵ ارائه شده است. انرژی خام (GE[1]) ، انرژی قابل هضم (DE[2]) ، انرژی قابل متابولیسم(ME[3]) و انرژی خالص (NE[4]) همگی می توانند برای تعیین میزان انرژی موجود در غذا مورد استفاده قرار گیرند. در تمامی موارد، انرژی برحسب کیلوژول (KJ) یا مگا ژول (MJ) در گرم یا کیلوگرم از ماده خشک بیان می شود (واحد کیلوکالری نیز مورد استفاده قرار می گیرد : 1 KJ = ۴/۱۸ K Cal).



شکل ۳-۵) تقسیم‌بندی انرژی جیره غذایی در ماهی

---

[1] Gross Energy
[2] Digestible Energy
[3] Metabolisable Energy
[4] Net Energy

۵-۲-۱) انرژی خام (GE)

میزان انرژی خام معادل اصطلاح انتالپی مورد استفاده توسط فیزیکدانان است (گرمای حاصل از سوختن در یک حجم ثابت) که به طور قراردادی با علامت + به جای علامت – مشخص می شود. انرژی خام حاصل از غذا صرفا به ترکیب شیمیایی آن بستگی داشته و مقدار آن را می توان از انرژی های خام به دست آمده از هر یک از ترکیبات آلی رژیم غذایی محاسبه نمود. مقدار متوسط انرژی خام برای پروتئینها ۲۳/۷ کیلو ژول بر گرم ، چربیها ۳۹/۵ کیلو ژول بر گرم و هیدراتهای کربن (شامل فیبر) ۱۷/۲ کیلوژول بر گرم می باشد. همچنین در صورت مشخص بودن انرژی های خام هر یک از اجزاء سازنده جیره غذایی، می توان انرژی خام را برآورد کرد.

۵-۲-۲) انرژی قابل هضم (DE)

انرژی قابل هضم برابر با میزان انرژی خام غذای خورده شده منهای انرژی خام مدفوع است که این مقدار معمولا بین ۱۰ تا ۳۰ درصد انرژی خام جیره غذایی را تشکیل می دهد. قابلیت هضم انرژی جیره غذایی به اجزاء تشکیل دهنده جیره بستگی دارد. بطوریکه در ماهی نیز قابلیت هضم انرژی یک ماده غذایی مشخص به میزان زیادی تحت تاثیر اجزاء تشکیل دهنده جیره (فصل ۴) بجز نشاسته خام (فصول ۴و۸) است. انرژی قابل هضم یک جیره غذایی را می توان از طریق اندازه گیری انرژی خام غذا و مدفوع مشخص نمود یا با محاسبه مجموع انرژی های قابل هضم پروتئین‌ها، چربی‌ها و هیدراتهای کربن یا حتی با محاسبه مجموع انرژی های قابل هضم اجزاء غذایی برآورد کرد. بنابراین، اگر از روابط متقابل بین اجزاء جیره و قابلیت هضم صرفنظر شود، انرژی قابل هضم را می توان به عنوان یک فاکتور جمع پذیر در نظر گرفت.

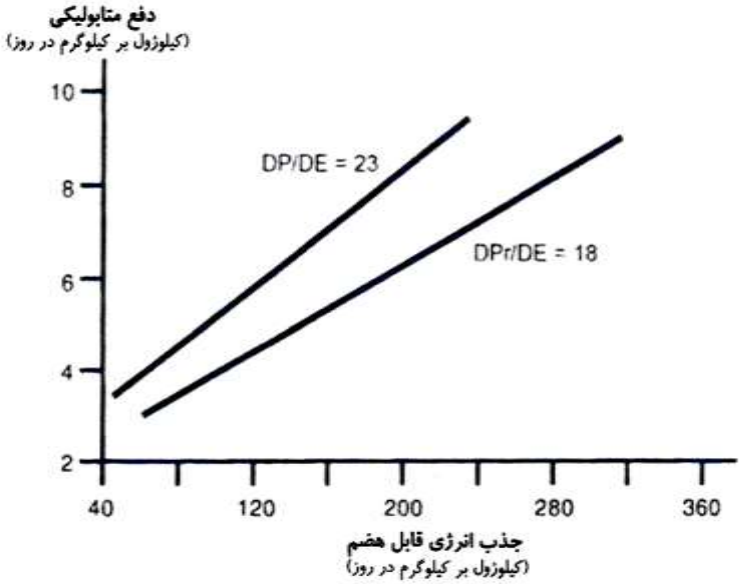
۵-۲-۳) انرژی قابل متابولیسم (ME)

انرژی قابل متابولیسم برابر با میزان انرژی قابل هضم منهای میزان هدررفت انرژی از ماهی از طریق آبششها و ادرار ماهی است. همانطور که قبلا اشاره شد، کاتابولیت های نیتروژنی از طریق تجزیه آمینواسیدها و بیش از اکسیداسیون آنها تولید می شوند. از نظر کاربردی، مقدار انرژی آنها (بر حسب کیلو ژول) به صورت حاصلضرب مقدار نیتروژن دفع شده در ضریب ۲۴/۷ قابل محاسبه است.

بنابراین، تخمین مقدار مواد دفعی نیتروژنی به صورت ۸۵ درصد نیتروژن آمونیاکی (۲۵ کیلوژول بر گرم) و ۱۵ درصد نیتروژن به شکل اوره (۲۳ کیلوژول بر گرم) خواهد بود، هر چند این مقادیر تقریبی است.

برخی محققان انرژی جیره غذایی ماهی بر حسب انرژی قابل متابولیسم را از طریق قیاس با سیستم های مورد استفاده برای سایر گونه ها بویژه ماکیان بیان می کنند که در این روش تفکیک هدررفت انرژی از طریق مدفوع و ادرار از یکدیگر دشوار است. با این وجود، گرچه انرژی قابل هضم یک جیره را می توان با جمع کردن انرژی های قابل هضم هر یک از ترکیبات جیره محاسبه نمود اما برای محاسبه انرژی قابل متابولیسم باید مواد دفعی متابولیک ضروری برای محاسبه این انرژی را اندازه گیری کرد. دفع مواد از طریق ادرار و آبشش ها نه تنها با میزان غذای خورده شده و عملکرد منبع پروتئینی (بر طبق تعادل آمینواسید های ضروری در منبع پروتئینی) تغییر می کند بلکه به همان اندازه به تعادل بین میزان انرژی منابع پروتئینی و غیر پروتئینی بستگی دارد. این موازنه را می توان به صورت رابطه بین مقدار پروتئین های قابل هضم (بر حسب میلی گرم) و مقدار انرژی قابل هضم حاصل از جیره (بر حسب کیلوژول) بیان کرد. شکل ۴-۵ نشان می دهد که وقتی نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم غذا از ۲۳ به ۱۸ میلی گرم بر کیلوژول کاهش یابد، میزان دفع انرژی متابولیک حاصل از مصرف یک ماده نیتروژنی مشخص، کمتر می شود. دفع مواد نیتروژنی با افزایش ورود انرژی قابل هضم حاصل از مواد غیر پروتئینی کاهش می یابد، در این صورت، غذاهای غیر پروتئینی اضافی به مصرف تولید انرژی رسیده و سوخت و ساز پروتئین کاهش و بقا آن افزایش می یابد. تاثیر صرفه جویی در مصرف پروتئین از طریق استفاده از هیدراتهای کربن قابل هضم مانند نشاسته گندم یا ذرت ژلاتینه شده در جیره غذایی مورد بحث و اختلاف است. این مسئله در مورد قزل آلا، تیلاپیای نیل و مارماهی به اثبات رسیده است.

دفع انرژی متابولیک با توجه به منبع پروتئین و نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) بین ۲ تا ۸ درصد انرژی خام است. بنابراین، انرژی قابل متابولیسم مستقل از مواد خام بوده و تنها در ارتباط با جیره غذایی کامل است و جهت اندازه گیری میزان دفع نیتروژن در صورت فقدان مواد مورد نیاز، ترجیحا باید غذای ماهی را بر اساس انرژی قابل هضم تنظیم نمود.



شکل ٤-٥) تغییرات میزان دفع متابولیک براساس نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) جیره

٤-٢-٥) انرژی خالص (NE)

انرژی خالص یک جیره غذایی شامل تفاضل انرژی قابل متابولیسم انرژی مصرف شده از طریق خوردن غذا می باشد. این مقدار کاهش انرژی که به صورت انرژی حرارتی است، ناشی از فعالیتهای مکانیکی (خوردن، جویدن و حرکات دستگاه گوارش) و فعالیتهای بیولوژیک (هضم، جذب، انتقال و تبدیل مواد غذایی) می باشد که در این میان فعالیتهای بیولوژیک از اهمیت بیشتری برخوردار است.این فعالیت ها موجب افزایش مصرف اکسیژن پس از صرف غذا می شود. این همان چیزی است که رابنر(Rubner) در سال ۱۹۰۲ آن را اثر دینامیک ویژه غذا (SDA[1]) نامید.

[1] Specific Dynamic Action

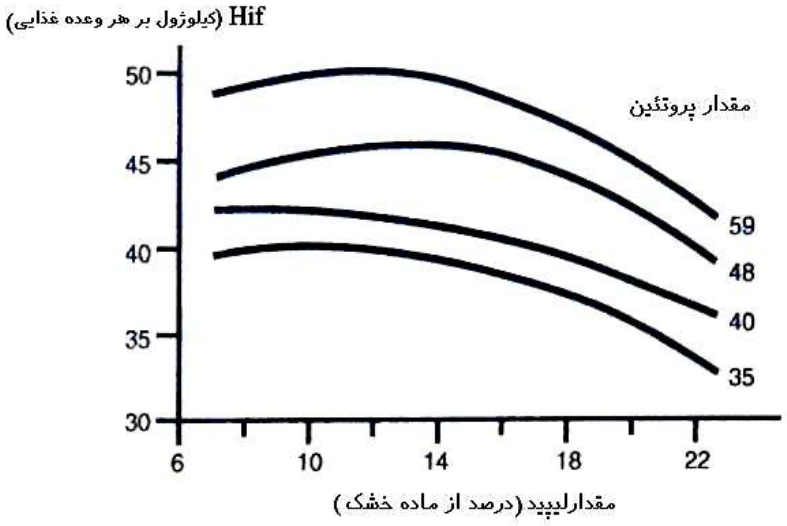
گرچه با خوردن و جذب غذا اصطلاحات دیگری نیز مانند اثر گرمازایی، اثر کالرژنیک، گرمازایی غـذا و غیره جهت توصیف انرژی مصرفی بکار می روند ولی اصطلاح افـزایش گرمـای ناشـی از تغذیـه (HiF[1]) بیشتر مورد قبول واقع شده است. افزایش گرمای ناشی از تغذیه (HiF) گرچه عمدتا در ارتبـاط بـا مقـدار پروتئین خورده شده است ولی بر حسب مقدار هیدرات‌کربن و چربی جیره غذایی نیز تغییر می کند.

میزان HiF به جیره غذایی بستگی دارد و تقریبا با انرژی غذای خورده شده متناسب است. HiF در مـاهی نیز مانند پستانداران تک معده ای و پرندگان عمدتا در ارتباط با پروتئین مصرفی است. بطوریکه مقدار آن با افزایش محتوای پروتئین جیره افزایش می یابد (شکل ۵-۵). در مورد ماهی قزل آلا میزان نیتروژن قابل هضم ۳۰ کیلوژول بر گرم پیشنهاد شده است. بر اسـاس شـکل ۵-۵ ، زمانیکـه محتـوای چربـی غـذا بـه ۱۵ درصد می رسد، مقدارHiF در قزل آلا افزایش می یابد.

نتیجه مشابهی نیز در مورد گربه ماهی کانالی به اثبات رسیده اسـت. نقـش هیـدراتهای‌کـربن برمیـزان HiF کمتر مشخص شده است، اما نتایج مطالعات جدید در مـورد قـزل آلا نشـان داده کـه در دمـای ۱۸ درجـه سانتیگراد جیره غنی از هیدراتهای‌کربن قابل هضم از HiF بالاتری نسبت به جیره غنی از چربی برخـوردار است ولی این‌نتایج در دمای ۸ درجه سانتیگراد حاصل نشد (جدول ۱-۵).

محققان در اوایل قرن بیستم رابطه HiF و کاتابولیسم پروتئین را کشف نمودند و اخیرا مشـخص شـده کـه در حیوانات پرواری HiF عمدتا بیان کننده نرخ تجمع پروتئین است و به طـور کلـی، ایـن عامـل ناشـی از کل تلفات انرژی به صورت حرارت در زمان تبـدیل انـرژی از یـک حالـت بـه حالـت دیگـر و در جریـان متابولیسم است. بنابراین، یک غذای مشخص دارای HiF ثابتی نبوده و میزان آن با مصـرف غـذا و روابـط متقابل بین مواد غذایی مرتبط است. HiF تحت تاثیر دمای آب نیز قرار می گیرد. برای هر گونـه محـدوده حرارتی وجود دارد که مقدار HiF در آن ناحیه حداقل است. همانطور که در شکـل ۶-۵ نشان داده شـده است، این دما در مورد ماهی کاد ۱۰ درجه سانتیگراد و در مورد قزل آلا ۱۵ درجه سانتیگراد می باشد.

[1] Heat increment of Feeding



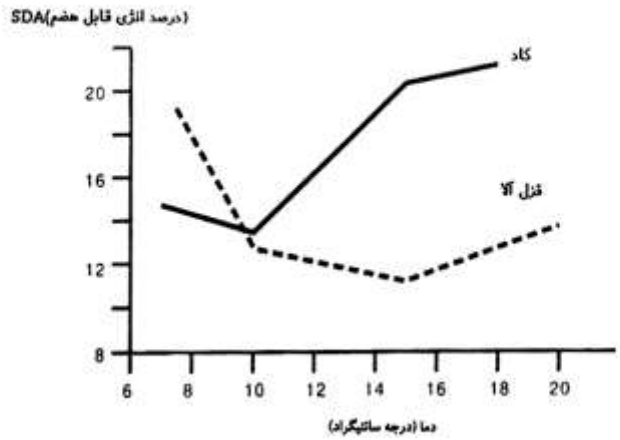
شکل ۵-۵) اثر مقدار پروتئین و چربی غذا بر HiF در ماهی قزل آلا(Beamish and Legrow, 1986)

انرژی خالص یک جیره غذایی(انرژی قابل متابولیسم منهای انرژی مصرف شده از طریق خوردن و جذب غذا) به منظور نگهداری، فعالیت عضلانی و تولید (رشد بافت های معمولی و گنادهای جنسی) مصرف می شود. اگر چه بنظر می رسد که انرژی خالص روش مطمئنی برای بیان انرژی غذا باشد اما تاکنون روش اندازه گیری مناسبی برای آن در مورد ماهی معرفی نشده است.

روش های مورد استفاده برای حیوانات عالی در مورد ماهی که دفع کننده آمونیاک بوده و نسبت به حیوانات دیگر به میزان بیشتری انرژی خالص خود را از متابولیسم پروتئین بدست می آورد، مناسب نیست.

جدول ۱-۵) مثال هایی از سیر انرژی در دو جیره مختلف در قـزل آلا (پـروتئین قابـل هضـم : ۳۸ درصد و انرژی قابل هضم : ۲۰ کیلوژول بر گرم ماده خشک). مقادیر بر حسب درصد مصرف انرژی قابـل هضم بیان شده است.

منبع اصلی انرژی غیرپروتئنی در جیره	لیپیدها		هیدراتهای کربن	
دما (^0c)	۸ ---------- ۱۸		۸ ---------- ۱۸	
دفع متابولیک	۵/۲	٤/۳	۵/٤	۵
مصرف	۳۹/۹	۳۲/۳	٤۱/۸	٤۳/۱
متابولیسم پایدار	۲۸/۱	۲۱/۳	۲۹/٦	۲۳/۷
گرمای ناشی از تغذیه(HiF)	۱۱/۸	۱۱	۱۲/۲	۱۹/٤
ابقاء	۵٤/۹	٦۳/۳	۵۵/٤	٤۹/۳
ذخیره به شکل پروتئین ها	۳۰/۸	۲۵/۹	۳۰	۲۲/۸
ذخیره به شکل لیپیدها	۲٤/۱	۳۷/٤	۲۵/٤	۲٦/۵



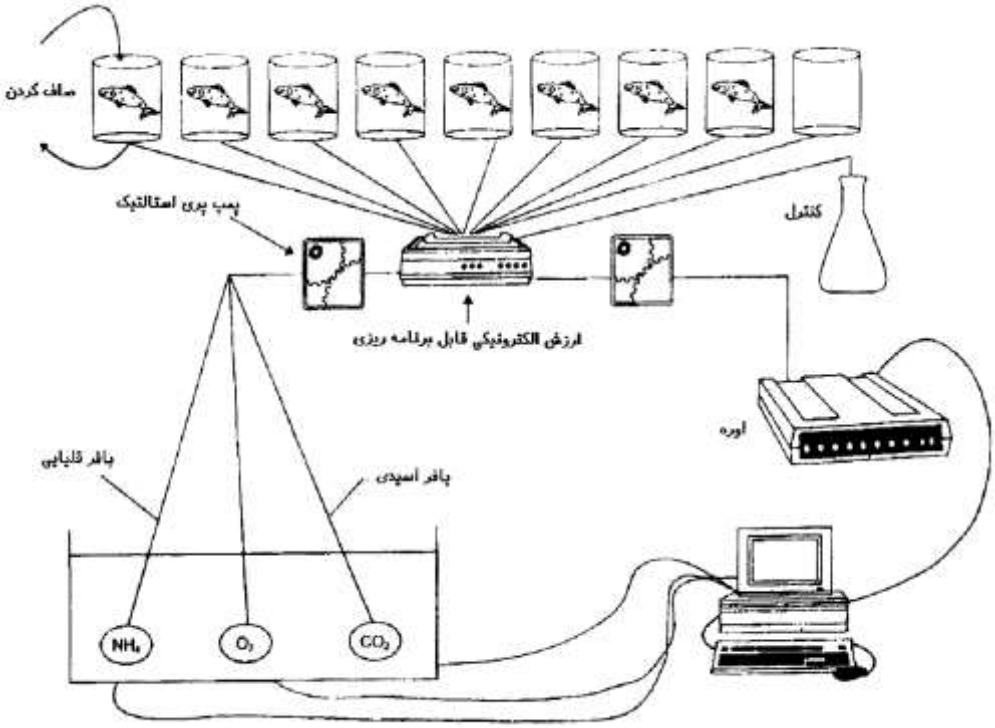
شکل ٦-۵) اثر دمای آب (درجه سانتیگراد) بر میزان HiF (درصد مصرف انـرژی قابـل هضـم) در قـزل آلا و ماهی کاد

۳-۵ - نیاز های انرژی ماهی

۱-۳-۵) اصول اندازه گیری

مصرف انرژی به شکل گرما را می توان با استفاده از دو روش کالریمتری مستقیم یا غیر مستقیم اندازه‌گیری کرد. در روش کالریمتری مستقیم، مقدار اتلاف گرما توسط ارگانیسم (انرژی هدایتی، انتقالی و تابشی) اندازه گیری می شود در حالیکه با کالریمتری غیر مستقیم مقدار گرمای حاصل از فرآیندهای اکسایشی برآورد می گردد. اصولا انرژی مورد استفاده موجود زنده، حاصل کاتابولیسم اکسایشی است. در یک دوره طولانی و در مورد یک منبع انرژی زای مشخص با استفاده از روش کالریمتری مستقیم، مقدار اکسیژن مصرفی توسط یک حیوان در کالریمترهای آدیاباتیک یا محفظه های کالریمتری اندازه‌گیری می شود. انجام این روش در مورد ماهی بسیار دشوار است چون متابولیسم پایه خیلی کم و ظرفیت گرمایی آب بسیار بالاست و به ابزار های خیلی دقیق جهت اندازه گیری گرما نیاز است. علاوه بر این، به منظور افزایش دقت در اندازه گیری، محفظه ها باید کوچک باشند ازینرو، کارکردن با گروهی از ماهی ها در این محفظه ها غیرممکن است.

کالریمتری غیر مستقیم اغلب فقط روی اندازه گیری مصرف اکسیژن تکیه دارد. میزان گرمای تولید شده به ازای هر گرم اکسیژن مصرفی(QO_2) به طور متوسط ۱۳/۶ کیلوژول است. اما این مقدار به ماهیت مواد اکسید شده نیز بستگی دارد. اکسیداسیدن یک غذای مشخص به مقدار معینی اکسیژن نیاز داشته و مقدار معینی انرژی تولید می کند (کادر۱-۵). زمانیکه اندازه گیری مصرف اکسیژن از طریق اندازه گیری میزان دفع نیتروژن و دی اکسید کربن تکمیل شود، ارزیابی هدر رفت انرژی بسیار دقیق تر صورت خواهد گرفت. این داده ها امکان برآورد مؤثرتر از میزان هر ماده اکسید شده را فراهم می کنند. نرخ انرژی HiF از اختلاف گرمای تولید شده توسط ماهیان سیر و گرسنه ارزیابی می شود. نحوه آنالیز آب مورد استفاده جهت اندازه گیری کالریمتری غیر مستقیم در ماهی در شکل ۷-۵ ارائه شده و جزئیات این روش همراه با اطلاعاتی از روش های نگهداری و کنترل در کادر ۱-۵ قابل ملاحظه است.



شکل ۷-۵) دیاگرام نحوه اندازه گیری انرژی به روش کالریمتری غیر مستقیم در ماهی

۲-۳-۵) مصرف انرژی ماهیان تغذیه نشده

اندازه گیری متابولیسم پایه حیوانات خشک زی از طریق گرسنه نگه داشتن هر یک از آنها در حالت استراحت صورت می گیرد اما ایجاد حالت استراحت کامل در ماهیان پلاژیک دشوار است زیرا ماهی برای حفظ موقعیت خود در محیط آبی نیاز به حرکت دارد و ثابت نگه داشتن آن در محفظه های متابولیک، ماهی را در معرض استرس قرار می دهد. محققان تلاش نموده اند تا حالت» استاندارد» را برای ماهیان گرسنه مانده بدون تحرک، « عادی» را برای ماهیان گرسنه مانده اما « متحرک و حتی « فعال» را برای ماهیان سیر و متحرک، تعریف نمایند. در ارتباط با ماهیان گرسنه مانده، استفاده از اصطلاح نرخ حداقل انرژی که بیان کننده مازاد فعالیت فیزیکی است دقیق تر از استفاده از اصطلاح نرخ استاندارد است.

کادر ۱-۵) اصول روش اندازه گیری کالریمتری غیر مستقیم در ماهی

نمونه های آب از مخازن دارای ماهی و مخزن فاقد ماهی گرفته می شود. با استفاده از الکترودهای ویـژه ای آنـالیز می شوند. تبادلات گازی (R) بیشتر با استفاده از این فرمول محاسبه می شود :

$$R = \frac{(S_1 - S2_2)}{M \times (t_2 - t_1)} \times V + \frac{(E_1 - S_1) + (E_2 - S_2)}{2 \times M} \times F$$

E_1 = غلظت گاز در مخزن بدون ماهی در زمان t_1

E_2 = غلظت گاز در مخزن بدون ماهی در زمان t_2

S_1= غلظت گاز در مخزن حاوی ماهی در زمان t_1

S_2 = غلظت گاز در مخزن حاوی ماهی در زمان t_2

M = بیوماس ماهی برحسب کیلوگرم

V = حجم آب در مخزن برحسب لیتر

F= جریان آب در مخزن بر حسب لیتر بر ساعت

t_1 , t_2 بر حسب ساعت و غلظت ها بر حسب میلی گرم بر لیتر بیان می شوند.

مصرف انرژی (EE[1]) بر حسب کیلو ژول با استفاده از فرمول Brafield (1985) محاسبه می گردد :

EE = ۱۱/۱۸ O_2 + ۲/۶۴ CO_2 − ۹/۵۵ N

بهره تنفسی (RQ[2]) و بهره نیتروژن (NQ[3]) با استفاده از مصرف اکسیژن، CO_2 خروجی و دفع نیتروژن محاسبه می شوند:

$$RQ = \frac{(CO_2 mmoles)}{(O_2 mmoles)}$$

$$NQ = \frac{(Nmmoles)}{(O_2 mmoles)}$$

[1] Energy expenditure
[2] Respiratory quotient
[3] Nitrogen quotient

ادامه کادر ۱-۵

مقدار پروتئین های کاتابولیسم شده (P)را می توان از طریق رابطه NQ محاسبه کرد. اگر پروتئین ها تنها ماده ای اکسیدشونده باشند، RQ حدود ۹۷ درصد و NQ حدود ۲۷ درصد خواهد بود(توجه : این مقادیر برای یک پروتئین استاندارد می باشد).

بنابراین، مقدار کل پروتئین های کاتابولیسم شده برابر است با :

$$P = NQ \times \frac{100}{0.27}$$

با این رابطه می توان RQ غیر پروتئینی (RQ_{np}) و همچنین مقادیر مربوط به کربو هیدرات ها (C) و لیپیدها (L) را در فرآیند کاتابولیسم محاسبه نمود. از لحاظ کاربردی، RQ هیدراتهای کربن حدودآ ۱ و RQ لیپیدها نزدیک به ۰/۷ می باشد(مقادیر مربوط به تریولئین).

$C = ۳۳۳/۳۳\ RQ_{np} - ۲۳۳/۳۳$

$L = ۱۰۰ - C$

مقادیر اکسیژن مصرفی (بر حسب مول بر کیلوگرم در روز) جهت اکسیداسیون مواد غذایی مختلف نظیر پروتئینها، کربوهیدرات ها و لیپیدها را می توان به ترتیب با استفاده از $O_{2np} \times L$, $O_{2np} \times C$, O_2p محاسبه نمود.ضریب گرمازایی اکسیژن پروتئین ها، کربوهیدرات ها، و لیپیدها در ماهی به ترتیب ۱۹/۱ ، ۲۱/۱ ، ۱۹/۶ کیلوژول بر لیتر اکسیژن مصرفی در ماهی است(Brafield, 1985). می توان انرژی تولیدی حاصل از کاتابولیسم هر نوع ماده غذایی را به این طریق تخمین زد و در نهایت کل هزینه انرژی را تعیین نمود. زمانیکه سنتز چربی ها از کربوهیدرات ها بیشتر از اکسیداسیون چربی باشد، بهره تنفسی بزرگتر از یک خواهد شد. در این حالت مقادیر اکسیداسیون برای چربی ها منفی خواهد بود که بیانگر سنتز خالص چربی هاست(اختلاف بین سنتز و تجزیه چربیها). در واقع، مقادیر اکسیداسیون کربوهیدرات ها، بیانگر میزان هیدراتهای کربن ناپدید شده است(اکسیداسیون + تبدیل به چربی). زمانیکه تنها میزان مصرف اکسیژن اندازه گیری شود محاسبه مصرف انرژی بر حسب کیلوژول با دقت کمتری صورت می گیرد.

مصرف انرژی باید در مورد ماهیانی اندازه گیری شود که با شرایط محیطی خود بخوبی سازگار شده و برای مدت طولانی گرسنه نگه داشته شده‌اند تا دستگاه گوارش آنها خالی شود(فصل ۴) . به منظور به حداقل رساندن تاثیر استرس بهتر است اندازه‌گیریها در مورد ماهیها به جای انفرادی، بصورت گروهی انجام شود. مصرف انرژی در ماهی ۱۰ تا ۳۰ بار کمتر از پستانداران است که عمدتا ناشی از خونسرد بودن، دفع آمونیاک و قابلیت شناوری خنثی است.

ـ خونسرد بودن ماهی : دمای داخلی بدن ماهی ها (به استثنای تن ماهیان و تعداد خیلی کمی از ماهیان سایر رده ها) خیلی نزدیک به دمای آبی است که در آن زندگی می کنند بنابراین، بر خلاف موجودات خونگرم، ماهی ها برای ثابت نگه داشتن دمای بدن خود (تنظیم دمایی[1]) انرژی مصرف نمی کنند. وقتی دمای آب کاهش یابد متعاقب آن دمای بدن ماهی نیز کاهش یافته و نیازهای انرژی پایه بشدت کاهش می یابد.

ـ دفع آمونیاک : در ماهیان استخوانی مهمترین ماده کاتابولیک نیتروژنی، آمونیاک است که مستقیما از طریق آبشش ها و ادرار به داخل آب دفع می شود. این فرآیند یک انتقال غیر فعال است که انرژی زیادی مصرف نمی کند (در مقابل سنتز و دفع اوره و اسید اوریک).

ـ قابلیت شناوری خنثی: در مقایسه با حیوانات خشکی زی که عضلات قوی و بزرگی برای غلبه بر جاذبه زمین دارند، قابلیت شناور بودن در ماهی ها امکان صرفه جویی در مصرف انرژی را فراهم می کند. گرچه برای شنای سریع نسبت به حرکت در خشکی با سرعتی مشابه به انرژی بیشتری نیاز است اما شنای آرام با مصرف انرژی کمتری همراه است.

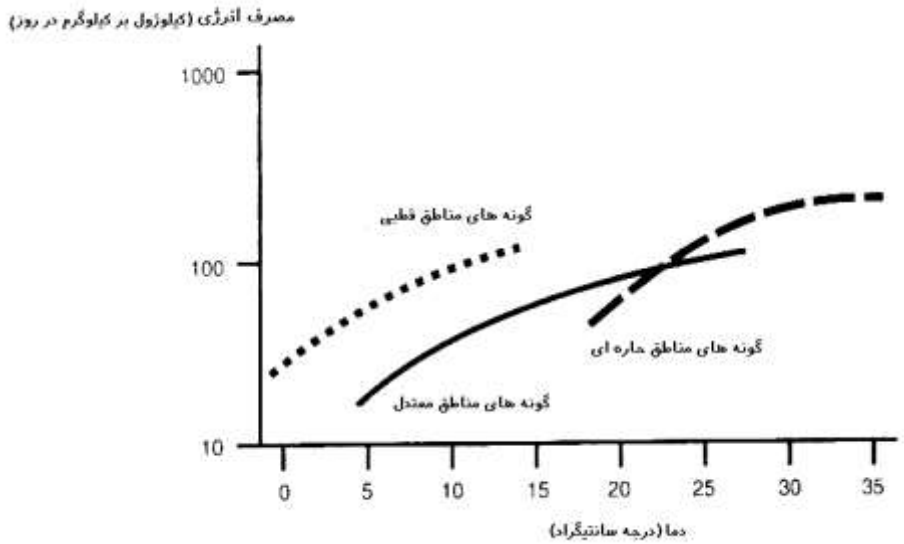
۳-۳-۵) عوامل مؤثر بر حداقل مصرف انرژی

نیازهای انرژی ماهی عمدتا تحت تاثیر اندازه آنها و دمای آب است (شکل۸-۵). ماهیان آب شیرین (۱۰ تا ۲۵ گرم) ، متوسط مصرف روزانه انرژی بسته به درجه حرارت، بین ۲۵ تا ۴۵ کیلوژول بر کیلوگرم متفاوت است.

[1] Thermoregulation

این مقادیر در مورد یک گونه ماهی در درجه حرارت مشخص و با توجه به طول دوره گرسنگی و مدت تغذیه آن متغیر است. در گزارشهای مختلف مقادیر ارائه شده مربوط به گونه های متنوعی از ماهیان دریایی بسیار متغیرتر از ماهیان آب شیرین و ماهیان پهن با متابولیسم بسیار پایین است. اثر شوری آب بر متابولیسم پایه ماهی مورد بحث و اختلاف است ولی بنظر می رسد که میزان مصرف انرژی به منظور انجام تنظیم اسمزی پایین باشد.

همانند موجودات خونگرم در موجودات خونسرد نیز مقدار انرژی مصرف شده به طور مطلق با وزن حیوان افزایش می یابد و لگاریتم نرخ متابولیک به صورت خطی با لگاریتم وزن بدن افزایش می یابد. با این وجود، شیب این رابطه کمتر از یک خواهد بود. در تمامی گونه ها، حیوانات کوچک جثه نسبت به حیوانات درشت به ازاء واحد وزن بدن به انرژی بیشتری در واحد سطح نیاز دارند.به عنوان اولین برآورد، در ارتباط با افراد بالغ از گونه های مختلف و در مورد افرادی با اندازه های مختلف از گونه های مشابه، استفاده از رابطه لگاریتمی بین وزن بدن و متابولیسم بسیار مفید و ارزشمند است. بنابراین لارو ماهی ها نسبت به ماهیان بزرگتر به ازاء واحد وزن بدن نیازهای انرژی بالاتری دارند. ارتباط بین متابولیسم و وزن بدن که در اصطلاح توده متابولیک نامیده می‌شود (برخی مواقع این اصطلاح را به اشتباه وزن متابولیک می گویند) بدین معنی است که وزن بدن هر حیوان تا یک توانی برابر با شیب رابطه لگاریتمی افزایش می‌یابد. در مهره داران عالی معمولا مقدار قابل قبول، ۰/۷۵ است در حالیکه در مورد ماهی مقادیر مستند بین ۰/۶۳ تا یک متغیر است و ضریبی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد، ۰/۸۲ است. با این وجود، در برخی مطالعات انجام شده پیرامون ماهی هنوز مصرف انرژی اغلب نه به عنوان عملکرد توده متابولیک بلکه به عنوان عملکرد وزن بدن بیان میشود که از چند میلی گرم در لاروها تا چند کیلوگرم متغیر است.



شکل ۸-۵) اثـر دمـای آب (درجـه سـانتیگراد) بـر مصـرف انـرژی در گونـه هـای مختلـف مـاهی
(Brett, 1970)

بطور کلی، افزایش نرخ انرژی حداقل نسبت به دمای آب بـا Q_{10} بیـان مـی شـود. ایـن شـاخص مسـتقل از اندازه ماهی بوده و در مورد یک گونه مشخص در کل محدوده دمایی قابل زیست برای ماهی
مقدار ثابتی نیست (شکل۸-۵). اغلب در محدوده دمایی مطلوب بـرای مـاهی هـا، ایـن مقـدار پـایین تـر است. برای مثال، در مورد مصرف اکسیژن در قزل آلا، Q_{10} در دمای زیر ۸ درجه سانتیگراد برابـر بـا ۳/۵ و در دمای بین ۸ تا ۱۸ درجه سانتیگراد، ۱/۷ می باشد. در شرایط معمول Q_{10} کمتر از ۲ نشان دهنده تنظـیم از طریق آنـزیم هـای حرارتـی اسـت. ایـن آنـزیم هـا بـه مـاهی امکـان مـی دهنـد تـا در متابولیسـم بیشـتر، صرفه‌جویی کند که این امر تنها با وابستگی فیزیکی به دما امکان پذیر نیست. این عامل تا حدی پیامـدهای خونسرد بودن ماهی را جبران می کند. با این وجود، در سایر موارد بویژه زمانیکـه Q_{10} برابـر بـا ۳/۵ اسـت (قبلا به آن اشاره شد)، باید فرض شود که تنظیم متابولیک در ارتبـاط بـا مکانیسـم هـای مختلـف صـورت می گیرد.

هنگامیکه موجود زنده گرسنه می ماند انرژی لازم جهت بقای آن از طریق تجزیه ذخائر بدن تامین میشود. طی سه روز اول گرسنگی در قزل آلا منابع اصلی تامین انرژی، پروتئین ها هستند. نقش پروتئین ها در تامین انرژی پایه در ماهی ها، تقریباً ده برابر بیشتر از مهره داران عالی است، در حالیکه مصرف انرژی در ماهی بطور متوسط بیست برابر کمتر از مهره داران خشک زی است در حالیکه میزان دفع مواد نیتروژنی تنها دو برابر کمتر است (۱۰۰ $mg\ N.kg^{-1\ 0.8}day^{-1}$ تا ۲۰۰ در روز در ماهی در مقابل ۲۲۰ $mg\ N.kg^{-1\ 0.8}day^{-1}$ تا ۳۲۰ در روز در پستانداران خشک زی نشان دهنده ۲ تا ۵ میلی گرم بر کیلوژول نیتروژن دفع شده در ماهی در مقابل ۰/۲ میلی گرم بر کیلوژول در پستانداران خشک زی است). زمانیکه دوره گرسنگی طولانی می شود، نقش چربی ها در تامین انرژی بیشتر می گردد. برای مثال، در قزل آلا در دمای ۱۸ درجه سانتیگراد از دوازدهمین روز گرسنگی نقش چربی ها و پروتئین ها در تامین انرژی برابر خواهد بود.

٤-۳-۵) نیازهای انرژی نگهداری

نیازهای انرژی به منظور نگهداری به عنوان مقدار انرژی مورد نیاز برای رسیدن به یک سطحی از تعادل بین ورود و مصرف انرژی است بطوریکه موازنه انرژی صفر باشد. این نیاز ها تنها در مورد ماهی‌ها بندرت مورد ارزیابی قرار گرفته است. با وجودیکه نیازهای انرژی ماهیان گرسنه تنها بیانگر ۵۰ تا ۶۰ درصد نیازهای نگهداری می باشد ولی برخی مواقع این نیازها برابر با نیاز های انرژی ماهیان گرسنه در نظر گرفته می‌شود(شکل ۹-۵). یک جیره غذایی که فقط تامین کننده انرژی ضروری جهت جبران نیازهای انرژی گرسنگی است برای ثابت نگه داشتن وزن بدن حیوان کافی نیست. همانطور که پیش از این اشاره شد، ورود، هضم، جذب غذا و استفاده متابولیک از مواد مغذی منجر به مصرف انرژی ویژه یا HiF می شود. بنابراین، HiF نگهداری در تضاد با SDA تولید است که بیانگر نرخ ذخیره انرژی است.

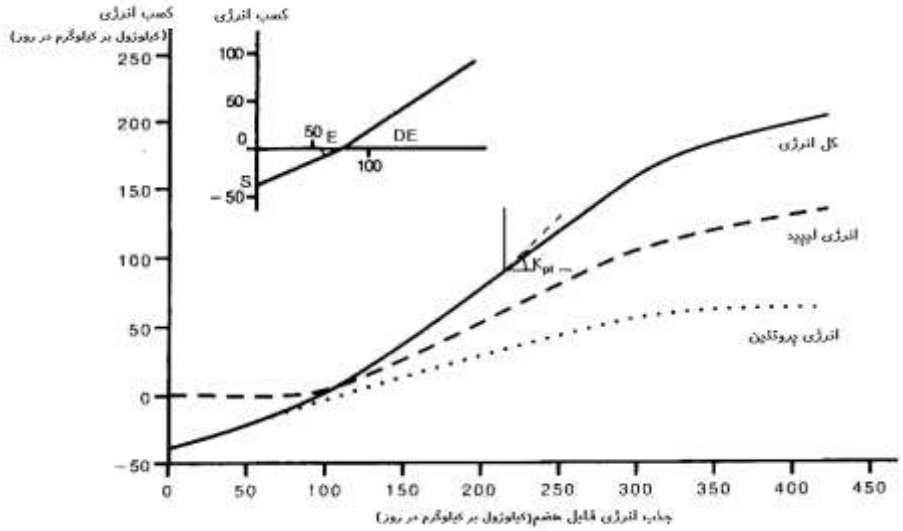
مطمئن ترین روش ارزیابی نیازهای نگهداری شامل اندازه گیری تغییرات محتوای انرژی گروههایی از ماهیان با انرژی افزوده است تا با پیش بینی و درون یابی کردن به بهره انرژی برابر با صفر دست یابند(شکل۹-۵). مقادیر نیازهای انرژی برای نگهداری ۳ گونه ماهی در جدول ۲-۵ نشان داده شده است.

تغییرات نیازها نسبت به وزن بدن و دمای آب، ناشی از تاثیر این عوامل بر حداقل متابولیسم بوده که بیانگر بخش اصلی مصرف انرژی نگهداری می باشد. در مورد گربه ماهی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و قزل‌آلا در ۱۸ درجه سانتیگراد نرخ نگهداری روزانه تقریبا ۰/۴ تا ۰/۶ درصد از وزن بدن خواهد بود.

۵-۳-۵) نیازهای انرژی برای تولید

۵-۳-۵-۱) نیازهای رشد

زمانیکه ماهی تا حد سیری تغذیه شود یا تغذیه آن از طریق غذاده های تقاضایی صورت بگیرد، با توجه به تراکم انرژی جیره قادر به تنظیم میزان مصرف غذا به منظور حداکثر رشد خواهد بود.



شکل ۹-۵) تغییرات کسب انرژی در قزل آلا متناسب با عملکرد انرژی قابل هضم.
شیب K_{pf} بازدهی مصرف انرژی قابل هضم را به منظور ذخیره انرژی نشان می دهد. K_{pf} -1 بیانگر HiF است. ناحیه تیره: تغییر در سیر انرژی پیرامون انرژی نگهداری می باشند. OS : سیر انرژی ماهیان گرسنه km = OS / OE : بازدهی مصرف انرژی قابل هضم را برای تامین انرژی نگهداری نشان می‌دهد. این نسبت به علت HiF نگهداری کمتر از یک است.

جدول ۲-۵) نیازهای انرژی نگهداری در چند گونه ماهی

گونه ها	وزن بدن (گرم)	دما (°C)	مصرف انرژی(کیلوژول بر کیلوگرم در روز)
کپور معمولی	۸۰ ۸۰	۱۰ ۲۰	۲۸ ٦۷
گربه ماهی	۲۰-۱۰ ۱۰۰	۲۵ ۲۵	۸٤ ۷۲
قزل آلا	۱۵۰ ۳۰۰	۱۸ ۱۵	۱۰۰-۸۵ ٦۰

این نوع تطابق همیشه مصداق ندارد بخصوص زمانیکه محتوای انرژی غذا کم باشد که ممکن است پرشدن معده عامل محدود کننده رشد گردد. بطور کلی، جیره های غذایی باید به گونه‌ای باشند که به ازاء هر کیلوگرم وزن خشک غذا حداقل ۱۵ تا ۱۸ مگاژول انرژی قابل هضم را تامین کنند.

نیازهای انرژی برای رشد را می توان به عنوان مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم ماهی، تعریف کرد. این مقدار در قزل آلا تقریباً ۱۵ تا ۱۶مگاژول به ازاء افزایش یک کیلوگرم وزن بدن در ۸ درجه سانتیگراد و ۱۷ تا ۱۹ مگاژول به ازاء افزایش یک کیلوگرم وزن بدن در دمای بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتیگراد است. مقادیر مورد نیاز برای رشد گربه ماهی کانالی مشابه قزل آلاست، ولی این مقادیر در مورد کپور معمولی و سیم دریایی که هر دو در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد رشد می کنند، خیلی بالاتر است. بنابراین، چون نیاز گونه های مختلف در دماهای یکسان اندازه گیری نشده و ترکیب بدنی آنها می تواند خیلی متفاوت باشد، امکان عمومیت دادن مقادیر برای تمامی گونه ها وجود ندارد. فرض بر این است که افزایش وزن بدن(محتوای پروتئین و چربی) عاملی است که نیازهای انرژی برای رشد را تحت تاثیر قرار می دهد(افزایش وزن بدن بر حسب مگاژول بر کیلوگرم). چنین حالتی را در حیوانات خشک زی هم میتوان مشاهده نمود.

نیازهای انرژی برای رشد به ترکیب جیره نیز وابسته است. اینکه مواد غذایی در مسیر آنابولیسم تجزیه شوند یا کاتابولیسم، به توازن انرژی بین منابع انرژی پروتئینی و غیر پروتئینی بستگی دارد از اینرو توصیه می شود ترکیب جیره ها بر حسب نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم تعیین شود.

این مقادیر بسیار بیشتر از مقادیر ارائه شده برای خوک ها یا پرندگان کوچک است که در حدود ۱۰ تا ۱۴ یلی گرم بر کیلوژول می باشد(جدول۳-۵). گرچه بنظر می رسد که این مقادیر در رابطه با برخی گونه‌ها بیش از حد معمول برآورد شده است. مطالعات اخیر در مورد قزل آلا نشان داده است که با افزایش انرژی قابل هضم به ۱۸ مگاژول بر کیلوگرم می توان نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP / DE) را به ۱۸ میلی گرم بر کیلوژول کاهش داد بدون اینکه اثر منفی بر رشد داشته باشد. این وضعیت در رابطه با کپور و سیم دریایی مشابه قزل آلاست.

۲-۵-۳-۵) نیازهای انرژی برای تولید مثل

انرژی مورد نیاز برای تولید مثل صرفا شامل میزان انرژی لازم برای تولید گامت ها نمی باشد. بروز صفات ثانویه جنسی(مورفولوژیکی یا تغییر رنگ) ، تولید موکوس، رفتارهای تولید مثلی، ساختن لانه در مورد برخی از گونه ها یا مهاجرت، به صرف انرژی نیاز دارد. انرژی مورد نیاز جهت انجام تمامی فرآیندهای تولید مثلی را تنها می توان در دوره های طولانی فعالیت های تولید مثلی برآورد نمود. این انرژی برابر با نسبت مقدار انرژی ذخیره شده در گامت ها به انرژی غذای خورده‌شده می باشد. مقادیر انرژی تولید مثلی در مورد برخی گونه های آکواریومی مورد بررسی قرار گرفته که مقدار آن در مورد گونه medaka، ۱۰ تا ۱۸ درصد و در مورد گونه stickleback، ۱۶ تا ۳۰ درصد گزارش شده است Tytler and Calow, (Wooton, 1985).

در اکثر گونه ها وزن گنادهای جنسی نر هنگام بلوغ بیش از ۱۰ درصد وزن بدن نمی باشد. در مقابل، در بعضی گونه ها وزن تخمدان های بالغ می تواند تا ۳۰ درصد وزن بدن را تشکیل دهد. مقدار متوسط انرژی تخم ها برای ۵۰ ماهی استخوانی تقریباً ۲۳/۵ کیلوژول بر گرم از ماده خشک برآورد شده است. در اردک ماهی محتوای انرژی گنادهای جنسی نر درست پیش از خروج گامت، حدود ۷۵ کیلوژول است در حالیکه محتوای انرژی تخمدان ها، بالغ بر ۱۰۰۰ کیلوژول می باشد. در آزاد ماهیان مقدار انرژی ذخیره شده در تخم ها ۸ تا ۱۵ درصدکل انرژی بدن است که برابر با شاخص گنادوسوماتیک می باشد.

در رابطه با تولید مثل نیازی به بیان نسبت پروتئین به انرژی جیره غذایی نیست. سطح انرژی بالاتر از ۱۷ مگاژول بر کیلوگرم از ماده خشک حاوی ۳۵ درصد پروتئین، موفقیت در تولید مثل را در آزادماهیان بهمراه خواهد داشت.

هنگامیکه از طریق غذا انرژی کافی تامین نشود، بیشتر گونه ها تولید گناد را با مصرف رشد سوماتیک امکان پذیر می کنند بطوریکه ذخائر بدن ماده ها به منظور توسعه گنادها مصرف می شود.

٤-٥ - توازن انرژی و ذخیره آن

سیر انرژی در بدن موجود زنده به مراحل مختلف استفاده از انرژی خام (GE)تحت شرایط زیست محیطی مشخص بستگی دارد. بازدهی مصرف غذایی بیان کننده رابطه بین انرژی قابل هضم یا انرژی قابل متابولیسم ورودی و ابقاء انرژی (R)می باشد. ابقاء انرژی (R) معادل انرژی ورودی (I) منهای انرژی دفع شده از طریق مدفوع (F)، تلفات متابولیکی (BU) و گرما (C) است که انرژی دفعی به صورت گرما شامل مصرف انرژی توسط خود حیوان و تولید گرمای ناشی از مصرف غذا (HiF) می باشد.

طبق قانون بقای انرژی، سیر انرژی برابر است با :

$$R = I - (F + BU) - C$$

جدول ۳-۵) رابطه بین پروتئین قابل هضم و انرژی قابل هضم در گونه های مختلف ماهی که معمولا به منظور بیان میزان رشد پیشنهاد می شود.

گونه ها	DPr (میلی گرم بر گرم ماده خشک)	DE (کیلوژول بر گرم ماده خشک)	DP/DE (میلی گرم بر کیلوژول)
گربه ماهی	۲٤٤-۲۷۰	۱۳/۱ - ۱۲/۸	۱۹-۲۱
باس کانالی	۳۱۵	۱۳/٤	۲٤
تیلاپیای نیل	۳۰۰	۱۲/۱	۲٦
کپور معمولی	۳۱۵	۱۲/۱	۲٦
قزل آلا	٤۲۰-۳۳۰	۱۵/۱-۱۷/۲	۲۲-۲۵

۱-٤-۵) روش های اندازه گیری سیر انرژی

۱-۱-٤-۵) اندازه گیری سیر انرژی بر اساس انرژی های دفع شده

دفع انرژی مربوط به هضم با استفاده از انرژی ورودی و ضریب ظاهری انرژی قابل هضم (ADC) محاسبه می شود. تلفات متابولیک (B+U کیلوژول بر کیلوگرم در ساعت) از طریق ضرب میزان دفع مواد نیتروژنی (گرم بر کیلوگرم در ساعت) درضریب ۲۴/۷ حاصل می شود (مراجعه شود به بخش ۲-۳-۵). اندازه گیری تفاوت بین میزان مصرف انرژی در ماهیان سیر و ماهیان گرسنه (کادر ۱-۵) بیانگر مقادیر HiF است. به این ترتیب، امکان محاسبه بخشی از انرژی قابل هضم دفع شده از طریق آبشش و ادرار فراهم می‌گردد که به عنوان HiF ، نگهداری و فعالیت مصرف می‌شود. بخش باقی مانده مربوط به انرژی تولید است (رشد جسمی و تولید گامت ها).

با استفاده از این روش، ارزیابی اجزاء مختلف سیر انرژی امکانپذیر می‌باشد که به معنی مراحل مختلف تبدیل انرژی حاصل از غذاست. با این وجود، این روش به علت برآورد کمتر دفع انرژی در حالات مختلف منجر به برآورد انرژی ذخیره شده به میزان ده درصد بیش از مقدار واقعی می‌گردد.

۲-۱-٤- ۵) اندازه گیری سیر انرژی بر اساس افزایش وزن بدن

اندازه گیری انرژی بدن (از طریق سوزاندن مقدار مشخصی از ماده خشک بدن در کالریمتر) در شروع و پایان دوره زمانی مشخص، بهترین روش برآورد میزان انرژی ذخیره شده در گروهی از حیوانات می باشد. اندازه گیری ها در مراحل ابتدایی و انتهایی روی گروهی از حیوانات به عنوان نماینده از کل گروه انجام می شود. از نقاط ضعف این روش، اشاره نکردن به سایر اجزاء سیر انرژی است و باید با اندازه گیری دفع متابولیک، HiF و انرژی دفعی به صورت گرما تکمیل شود. در چنین آزمایشهایی در صورت فقدان وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز برای اندازه گیری مواد دفعی و گرمای تولید شده، روش های دیگری به منظور ارزیابی اجزاء مختلف سیر انرژی پیشنهاد شده است (Kaushik and Cho, 1990). بدین نحو که دفع متابولیک از تفاوت بین نیتروژن قابل هضم ورودی و نیتروژن ذخیره شده بدست می آید و با ضرب این مقدار در ضریب ۲۵ قابل محاسبه است(همانطور که قبلا توضیح داده شد، بهتر است که ضریب ۲۴/۷ بکار برده شود). انرژی قابل متابولیسم را می توان با کم کردن مقدار محاسبه شده از انرژی قابل هضم

برآورد نمود. کل مصرف انرژی گرمایی نیز برابر با تفاوت بین انرژی قابل متابولیسم ورودی و انرژی ذخیره شده است.

۲-٤-۵) ذخیره انرژی

ذخیره انرژی با توجه به اندازه ماهی و شرایط پرورش (جدول ۴-۵) و همچنین اندازه و ترکیب جیره غذایی، متغیر است. شکل ۹-۵ رابطه بین کسب انرژی روزانه و ورود انرژی قابل هضم را در دو گروه از ماهی قزل آلا نشان میدهد که طی ۸ هفته با افزایش روزانه مقادیر غذا تغذیه شده اند. محتوای انرژی بدن با استفاده از روشی که قبلا به آن اشاره شد، اندازه گیری شده و نتایج بر حسب کسب یا هدر رفت انرژی کل یا به شکل میزان پروتئین بر حسب کیلوگرم در روز، بیان شده است. در ابتدا کسب انرژی نسبت به ورود انرژی قابل هضم، به صورت خطی افزایش می یابد و شیب K به ترکیب جیره غذایی بستگی دارد ولی بالاتر از یک سطح آستانه مشخص، رابطه به صورت منحنی در می آید. به هنگام افزایش انرژی قابل هضم ورودی ، افزایش کسب انرژی کمتر مشخص شده و به تناسب بیشتر افزایش تولید HiF با میزان انرژی ورودی اشاره دارد. تعیین ذخیره انرژی به شکل پروتئین روش مشابهی است که بیشتر نشان دهنده انباشت انرژی می باشد. شیب رابطه بین کسب انرژی روزانه به شکل پروتئین و مقدار ورود انرژی قابل هضم به ازاء هر کیلوگرم در روز (با علامت K_p) همراه با افزایش ورود انرژی قابل هضم ، به علت وجود حداکثر آنابولیسم پروتئین، تغییر می کند.

در مجموع، انرژی ذخیره ای در هر نوع رژیم غذایی به شکل پروتئین یا چربی، با سن (و نیز اندازه) ماهی تغییر می کند. در ماهیهای جوان انرژی عمدتا به شکل پروتئین ذخیره می شود و سپس در حدود سن ۲ سالگی در آزادماهیان، بیشتر ذخیره انرژی به صورت چربی خواهد بود. با توجه به میزان چربی ذخیره شده محتوای انرژی بدن یک ماهی، بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوژول بر گرم از ماده خشک تغییر می کند. احتمالاً این پدیده موجب افزایش نیازهای رشد می‌شود.

بنابراین، هر نوع غذا با توجه به خصوصیات گونه و شرایط پرورش، باعث انباشت و ذخیره انرژی با مقادیر و ماهیت های متفاوت می شود. به منظور تعیین سرنوشت انرژی غذا را از طریق تلفیق عوامل مختلف، مطالعات آزمایشگاهی زیادی مورد نیاز است.

جدول ٤-٥) نرخ انرژی پایه در برخی گونه های ماهی طی دوره گرسنگی

گونه ها	وزن بدن (گرم)	دما (°C)	مصرف انرژی (کیلوژول بر کیلوگرم در روز)
گونه های آب شیرین			
ماهی قرمز	۲۹	۲۵	۳۹
کپور معمولی	۸۰	۲۸	٤١-٥٠*
خاویار	۲۳۰	۱۸	۳۰
اردک ماهی زرد	٤-۱۳۰	۲۰	۲۵
ماهی آزاد سوکای	۱۰ - ۲۰	۱۵	۲۳
قزل آلا	۱۰۰	۸	۲۹
	۱۰۰	۱۸	٤٠-٤٨*
گونه های دریایی			
سیم دریایی سرطلایی	۱۰	۲۰	۷۹
	۱۰۰	۲۰	٤١
سیم دریایی قرمز	۳۵-۷۰	۲۰	٦٤
ماهی کاد	۳۰-۸۰	۷	۳۰
	۳۰-۸۰	۱۰	٤۳
	۳۰-۸۰	۱۵	۵۲
باس دریایی	۱۰	۲۰	۸۱
	۱۰۰	۲۰	٤۸
ماهی پهن	۵	۲۰	۱٦۳
	۱۱۰	۲۰	۳۰

* مقادیر ارائه شده از مقالات استخراج شده اند.

انرژی ذخیره ای در ماهیان معمولا ۲۰ تا ۵۰ درصد یا ۳۵ تا ۶۵ درصد میزان انرژی قابل هضم ورودی است در حالیکه این مقادیر بیشتر از مقادیر مشاهده شده در موجودات خونگرم است. علت این اختلاف عمدتاً ناشی از سطح پایین متابولیسم پایه یا نیازهای نگهداری در ماهیهاست که خود به دلیل خونسردی و عوامل ثانویه‌ای همچون دفع آمونیاک و قابلیت شناوری است.

چون متخصصان تغذیه اغلب دمای نزدیک به حالت اپتیمم را برای گونه ها انتخاب می کنند، نقش درجه حرارت در سیر انرژی عمیقا مورد مطالعه قرار نگرفته است. با این حال ، سیر انرژی به میزان قابل توجهی وابسته به دماست(جدول۵-۵). پیرامون درجه حرارت اپتیمم و پایین تر از آن، ورود و مصرف انرژی در یک رابطه ثابت تعادلی باقی می ماند. ذخیره انرژی درگونه ها در درجه حرارت اپتیمم یا کمی بالاتر از آن در حد بیشینه است. در دمای بالاتر از اپتیمم، میزان ورود انرژی افزایش نمی یابد، اما مصرف انرژی به طور مستمر و دائمی زیاد می شود. در دمای نزدیک به حد کشنده، سیر انرژی به سرعت سیر نزولی مییابد.

جدول ۵-۵) اثر دمای آب بر استفاده از انرژی قابل‌هضم و نرخ انرژی نگهداری در قزل‌آلا.
جیره محتوی ۳۸ درصد پروتئین قابل هضم و ۹ درصد چربی قابل هضم است (Slinger and Cho,1980)

دما (درجه سانتیگراد)	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
انرژی ذخیره ای (درصد انرژی قابل هضم ورودی)	٤٤	٤٩	٥٣	٥٨
انرژی نگهداری ($kj/kg^{-1\ 0.824/day}$)	١٢	١٩	٣٥	٣٨

۵-۵ - خلاصه

در ماهی ها مراحل مختلف تولید انرژی از غذا، بسیار مشابه مراحل شناخته شده در پستانداران است. متابولیسم انرژی صرفا از دو جنبه با مهره داران عالی تفاوت دارد اولاً، اولویت استفاده از مواد مغذی تامین کننده انرژی در سطح سلولی در بین مهره داران عالی و ماهی ها متفاوت است. ثانیاً، خونسرد بودن ماهی منجر به اثر قابل توجه درجه حرارت محیط بر متابولیسم در کل سطح موجود زنده می شود. مواد مغذی مورد استفاده جهت تامین انرژی در ماهی ها ترجیحا اسیدهای‌آمینه هستند که کاتابولیسم این مواد منجر به تولید آمونیاک می شود. با این حال، حداقل در آزاد ماهیان این امکان وجود دارد که به منظور کاهش کاتابولیسم پروتئین ها، مقدار زیادی چربی جایگزین این مواد مغذی شود. پیامدهای ناشی از خونسرد بودن ماهی ها توسط آنزیم های حرارتی کاسته می شود. دمای آب می تواند بر تعدادی از اجزاء سازنده

متابولیسم انرژی از قبیل HiF یا نسبت های پروتئین یا چربی ذخیره شده نیز مؤثر باشد. بالابودن نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم به علت پایین بودن نیاز انرژی در ماهی ناشی از خونسرد بودن ماهی است که بایستی در جیره های غذایی مصرفی مدنظر قرار گیرد. همچنین پایین بودن نیازها موجب افزایش کارآیی ماهی در ذخیره سازی انرژی جیره غذایی به صورت انرژی بدنی می شود. در حال حاضر، به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین و بازدهی بهتر انرژی، پیشنهادات ارائه شده در خصوص نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) در چندین گونه در حال بررسی است.

«فصل ٦»

پروتئین‌ها

بدون شک بیشترین مطالعات انجام شده پیرامون مواد مغذی مورد مصرف ماهی به مواد پروتئینی اختصاص دارد. از زمان شروع اولین اقدامات در جهت کاربرد غذاهای فرموله شده در پرورش ماهی، تلاش های زیادی به منظور تعیین حد بهینه پروتئین جیره غذایی انجام گرفته است و این موضوع خیلی سریع به اثبات رسید که سطح بهینه پروتئین در ماهی ها بسیار بالاتر از پستانداران یا پرندگان است. در این رابطه از چندین روش تکمیلی به منظور تشریح نیازهای ویژه ماهی استفاده شد. محققان به بررسی علت تفاوت چشمگیر بین ماهی ها و مهره داران عالی که می تواند ناشی از نیازهای فوق العاده بالای ماهی به منظور رشد یا نگهداری باشد پرداختند. در مورد برخی گونه ها تلاش های گسترده ای به منظور تعیین نیازهای آنها بر اساس اسیدهای آمینه ضروری (EAA) انجام شد و نیز نتایجی در جهت توجیه مکانیسمهای بنیادی ارائه گردید. اگرچه اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه پیرامون متابولیسم پروتئینها بوده اما نقش پروتئین ها و نیز منابع نیتروژنی غیر پروتئینی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

در این فصل ابتدا به معرفی شاخص های عمده متابولیسم پروتئین ها پرداخته خواهد شد و در ادامه نیازهای پروتئینی و آمینواسیدی و روابط متقابل پروتئین و انرژی تشریح می شود.

۱-٦ - ویژگی‌های متابولیسم پروتئین در ماهی

۱-۱-٦) متابولیسم اسیدهای آمینه

در حیوانات اسیدهای آمینه یا به شکل آزاد یا متصل به پروتئین (که به معنی قرار گرفتن در زنجیره‌های پپتیدی است) هستند. اسیدهای آمینه آزاد دارای ۳ منشأ هستند که شامل جذب روده ای مواد حاصل از هیدرولیز پروتئین های غذا، سنتز از منابع غیر پروتئینی و هیدرولیز پروتئین ها ی بدن می شود. اسیدهای آمینه به منظور سنتز پروتئین ها یا سایر ترکیبات نیتروژنی (اسیدهای نوکلئیک، آمین ها، پپتیدها، هورمونها و غیره) مورد استفاده قرار می گیرند و می توانند تامین کننده منبع کربنی برای متابولیسم حدواسط بوده یا برای تولید انرژی اکسید شوند.

۱-۱-۱-٦) سنتز

ماهی ها نیز همانند مهره داران عالی و بسیاری از بی مهرگان، قادر به سنتز پاره ای از اسیدهای آمینه نیستند و باید از طریق جیره غذایی تامین شوند. این اسیدهای آمینه را در اصطلاح اسیدهای آمینه ضروری مینامند (فصل۲) و برای شناسایی آنها از دو روش استفاده می شود.

قدیمی ترین و ساده ترین روش شامل حذف ترکیباتی از جیره غذایی است که گمان می رود این ترکیبات ضروری هستند، سپس حیوانات طی چند هفته یا چند ماه کنترل شده و علائم کلینیکی ناشی از کمبود ترکیبات حذف شده مورد بررسی قرارمی گیرند. در این آزمایشها بجز متیونین، لایزین و تریپتوفان که کمبود آنها در ماهی علائم پاتولوژیک خاصی بدنبال دارد، تاکنون در مورد سایر اسیدهای آمینه نشانه خاصی ناشی از کمبود آنها مشاهده نشده است.

کمبود یک اسید آمینه ضروری بلافاصله موجب توقف رشد و در پی آن کاهش وزن می شود. در واقع، قابلیت برگشت پذیر بودن علائم کمبود ترکیبات حذف شده پس از اضافه کردن آنها به ترکیب جیره می تواند دلیل کافی در جهت اثبات ضرورت این ترکیبات باشد. از اینرو، ضرورت جایگزینی ۱۸ اسید آمینه به صورت مخلوطی از اسیدهای آمینه سازنده پروتئین جیره کپور مورد بررسی قرار گرفت (Nose,1974) و در پایان هفته چهارم کاهش وزن بدن در مورد کمبود ده اسید آمینه مشاهده شد که با اضافه کردن اسیدآمینه حذف شده، رشد افزایش یافت. هرچند این روش ها به اندازه گیری های بیوشیمیایی دقیق نیاز داشته و نسبتا وقت گیر و کند هستند.

امروزه روش های دقیق تر و سریعتری ترجیح داده می شوند که بر تکنیک های بیوشیمیایی بخصوص استفاده از مواد رادیو اکتیو متکی هستند. در خصوص استفاده از مواد رادیواکتیو، دو نوع ترکیب متفاوت شامل استات یا گلوکز نشان دارشده با C^{14} به ماهی تزریق می شود . این تزریق بعد از چندساعت موجب مرگ ماهی شده و به موجب آن بخشی از پروتئین بدن برداشت شده و هیدرولیز می شود سپس اسیدهای آمینه بدست آمده از طریق کروماتوگرافی جداشده و میزان رادیواکتیویته آنها بررسی می شود. گرچه مواد رادیواکتیویته را فقط می توان در اسیدهای آمینه غیرضروری یافت اما این روش سریع بوده و امکان مطالعه همزمان ضرورت تمامی اسیدهای آمینه را فراهم می کند. با این وجود، پاره ای از انتقادات به این روش وارد شده است. از جمله، پس از آنالیز آزمایشهای انجام شده ، نتایج حاصل از هیدرولیز اسیدی یک پروتئین مشخص به منظور تعیین گلوتامین، مشابه با اسید گلوتامیک و همچنین اسید آمینه آسپاراژین مشابه اسید آسپارتیک خواهد بود. علاوه بر این، این روش امکان تمایز بین مولکولهایی که سنتز نمی‌شوند و مولکولهایی را فراهم سازد که موجود زنده قادر به سنتز آنها نیست و آنها را از طریق غذا تامین می‌کند.
نتایج حاصل از دو نوع آزمایش مشابه بود: ده نوع از اسیدهای آمینه ضروری(جدول۱-۶) در ماهی و مهره داران عالی که دفع کننده اوره نمی باشند، مشابهند. اما آرژنین که یکی از اسیدهای آمینه ضروری در ماهی هاست بخشی از آن در حیوانات دفع کننده اوره در چرخه اوره تولید می شود. همچنین دو اسید آمینه نیمه ضروری در ماهی شناسایی شده که فقط از اسیدهای آمینه ضروری ساخته می شوند. این اسیدهای آمینه شامل سیستئین و تیروزین هستند که سیستئین از اتصال سرین با متیونین و تیروزین از اتصال سرین با فنیل آلانین ایجاد می شوند. در محل هایی که سنتز اسیدهای آمینه بکندی صورت می گیرد، اسیدهای آمینه نیمه ضروری می نامند. در ماهی ها، پرولین و گلوتامین جزء اسید آمینه های نیمه ضروری هستند.

در شرایط بحرانی، سرعت سنتز اسیدهای آمینه غیرضروری بسیار کند شده و رشد بکندی صورت میگیرد. در چنین شرایطی، بدون اینکه این اسیدهای آمینه ذاتاً ضروری باشند می توانند به عنوان اسید آمینه ضروری قلمداد شوند. از اینرو اصطلاح غیر ضروری به آنها اتلاق می شود. اسیدهای آمینه غیرضروری از آلفا- کتواسیدهای قرینه و متشابه حاصل از تبادل آمینی (انتقال برگشت پذیر یک گروه آمین از اسید آمینه به آلفا- کتو اسید بدون آزاد شدن آمونیاک) ساخته می شوند.

به عبارت ساده تر، چنین فرض می شود که ضروری بودن اسید آمینه ای که حیوان قابلیت سنتز آن را ندارد، توسط چرخه کربن تعیین می شود. امروزه با استفاده از ^{15}N مشخص شده که در مهره‌داران عالی چند حالت کاملا مجزا برای اسیدهای آمینه ضروری وجود دارد. اسیدهای آمینه ضروری در سه دسته طبقه بندی می شوند (جدول b۱-۶ و کادر ۱-۶)

ـ آرژنین و هیستیدین که در چارچوب متابولیسم حدواسط ساخته می شوند بدون اینکه این سنتز به علت فعالیت پایین سیستم های آنزیمی، موازنه مثبت انرژی در بر داشته باشد.

ـ لوسین، ایزولوسین، والین، تریپتوفان، فنیل آلانین و متیونین که از طریق تبادل آمینی ساخته می شوند اما به علت کمبود ماده انرژی زا، میزان سنتز آنها کافی نیست.

ـ لایزین و ترئونین که به علت فقدان ترانس آمینازهای ضروری (آنزیم های ضروری برای انتقال اسیدهای آمینه) نمی توانند در هیچ یک از مسیرهای متابولیک حدواسط ساخته شوند.

بنابراین تنها اسیدهای آمینه دسته سوم (لایزین و ترئونین) مطلقا ضروری هستند (مراجعه شود به کادر ۱-۶). هشت اسید آمینه ضروری باقی مانده، حداقل از لحاظ تئوری و در مهره داران عالی، کاملا ضروری نخواهند بود. فرض می شود که مسیر سنتز این اسیدهای آمینه در ماهی ها مشابه مهره داران عالی است و اسیدآمینه های مذکور وضعیت مشابهی در ماهیها دارند. البته این فرضیه هنوز به اثبات نرسیده اما از لحاظ کاربردی نباید ضرورت ده اسید آمینه مذکور در جدول a ۱-۶ مورد تردید قرار گیرد.

۲-۱-۱-٦) مصرف

در ماهی ها همانند مهره داران خشک زی پروتئین های بدن ماهیت ثابتی ندارند. سنتز و تجزیه پروتئین به طور همزمان و دائمی از طریق فراهم شدن اسید آمینه آزاد ناشی از ورود مواد غذایی و تجزیه بافت های پروتئینی، انجام می شود (شکل۱- ۶). در مطالعه متابولیسم اسیدهای آمینه و خصوصا تعیین نیازها باید جنبه های دینامیک و بویژه تغییر و تحول اسیدهای آمینه در هر بخش مدنظر قرار گیرد. تاکنون مطالعات انجام شده پیرامون دوگونه آب شیرین از ماهیان شامل قزل آلا وکپور، متمرکز بوده و گونه های آمفی هالین مانند آزادماهی اطلس یا گونه های دریایی از قبیل باس دریایی، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

جدول ۱-٦) انواع اسیدهای آمینه ضروری، نیمه ضروری و غیر ضروری

A : طبقه بندی تعیین شده برای ماهی

انواع نیمه ضروری و غیرضروری	انواع ضروری
آلانین	آرژنین
آسپاراژین	هیستیدین
اسید آسپارتیک	ایزولوسین
اسید گلوتامیک	لوسین
گلوتامین	لایزین
گلایزین	ترئونین
پرولین	تریپتوفان
سرین	والین
سیستئین*	متیونین
تیروزین*	فنیل آلانین

* اسیدهای آمینه نیمه ضروری

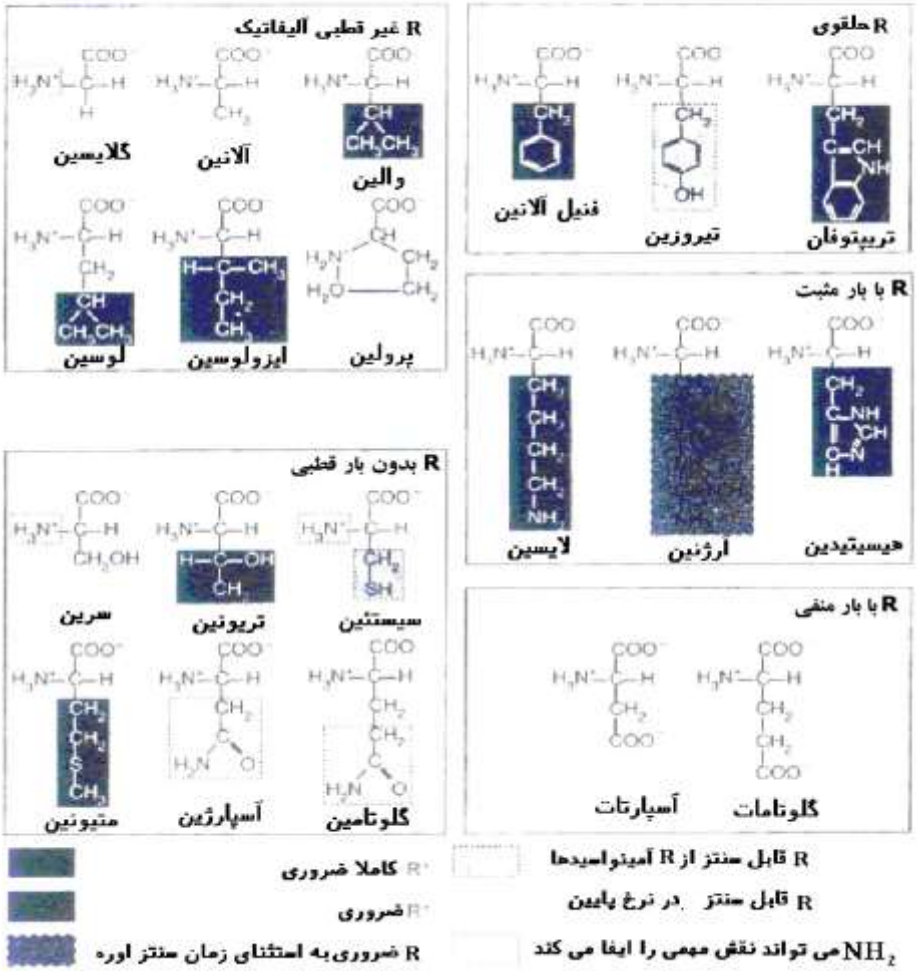
B : طبقه بندی آمینواسیدها با توجه به ضروری بودن ساختار کربنی و گروه آمینی اصلی

گروه آمینی	ساختار کربنی	
	ضروری	غیر ضروری
ضروری	لایزین ترئونین	سرین گلایزین سیستئین
غیرضروری	*اسیدهای آمینه شاخه دار تریپتوفان فنیل آلانین متیونین	** گلوتامات ، گلوتامین آلانین ** اسپارتات ، آسپاراژین

* ایزولوسین، لوسین، والین

** این اسیدهای آمینه ممکن است در ماهی ضروری باشند.

کادر ۱-٦) فرمول ۲۰ اسیدآمینه، پروتئین ها و اهمیت گروههای آمینی و رادیکال های آنها



تکنیک های مورد استفاده به منظور مطالعه سیر متابولیک اسیدهای آمینه

در این تکنیک ها از ایزوتوپ های پایدار (N^{15}، H^{2}، C^{13}) که امروزه در مطالعات پیرامون ماهی کاربرد کمی دارد، یا ایزوتوپ های رادیواکتیو (C^{14} یا H^{3}) استفاده می شود. بعد از وارد کردن اسیدهای آمینه نشان دار و اندازه گیری میزان رادیو اکتیویته ویژه آمینو اسیدهای آزاد یا متصل به پروتئین های بافتی

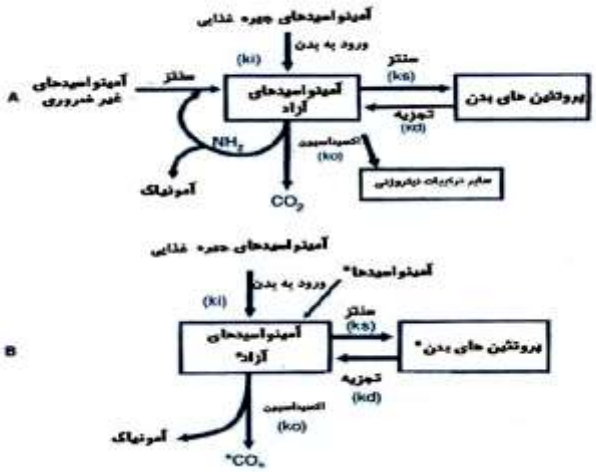
موجود در مواد دفعی (رادیواکتیویته بر مول ترکیبات مربوطه) ، معمولا سیر متابولیک اسیدهای آمینه از لحاظ کمی، مشخص می شود. بدین منظور، روند حرکت و چگونگی سیر متابولیک مواد نشان دار دنبال شده و به صورت خیلی ساده، سیرحرکت اسید آمینه با استفاده از مدل دوقسمتی بسیار دقیق تعیین میشودکه یک قسمت این مدل اسیدهای آمینه آزاد و قسمت دیگر آن پروتئین های بدن را نشان می دهد (۱b- ۶). وارد کردن اسید با استفاده از یکی از سه روش: تزریق ساده، هیدروژن دار کردن[1] و تزریق ساده همراه با غوطه ور سازی در اسیدهای آمینه غیر نشان دار انجام میشود.

روش تزریق ساده به کنترل آزمایشگاهی و جا بجایی های آشکار و غیرآشکار مواد نشان دار نیاز دارد. علاوه بر این، استفاده مجدد اسید آمینه نشان دار حاصل از تغییر و تبدیل پروتئین، در نتایج حاصله انحراف ایجاد می کند.

در حال حاضر، روشی که در مهره داران خشک زی بیشتر استفاده می شود، روش استفاده از هیدروژن رادیواکتیویته است. استفاده از این روش در محیطهای آبی بدون ایجاد استرس در حیوان دشوار است مگر اینکه از میکروپمپ های زیر پوستی استفاده شود که کارایی بالایی در هیدروژن‌دارکردن مواد ندارند. از اشکالات این روش محدودیت در اندازه گیری سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه (ko) است در حالیکه سرعت سنتز پروتئین (ks) را می توان از طریق روش دوز بالا یا غوطه ورسازی اندازه گیری نمود. این روش شامل غوطه ور سازی گروه اسیدهای‌آمینه آزاد تا زمان دستیابی به تعادل بین فعالیت ویژه اسیدهای آمینه آزاد در پلاسما (نزدیک به فعالیت ویژه محلول تزریق شده) و فعالیت ویژه اسیدهای آمینه آزاد در بافت ها می باشد.

در هیچ کدام از این روش ها امکان اندازه گیری مستقیم تجزیه پروتئین (Kd) وجود ندارد. از آنجاییکه تجمع پروتئین نتیجه فرآیندهای سنتز و تجزیه پروتئین است، بنابراین میزان تجزیه پروتئین را می توان از اختلاف بین میزان تجمع و سنتز تعیین نمود. تجمع پروتئین از آزمایشهای رشد طی چندین هفته قابل اندازه‌گیری است در حالیکه میزان سنتز پروتئین معمولا طی چهل دقیقه تعیین می شود. ازینرو، انتقادات زیادی بر این روش وارد شده و باید در آینده روش هایی معرفی گرددکه امکان مطالعه منطقی جریانهای اسیدهای آمینه را فراهم نماید.

[1] perfusion



شکل ۱- ٦) مدل متابولیسم پروتئین در ماهی

A : مدل کلی

B : مدل دو بخشی که پس از تزریق اسید آمینه نشان دار استفاده می شود(مواد نشان دار با علامت ستاره مشخص شده اند).

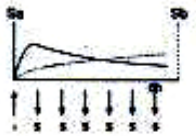
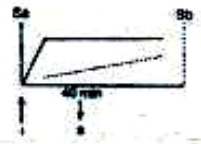
سنتز و تجمع پروتئین

نرخ سنتز پروتئین در ماهی همانند مهره داران عالی با توجه به نوع بافت، متغیر است. ترتیب سنتز پروتئین در بافت های ماهی به شرح ذیل است(جدول ۲-۶).

عضله سفید < عضله قرمز < دستگاه گوارش < آبشش ها < کبد

در صورت در نظر گرفتن پایین تر بودن دمای داخلی بدن موجودات خونسرد نسبت به موجودات خونگرم، نرخ سنتز پروتئین های کبدی و آبشش ماهی مشابه نرخ سنتز پروتئین در کبد وکلیه موش است. نرخ سنتز پروتئین در عضلات سفید ماهی ($g/kg^{0.75}$ ۵-۴ در روز) در مقابل پستانداران ($g/kg^{0.75}$ ۱۶ در روز) خیلی پایین است.

کادر ۲-٦) روش های اندازه گیری سیر متابولیسم پروتئین در ماهی، مزیت ها و محدودیتها

روش	روش کار	امکان اندازه گیری	مزیت ها	محدودیت ها
تزریق ساده	نمونه های جایگزینی جهت طی دوره تغییر ٦ ساعته تنظیم شده به منظور ارزیابی سیر مصرف آمینواسیدها 	سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه(ko) سرعت سنتز پروتئین (ks)	- حداقل استرس - ساده	- امکان استفاده از گروههای زیادی از ماهیان - مصرف مجدد مواد نشان دار - مشاهده تغییرات معنی دار در Sa
هیدروژن دار کردن	پس از موازنه، یک نمونه (٤ ساعت) به منظور اندازه گیری سیر مصرف آمینواسیدها با استفاده از نسبت Sa/Sb کافی است.	سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه(ko) سرعت سنتز پروتئین (ks)	- تعداد نمونه های کم - موازنه نمودن - اندازه گیریهای جداگانه	- صرف زمان طولانی جهت موازنه - دشواری استفاده از روش هیدروژن دار کردن در ماهی(به سبب ایجاد استرس) یا استفاده از یکروپمپها (به علت مصرف مجدد موادنشان دار)
دوز بالا	پس از بررسی خطی، یک نمونه (٤٠ دقیقه) به منظور محاسبه نرخ سنتز از طریق نسبت Sa/Sb کافی است. 	سرعت سنتز پروتئین (ks)	- حداقل استرس - تعداد نمونه های کم - اندازه گیری سریع - تعین موازنه - اندازه گیریهای جداگانه - حداقل استفاده مجدد از مواد نشان دار	- نامشخص بودن تاثیر استفاده از دوز بالا روی متابولیسم پروتئین - تنها امکان اندازه گیری نرخ سنتز وجود دارد

s = نمونه برداری
Sa = رادیواکتیویته ویژه در آمینواسیدهای آزاد نشان دار
Sb = رادیو اکتیویته ویژه در آمینواسیدهای متصل به پروتئین نشان دار

جدول ۲-٦) نرخ سنتز پروتئین ها « KS» (درصد در روز) در اندام های مختلف ماهیان غذا خورده، میزان حداقل و حداکثر ثبت شده در مقالات مختلف و قابلیت تجمع پروتئین [KS-KD/KS×100]

اندام	نرخ سنتز	قابلیت تجمع پروتئین
کبد	۵/۳-۲۰	۵
آبشش ها	۲/٤-۲۳	-
دستگاه گوارش	۱/۳-۲۱/۲	۸
معده	۷/۸-۱۸/۳	-
عضله قرمز	۰/۳-۷/۷	-
عضله سفید	۰/۱-۱/۳	۷۰

سنتز سایر ترکیبات نیتروژنی

اسیدهای آمینه به عنوان پیش ساز برای بسیاری از ترکیبات نیتروژنی عمل می کنند (جدول۳-۶) اما تعیین میزان این سنتزها در ماهی دشوار است. برخی مسیرهای متابولیک کوتاه هستند (برای مثال، سنتز هورمونها) در حالیکه سنتز بازهای پورین، کراتین یا حتی تری متیل آمین به مقادیر قابل توجهی پیش ساز اسیدآمینه‌ای نیاز دارند. گرچه بسیاری از پپتیدها از انواع تنظیم کننده‌های متابولیک یا فیزیولوژیک هستند و نیز مولکول هایی مانند اکسید نیترو نقش مهمی در سلامت ماهی ایفا می کنند اما همچنان اطلاعات کیفی ناچیزی در این زمینه وجود دارد. حتی در پستانداران نیز این پدیده ها به صورت جزئی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و در رابطه با ماهی ها عملا ناشناخته مانده است. البته در ماهی اسیدهای آمینه غیرپروتئینی معینی مانند تورین و تری متیل آمین در تنظیم اسمزی نقشی ویژه دارند.

جدول ۳-٦) ترکیبات نیتروژنی غیر پروتئینی ساخته شده از اسیدهای آمینه

فرآورده	اسید آمینه
پریمیدین ها	آسپاراتیک
دوپامین	آلانین
کراتین، اکسید نیترو، اسپرمین	آرژنین
پورین ها، پریمیدین ها	گلوتامین
کراتین ،پورین ها، پورفیرین ها[1]	گلایزین
هیستامین	هیستیدین
پلی آمین، اسپرمین	لوسین
کارنیتین	لایزین
تورین، کولین، کراتین، پلی آمین ،گلوتاتیون[2]	متیونین/ سیستئین
کتکولامین، هورمون های تیروئید	فنیل آلانین/ تیروزین
کولین، اتانول آمین، تری متیل آمین	سرین
سروتونین، نیاسین	تریپتوفان

اکسیداسیون اسیدهای آمینه

این حقیقت که ماهی ها اسیدهای آمینه را به منظور تولید انرژی اکسید می کنند و محصول نهایی متابولیسم نیتروژنی در آنها آمونیاک است، آنها را از مهره داران خشک زی متمایز می کند. مسیر های کاتابولیسم اسید آمینه که منجر به تولید انرژی می گردد در فصل ۵ تشریح شد و در این فصل تنها به ذکر مسیرهای کلی کاتابولیسم اسیدهای آمینه اشاره می شود.

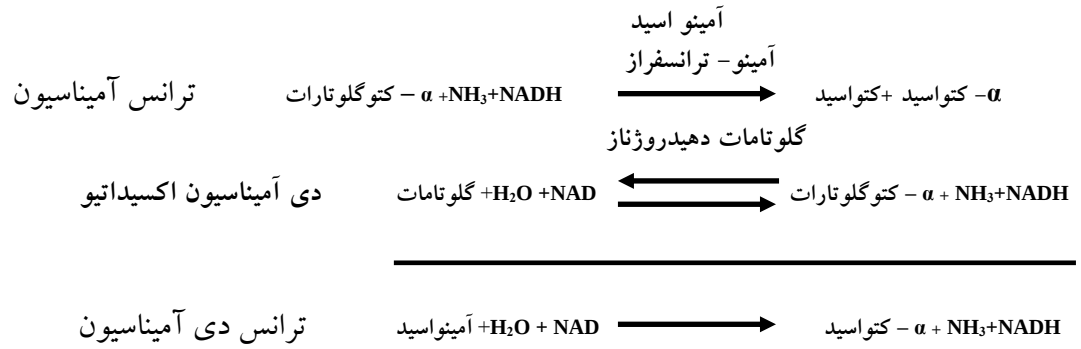
طی فرآیند کاتابولیسم، زنجیره کربنی اسید آمینه می تواند در جهت سنتز سایر ترکیبات نیتروژنی (اسیدهای آمینه غیرضروری، نوکلئوتیدها و غیره) بکار رود اما معمولا به منظور اکسیدشدن و تولید انرژی وارد چرخه کربن می گردد (فصل ۵). اکسیداسیون اسیدهای آمینه را می توان با تزریق آمینواسید نشاندار شده با ^{14}C و تعیین رادیواکتیویته CO_2 تولیدی برآورد نمود. تزریق یک اسید آمینه ضروری نسبت به یک اسید آمینه غیرضروری، موجب تولید درصد کمتری $^{14}CO_2$ می‌شود.

---

[1] porphyrins
[2] glutathion

حتی با استفاده از اسید آمینه غیرضروری مقدار $^{14}CO_2$ تولیدی از طریق بازدم بیشتر از مقدار بدست آمده در موش است. مطالعه سیر لوسین نشاندار شده با ^{14}C نشان می دهد که بیش از ۳۵ تا ۴۹ درصد منبع لوسین آزاد در متابولیسم اکسایشی شرکت می کند در حالیکه این مقدار در پستانداران بیش از ۲۰ درصد نمی باشد. این تفاوت ناشی از تمایل ماهی ها به استفاده از اسیدهای آمینه به عنوان منبع تامین کننده انرژی است. مقدار کمی از اسیدهای آمینه از تجزیه پروتئین ها تامین می شوند (کمتر از ۴۵ درصد در مورد اسید آمینه لوسین) از اینرو، متابولیسم غذا عمده ترین منبع تامین کننده اسیدهای آمینه می باشد.

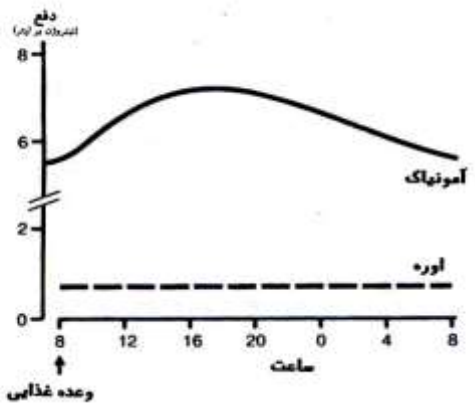
گروههای NH_2 حاصل از کاتابولیسم اسیدهای آمینه در واکنش های تبادل آمینی مصرف می شوند اما پیش از دفع از طریق واکنش های دی آمیناسیون آزاد می شوند. واکنش هایی که منجر به رها سازی آمونیاک می شوند، شامل واکنش های دی آمیناسیون مستقیم یا واکنش های انتقال دهنده یک گروه آمینی به پذیرنده می‌باشند که در محل خود دی آمینه می شوند و واکنش « ترانس دی آمیناسیون » نام دارند. چون دی آمیناسیون مستقیم به آنزیم های خاصی نیاز دارد که غلظت آنها در بافت های ماهی به منظور تشکیل مقدار قابل توجهی آمونیاک بسیار پایین است، لذا ظاهراً واکنش های ترانس دی آمیناسیون مسیر اصلی آزادسازی آمونیاک است. با دخالت ترانس آمینازها، اسیدهای آمینه به آلفا- کتواسیدها و گلوتامات تبدیل شده و گلوتامات بواسطه فعالیت آنزیم دهیدروژناز، گلوتامات به آلفا-کتوگلوتارات و آمونیاک تبدیل می شود(شکل۲- ۶). غلظت این آنزیم درکبد ماهی بیشتر از مهره داران عالی است و نقش مهمی در اکسیداسیون اسیدهای آمینه ایفا می کند.



شکل ۲-٦) واکنش های کلی ترانس آمیناسیون و دی آمیناسیون اسیدهای آمینه

دفع

در اکثر ماهی ها، ۸۰ درصد از نیتروژن حاصل از کاتابولیسم نیتروژنی به شکل آمونیاک دفع می شود. آمونیاک(NH_3) فوق العاده سمی است اما در pH های فیزیولوژیک قسمت عمده این ترکیب به شکل یونی (NH_4+) حضور دارد. یون آمونیوم سمیت کمتری داشته و ماهی براحتی می تواند آن را از طریق آبشش ها (۷۵ درصد) یا از طریق ادرار (۲۵ درصد) به محیط اطراف دفع کند. بین ورود نیتروژن و دفع آمونیاک ارتباط مستقیم وجود دارد. دفع آمونیاک ماهی را از مهره داران خشک زی متمایز میکند که ناگزیر از تبدیل آمونیاک به ترکیبات غیر سمی ولی پیچیده مانند اسید اوریک یا اوره هستند. در ماهیان استخوانی مجموعه کاملی از آنزیم های چرخه اوره وجود دارد اما تنها در چند مورد استثناء کارآمد و قابل استفاده هستند. این مسئله در مورد دهان گردان (الاسموبرانشها) که آمونیاک تجمع یافته در تخم برای جنین سمی خواهد بود یا در بسیاری از ماهیان آفریقایی صدق میکند که در محیطهای خیلی شور زندگی می کنند و دفع آمونیاک برای آنها سخت است. اغلب مقدار مشخصی اوره ترشح می شود(حدود ۵ تا ۲۰ درصد نیتروژن دفعی) که حاصل کاتابولیسم پورین و آرژنین است و از پروتئین ها حاصل نمی‌شود. بر خلاف آمونیاک میزان دفع اوره، پایین بوده و در شرایط عادی به وعده غذایی بستگی دارد (شکل۳- ۶). مطالعات اخیر نشان داده است که حداکثر دفع اوره در ماهی کفشک وجود دارد البته این پدیده هنوز به اثبات نرسیده است.



شکل ۳-٦) تغییرات دفع آمونیاک و اوره در قزل آلا (Kaushik,1980)

۳-۱-۱-٦) خلاصه ای از ویژگیهای متابولیسم در ماهی

ویژگیهای اصلی متابولیسم پروتئین در ماهی شامل: سنتزکم پروتئین در عضله سفید، نقش اندک پروتئینهای بدن در تامین پیش سازهای اسید آمینه، اهمیت کاتابولیسم مستقیم از طریق اکسایش اسیدهای آمینه جذب شده و سرانجام دفع مواد دفعی نیتروژنی به شکل آمونیاک می باشد

برخلاف برخی فرضیه ها، نیاز بسیار بالای ماهی به پروتئین در ارتباط با هیپرتروفی بالای عضلات سفید ماهی نیست. تغییرات کم پروتئین ها در عضلات سفید منجر به سنتز قابل توجه پروتئین می شود که هزینه آن برای موجود زنده مشابه مهره داران عالی است. دومین و سومین ویژگی که قبلا به آنها اشاره شد، علت وابستگی بیشتر متابولیسم پروتئین در ماهی به منبع پروتئینی را نسبت به مهره داران عالی تشریح می‌کنند. همچنین این ویژگی ها امکان درک اهمیت متابولیسم پروتئین در تامین نیازهای انرژتیک ماهی را فراهم می کنند که البته مطالب ارائه شده در فصل ۵ در این رابطه، از موارد استثنا هستند.

۲-۱-٦) تغییرات در متابولیسم

۱-۲-۱-٦) سن ماهی

اثر عوامل زیستی بر متابولیسم نیتروژن موضوعی است که مطالعات کمی پیرامون آن انجام شده است. علاوه بر این، چون روش های مورد استفاده بسیار متغیرند فقط می توان از مقایسه های بسیار تقریبی بین آزمایشهای مختلف استفاده نمود. در این رابطه صرفاً تاثیر این مورد بررسی قرار گرفته است. رشد ماهی با افزایش سن کاهش می یابد اما متوقف نمی شود. این امر به سبب کاهش همزمان سنتز و تجزیه پروتئینهای بدنی و به دنبال آن کاهش تدریجی تجمع پروتئین است.

۲-۲-۱-٦) عوامل غیر تغذیه‌ای غیر زیستی: درجه حرارت

در نگاه اول بعید بنظر می رسد که در بررسی تاثیر دما در سنتز پروتئین توسط محققان مختلف نتایج مشابهی حاصل شده باشد. چون Q_{10} محاسبه شده دارای دامنه متغیری از ۲/۱ تا ۷ است، البته این دامنه متغیر بیشتر یک تناقض ظاهری است تا واقعی و عملاً اختلاف دما در رابطه با عاملی که مورد مقایسه قرار می گیرد، از درجه اهمیت یکسانی برخوردار نیست :

A : گونه های مشخصی که در اقلیم های مختلف زندگی می کنند و در طول دوره تکامل با محیط سازگار شده اند .

B : گونه های مشخصی که نسبتا یوری ترم بوده ولی بعدا با دماهای خاصی سازگار شده اند.

C : گونه های مشخصی که که نسبتا یوری ترم بوده ولی زمان لازم برای سازگاری را پیدا نکرده اند.

در مناطق با دماهای متغیر، Q_{10} گونه های یوری ترم سازگار یافته با شرایط آب و هوایی حدود ۲/۵ است. منحنی اثرات دما بر گونه های یوری ترم مناطق معتدل نشان می دهد که گونه های ساکن در آبهای خیلی سرد میزان سنتز بالایی در عضله دارند اما در مورد گونه های گرمسیری عکس این حالت رخ میدهد. بنابراین، در دماهای یکسان میزان سنتز پروتئین عضلات در ماهیان اقیانوس منجمد جنوبی ۳ برابر مناطق گرمسیری است. این اختلاف این تصور را ایجاد می کند که طی تکامل یک موازنه بدون واسطه دمایی رخ داده است. تغییرات تصادفی در دما بدون ایجاد سازگاری، منجر به ایجاد استرس شده و اثرات قابل توجهی را بر میزان تغییر وتحول پروتئین از طریق ترشح کورتیزول به دنبال دارد گرچه این استرس ارتباطی با یک پدیده فیزیولوژیک ندارد.

۳-۲-۱-٦) عوامل تغذیه ای

متابولیسم پروتئین در ماهی به عوامل مختلف تغذیه ای بویژه غذا خوردن، تکرار وعده های غذایی و کیفیت غذا بستگی دارد. در این رابطه نیز مطالعات متناقضی انجام شده که در این فصل فقط به نقش برخی عوامل اشاره می گردد.

گرسنگی تاثیر اندکی بر سنتز پروتئین دارد اما مسلما تجزیه پروتئین را افزایش داده و سطح اسیدهای آمینه را بالا می برد و حتی پس از یک دوره طولانی محرومیت غذایی، آنزیم های اکسید کننده اسیدهای آمینه به صورت فعال باقی می مانند. اسیدهای آمینه منبع اصلی انرژی هستند. تولید گلوکز ناشی از اسیدهای آمینه که در محیط آزمایشگاهی قابل اندازه گیری است، طول دوره گرسنگی را افزایش می دهد.

زمانی که حیوان غذا می خورد سنتز و تجزیه پروتئین همراه با افزایش مقادیر غذای خورده شده افزایش می یابد و هنگامیکه نیازهای نگهداری برآورده شد سنتز پروتئین از تجزیه آن پیشی گرفته در نتیجه قابلیت ذخیره سازی پروتئین ks (ks-kd) از صفر درصد در مورد جیره نگهدارنده به ۵۰ تا ۶۰ درصد در مورد جیره های حداکثر قابل افزایش است. اگرچه تاثیر واقعی انرژی غذا هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته اما بنظر

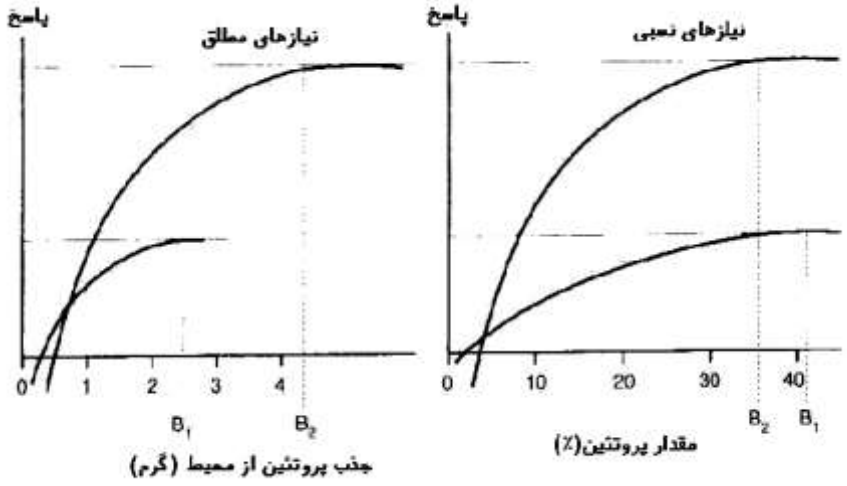
می رسد که این تغییرات عمدتا ناشی از نسبت پروتئین جیره باشد. بنظر می رسد که همانند مهره داران عالی، در ماهی نیز سنتز تابع مستقیمی از میزان دسترسی به منبع تامین کننده انرژی است اما بدون تردید میزان سنتز مطابق با پتانسیل حیوان محدود شده و به عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیک وابسته است. افزایش وعده های غذایی معمولا موجب افزایش تغییر وتحول پروتئین در کبد و عضله می گردد.

متابولیسم غذا به صورت پیچیده ای توسط نوع غذا تنظیم می شودکه در این رابطه تنها نقش منبع پروتئینی مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش محتوای پروتئین نسبت به یک سطح غذایی مشخص منجر به افزایش همزمان سنتز پروتئین و اکسیداسیون اسیدهای آمینه می شود. کیفیت پروتئین های غذا نیز میتواند تغییر و تحول پروتئین های غذ را تحت تاثیر قرار دهد اما زمانیکه ارزش بیولوژیک غذا بالا باشد، اثر آن کمتر خواهد بود.

۲-٦ - نیازهای پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری

۱-۲-٦) برخی تعاریف ها

تعاریف مختلف ارائه شده از نیازها (فصل۲) معنی و کاربرد یکسانی ندارند. برای مثال، نیازهای مطلق طی دوره رشد با افزایش اندازه حیوان افزایش می یابد در حالیکه نیازهای نسبی رو به کاهش می گذارد(شکل۴- ۶). نیازهای مطلق نیازهایی هستند که هیچگونه موجودیت فیزیولوژیک خاص ندارند: حیوان غذا را برحسب کمیت می خورد نه بر حسب درصد یا نسبت و این عامل تابع عوامل خارجی و عوامل مرتبط با خود حیوان است. بهرحال، نیازهای مطلق طی دوره رشد بسرعت تغییر می کنند و از چند میلی گرم برای آلوین ها تا چند ده گرم برای ماهی چند کیلوگرمی متغیرند. نیازهای نسبی ثابت تر بوده و ازینرو این نیازها مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند. برای این منظور، شیوه های حدواسط توصیفی پیشنهاد شده است. از اینرو، مقدار پروتئین های مورد نیاز به ازاء هر کیلوگرم ماهی در روز نه تنها به منظور رویکردهای علمی بلکه برای تعیین اندازه جیره غذایی موردتوجه قرار می‌گیرند. جایگزین‌کردن وزن‌متابولیک بدن(M) با اندازه متابولیک ($M^{0.75}$) از نظر علمی با ارزش تر بوده ولی کاربرد آن آسان نیست. همچنین از شیوه های مختلف توصیفی برای بیان نیازهای اسیدهای آمینه ضروری می توان استفاده نمود.



شکل٤-٦) نیازهای مطلق و نسبی پروتئین. نمایش نموداری این نیازها برای ماهیان کوچک و (۱) ماهیان بزرگ (۲) از یک گونه مشابه

۲-۲-٦) روش های مطالعه

بهترین روش مطالعه، روش پاسخ بر اساس دوز مصرفی است که حداقل دوز مصرفی یا درصد بهینه پروتئین یا یک اسیدآمینه ضروری را تعیین می کند. اصول کار شامل مقایسه عملکردها یا سایر ویژگیهای گروههای مختلف ماهیانی است که با مقادیر رو به افزایش پروتئین ها یا اسیدهای آمینه ضروری تغذیه می‌شوند.

۱-۲-۲-٦) جیره های غذایی آزمایشی

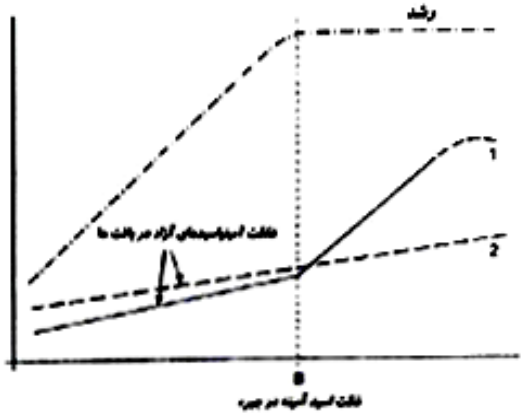
ترکیب جیره های آزمایشی باید با دقت کنترل شود. معمولا به منظور دستیابی به شیب غلظت پروتئین های جیره، این جیره های غذایی جایگزین هیدراتهای کربن می شوند با این شرط که سطح انرژی جیره تغییر چندانی نکند. با این وجود، تا جاییکه ممکن است باید ارزش واقعی انرژی منبع پروتئینی و هیدرات‌کربنی بررسی شده و در صورت امکان محتوای چربی یا بالک (سلولز) تنظیم شود. امکان ورود انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی، هیدراتهای‌کربن و اسیدهای چرب از منبع پروتئینی نیز باید در نظر گرفته شود.

علاوه بر ویژگی های مذکور، تعادل اسیدهای آمینه ضروری از اهمیت زیادی برخوردار است که بعدها به آن خواهیم پرداخت. شایان ذکر است مقدار جیره مصرفی نیز عاملی است که می تواند به میزان قابل توجهی پاسخ به شیب پروتئینی را تغییر دهد.

هنگام تعیین نیازهای اسیدهای آمینه ضروری اول باید مطمئن بود که ترکیب پروتئین جیره تمامی نیاز به اسیدهای آمینه ضروری را برآورده می کند. در صورت نبود شناخت کامل، نیازها آنچنانکه که در مورد اسیدهای آمینه ضروری چنین حالتی وجود دارد، باید پروتئین مرجع انتخاب شود. در این رابطه، در مقایسه با پروتئین های تخم یا عضله پروفیل اسیدهای آمینه ضروری لاشه گونه های مورد بررسی بر حسب گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن بهترین راهنما و مرجع می باشد. همچنین موجودی اسیدهای آمینه ضروری باید در سطحی ثابت نگهداشته شوند و مقدار اسیدهای آمینه غیرضروری بطورکلی، نه بصورت جداگانه، مدنظر قرار گیرند. این شرایط از طریق تنظیم جیره حاوی مواد خام طبیعی دارای کمبود یا جایگزینی پروتئین های موجود با مخلوطی از اسیدهای آمینه خالص‌سازی شده، حاصل می شود. در حالت اول، تنظیم این نوع از جیره دشوار بوده و انتخاب غلظت های اسید آمینه محدود است. در حالت دوم نیز، رشد اغلب به کندی صورت می گیرد. حداقل بخشی از این کمبود رشد ناشی از اسیدهای آمینه خالص سازی شده است که سریعتر از اسیدهای آمینه حاصل از هضم پروتئین، جذب شده و موجب کاهش قابلیت سنتز پروتئین می‌شوند. هنگامی که اسیدهای آمینه کریستاله شده با آگار- آگار یا آگار- ژلاتین پوشیده شوند، سرعت جذب آنها کاهش یافته و مصرف متابولیک آنها تا حدی افزایش می یابد. اسیدی بودن ترکیب اسید آمینه‌ای که منجر به کاهش اشتهای ماهی شده و افزایش فشار اسمزی محتویات معده شده و اختلال در جذب مواد غذایی را بدنبال دارند، از عوامل دیگری هستند که موجب محدودیت در استفاده از جیره‌های نیمه مصنوعی می شوند.

۲-۲-۲-٦) مدل

بصورت تئوری، چنانچه منحنی پاسخ به جیره های آزمایشی را بتوان بوسیله دو پاره خط و یک انحنا در سطح نیازها مشخص نمود، روش ساده ای است (شکل۵- ۶) اما از نظر کاربردی بویژه در جمعیت های ناهمگون، همیشه نقطه شکست بخوبی مشخص نمی شود، همچنین معیار انتخاب شده کاملا بر سطح نیازها منطبق نمی باشد.



شکل۵-٦) تاثیر غلظت یک اسید آمینه ضروری در رشد و همچنین غلظت شکل آزاد آن اسیدآمینه در بافت‌ها.

۱) : اسیدهای آمینه با یک نقطه شکست در شیب غلظت (بنابراین،طول نقطه B برابر با سطح نیازها است).

۲) : اسیدهای‌آمینه بدون نقطه شکست در شیب غلظت

مدل های پیشنهادی دیگری ارائه شده اند که ارتباط بین دوز مصرفی و پاسخ را از طریق منحنی‌های دقیق به شکل مجانب نشان می دهند بنابراین، سطح نیاز برابر با ۹۵ یا ۹۸ درصد از حداکثر پاسخ تصادفی خواهد بود. معمولا معادلات مربوط به منحنی ها که نشان دهنده بهترین توصیف از پاسخ ها هستند نسبت به روش ساده شکست در شیب، برآورد بهتری از نیازها را ارائه می کنند. این مدل ها به علت پیچیده بودن جز در دامنه ای که بسختی می توان آن را تعیین نمود، مقادیر واقعی را نشان نمی دهند و از اینرو مورد انتقاد قرار گرفته اند.

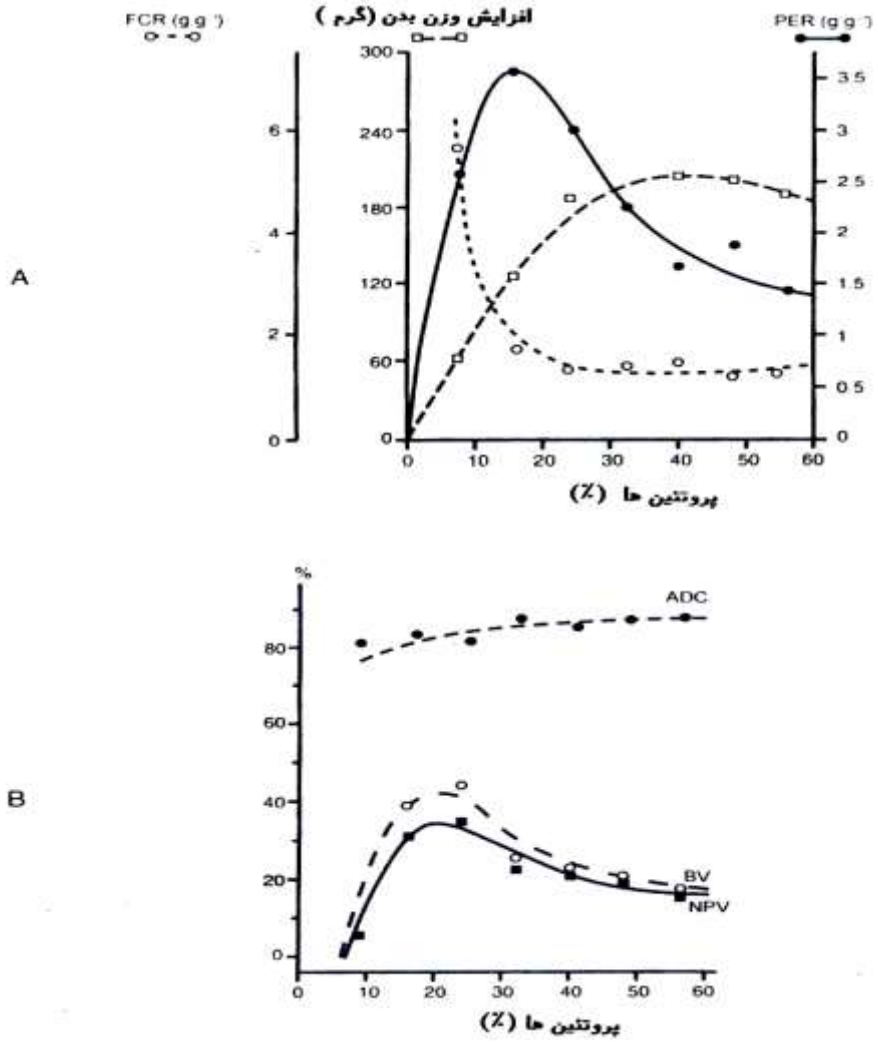
۳-۲-۲-٦) پاسخ

به منظور نشان دادن افزایش وزن بدن از شاخص افزایش وزن بدن بویژه میزان رشد ، شاخص رشد روزانه و غیره استفاده می شود(فصل۲). شاخص های مربوط به افزایش طول وابستگی کمتری با چاقی داشته و مسلما به دلیل وابستگی کمتر این شاخص ها با افزایش وزن بدن و تغییر تقریبی آنها به عنوان تابعی از

ریشه سوم وزن، بندرت مورد استفاده قرار می گیرند. از لحاظ تئوری، شاخص‌های مربوط به ذخیره پروتئین از دقت بیشتری برخوردارند اما این شاخص ها نیز به محاسبات تکمیلی (تجزیه و تحلیل پروتئین های بدن) نیاز داشته و به علت ثابت بودن محتوای پروتئین بدن، در شرایط عادی اعتبار نتایج را به میزان اندک بهبود می بخشند.

گاهی از شاخص های مصرف در رابطه با غذا و ذرات پروتئینی آن، به منظور برآورد نیازها استفاده میشود. شاخص مصرف و عکس آن یعنی بازدهی تغذیه، مقدار بهینه پروتئین ورودی به بدن را نشان میدهد که به مقدار پروتئین تضمین کننده رشد نزدیک می باشد اما این مقدار بهینه لزوما به عنوان نیاز تلقی نمی شود(a ۶- ۶). علاوه براین، استفاده از این شاخص ها به سبب نیاز به اندازه گیری های تکمیلی، خطاهایی را بدنبال دارند. شاخص های مصرف در رابطه با پروتئین از قبیل نسبت بازدهی پروتئین (افزایش بیوماس نسبت به میزان پروتئین مصرفی) یا ارزش بیولوژیک، میزانی را برای مقدار پروتئین غذا بدست میدهد قطعاً کمتر از میزان نیاز خواهد بود(b ۶- ۶).

روش های مختلف پاسخ بر حسب دوز مصرفی به منظور رشد در مورد اسیدهای آمینه قابل استفاده است اما رشد حاصله نسبتا کند بوده و زمان زیادی لازم است تا تفاوت در پاسخ ها آشکار شود. علاوه بر این، گاهی اوقات جیره های مصرفی گران خواهند بود. تمامی این عوامل موجب شد تا شاخص های متابولیک خاصی مورد بررسی قرار گیرند که بلافاصله قادر به نشان دادن وضعیت کمبود یا تامین نیاز ها باشند. اولین اندازه گیری در این رابطه، اندازه گیری تغییرات اسیدهای آمینه آزاد در خون است. منحنی حاصله (شکل۵- ۶) نشان می دهد که بطور کلی تجمع اسیدهای آمینه ضروری تا رسیدن به سطح مورد نیاز با سرعت کم صورت می گیرد اما تجمع آنها در بالاتر از سطح نیاز این مواد بسرعت افزایش می یابد. در مورد پاره ای از اسیدهای آمینه ضروری (لوسین، ایزولوسین، والین، متیونین و ترئونین) نقطه شکست مشخص بوده و کاملا بر سطح نیازها منطبق است. در مقابل، در مورد سایر اسیدهای آمینه ضروری در خارج از سطح نیازها هیچ تجمعی مشاهده نمی شود که این امر می تواند ناشی از افزایش کاتابولیسم یا واکنش های بین اسیدهای آمینه باشد. روش های پیشنهاد شده دیگر بر پایه اندازه گیری اکسیداسیون اسید آمینه مورد بررسی یا اسید آمینه شاخص استوار است.



شکل ٦-٦) تاثیر محتوای پروتئین غذا درعملکردهای بیولوژیک و شاخص های مختلف مصرف پـروتئین جیره (Huang and Shiau, 1989)

A : **تاثیر محتوای پروتئین غذا در افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل غذا** (FCR) **و نسبت بازدهی پروتئین** (PER)

B : **تاثیر محتوای پروتئین غذا در ضریب ظاهری قابلیت هضم** (ADC) ، **ارزش بیولوژیک** (BV) **و مقدار پـروتئین خالص** (NPV)

در این رابطه مجموعه ای از ماهی ها با غذایی محتوی مقادیر رو به افزایش اسید آمینه مورد مطالعه، تغذیه می شوند، بدین نحو که محلولی محتوی همان اسیدآمینه یا اسید آمینه نشان دار شده با ^{14}C به حیوان تزریق می شود و پس از گذشت چند ساعت مقدار $^{14}CO_2$ دفع شده ناشی از کاتابولیسم ثبت می شود. طی بررسی انجام شده، کاتابولیسم اسید آمینه مورد آزمایش در بالای سطح نیازها و کاتابولیسم اسید آمینه شاخص در زیر سطح نیازها افزایش می یابد. نتایج به دست آمده با نتایج تعیین شده کاملا مطابقت دارد اما این روش دقت کمی داشته و به لوازم پیشرفته ای نیاز است. این عوامل کاربرد این روش را جز در موارد خاص، محدود می سازد.در نتیجه روش های مختلف اندازه گیری یا حتی پارامترهایی که برای یک روش مشخص تعیین می شوند، اغلب مواقع نتایج هماهنگی ارائه می کنند اما می توانند منشاء تغییرات معنی داری در میزان احتیاجات باشند.

۳-۲-٦) کیفیت غذایی پروتئین ها

کیفیت غذایی پروتئین ها شامل دو مبحث قابلیت هضم و ارزش بیولوژیک است.

۱-۳-۲-٦) قابلیت هضم

ضریب قابلیت هضم (فصل ۴) اولین شاخصی است که در مورد کیفیت غذایی پروتئین ها مورد توجه قرار می گیرد. اگر نیازها بر حسب پروتئین های قابل هضم بیان شود مستقل از قابلیت هضم بوده و هیچ ارتباطی با هم ندارند اما چنانچه بر حسب پروتئین های خام بیان شوند، با قابلیت هضم نسبت عکس دارند.

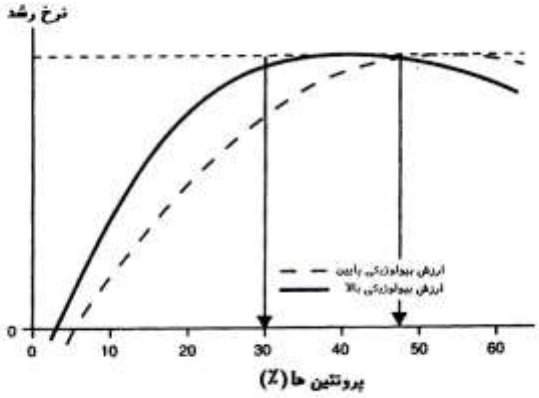
۲-۳-۲-٦) ارزش بیولوژیک

در صورت مشابه بودن سایر عوامل چنانچه نیازها بر حسب پروتئین های قابل هضم بیان شوند، باز هم نیازهای یک حیوان تابع منبع پروتئین مصرفی است. بنابراین، یکی دیگر از شاخص های پروتئین غذا با نام ارزش بیولوژیک (BV[1]) توسط توماس مطرح شد که این شاخص برابر است با:

[1] Biological value

$$BV = \frac{\text{ذخیره پروتئین تصحیح شده}}{\text{پروتئین جذب شده}} \times ۱۰۰$$

این شاخص با در نظر گرفتن عوامل داخلی[1] و تلفات متابولیک تصحیح می شود. ارزش بیولوژیک را می‌توان با استفاده از موازنه نیتروژن اندازه گیری نمود.



شکل۷-٦) تعیین نیازهای کمی یک حیوان بر اثر مصرف دو نوع پروتئین با ارزش های بیولوژیک متفاوت

جهت تعیین ارزش بیولوژیک به دو گروه ماهی نیاز است تا یک گروه با جیره ای محتوی پروتئین مورد مطالعه و گروه دوم با جیره ای فاقد پروتئین (٪۰ پروتئین) تغذیه شوند. در گروه اول می توان اتلاف انرژی را از طریق مدفوع (Nf) و دفع از طریق آبشش ها و ادرار(Nub) اندازه گیری نمود.

[1] endognouse

در گروه دوم تلفات مواد دفعی متابولیک یا اتلاف انرژی از طریق دفع مواد متابولیک (Nf_o) و اتلاف انرژی داخلی به منظور دفع از طریق ادرار و آبشش ها(Nub_o) اندازه گیری می شود. در صورت وجود مقدار نیتروژن ورودی (Ni) ارزش بیولوژیک را می توان از طریق رابطه ذیل محاسبه نمود :

$$BV = \frac{Ni - \left[\left(Nf - Nf_0\right) + \left(Nub - Nub_0\right)\right]}{Ni - \left(Nf - Nf_0\right)} \times 100$$

ارزش بیولوژیک یک منبع پروتئینی مشخص، ثابت نیست و متناسب با محتوای پروتئین جیره تغییر میکند (شکل۶b-۶) ، اما مشخصه ویژه منبع پروتئینی غذای مورد نظر است. تا زمانی که این منابع تحت شرایط یکسان و به ویژه در سطوح یکسان در ترکیب جیره غذایی گنجانده شوند، این شاخص امکان درجه بندی بین منابع مختلف پروتئین های غذایی(که به معنی درجه بندی بین منابع یا مخلوط های پروتئینی است) را فراهم می کند. این نوع درجه بندی تقریبا در تمام مهره داران از جمله ماهی ها وجود دارد.

ارزش بیولوژیک(BV) بر خلاف ضریب ظاهری هضم(ADC) که طبق تعریف تنها مصرف مواد هضم شده را برآورد می کند، مصرف متابولیک پروتئین ها را نشان می دهد. منحنی های شکل ۶a-۶ و b ۶-۶ نشان می دهند که مصرف متابولیک پروتئین ها در ابتدا افزایش و سپس با توجه به ورود پروتئین در بالا یا پایین سطح نیازها کاهش می یابد.

۳-۳-۲-٦) ارزش پروتئین خالص (NPV[1]) یا مصرف پروتئین خالص(NPU[2])

ارزش پروتئین خالص (NPV) به عنوان یکی دیگر از شاخص های کیفیت پروتئین غذا معرفی شده است. این شاخص از طریق تعیین همزمان افزایش نیتروژن در گروهی که جیره محتوی منبع پروتئین های مورد بررسی را دریافت می کند (۱) و دفع نیتروژن در گروهی دیگر که جیره ای مشابه اما فاقد پروتئین را دریافت می کند(۲)، اندازه گیری می شود.

[1] Net protein value
[2] Net protein utilisation

ارزش پروتئین خالص از فرمول ذیل قابل محاسبه است :

$$\mathbf{NPV} = \frac{\text{تلفات نیتروژن (۲)} - \text{پروتئین دریافتی(۱)}}{\text{پروتئین های جذب شده (۱)}} \times ۱۰۰$$

با این شرط که این عوامل مربوط به گروههایی باشند که در مورد آنها توضیح داده شد. با استفاده از یک رابطه ساده می توان ارتباط بین ارزش پروتئین خالص (NPV)، ارزش بیولوژیک (BV) و قابلیت هضم مواد نیتروژنی را نشان داد.

$$NPV = BV \times ADC . N$$

همانند ارزش بیولوژیک ارزش پروتئین خالص نیز نسبت به محتوای پروتئین غذا تغییر می کند(۶b-۶)، با ثابت در نظر گرفتن ADC . N می توان این فرمول ساده را اثبات نمود که دو شاخص را بهم مربوط میسازد (فصل۴). ارزش پروتئین خالص بر خلاف مفهوم واقعی ارزش بیولوژیک، مصرف مربوط به هضم و مصرف متابولیک را نشان می دهد. توجه به این نکته ضروری است که گاهی ارزش پروتئین خالص با ارزش بیولوژیک اشتباه می شود گرچه اغلب ارزش بیولوژیک در مفهوم گسترده ای استفاده می شود (برخلاف عقیده توماس).

امروزه شاخص های ارزش بیولوژیک و ارزش پروتئین خالص بندرت جهت بررسی متابولیسم پروتئین در ماهی استفاده می شوند، امروزه اولویت با ضریب مصرف عملی نیتروژن (PUC[1]) تروین[2] است که طرح ساده شده ای از ارزش پروتئین خالص می باشد:

$$\mathbf{PUC} = \frac{\text{تجمع پروتئین}}{\text{مصرف پروتئین}} \times ۱۰۰$$

[1] Practical utilization coefficient
[2] Terroine Practical utilization coefficient of nitrogen

شاخص ارزش بیولوژیک که در مراجع متعددی ارائه شده است، پیشرفت چشمگیر در علم تغذیه را در پی داشته است. این شاخص از خاصیت عدم جمع پذیری برخوردار است. ارزش بیولوژیک یک مخلوط همواره معادل وزن متوسط اجزاء تشکیل دهنده آن نیست. در موارد خاص با مخلوط نمودن منابع پروتئینی با ارزش های بیولوژیک پایین می توان ارزش بیولوژیک مناسب را حاصل نمود. از نظر تجربی از این ویژگی جالب می توان در تغذیه حیوانات خشک زی و در انسان ها بخوبی استفاده کرد. هرچند این ویژگی استفاده از ارزش بیولوژیک را با مشکل مواجه ساخته اما در صورت امکان، در فرمولاسیون غذا استفاده می شود. در نتیجه آنالیزکامل پروتئین ها، این ویژگی با توجه به کمبود اسیدهای آمینه ضروری منابع مختلف و امکان تکمیل نمودن آنها به روشنی قابل تفسیر است.

٤-۳-۲-٦) شاخص های شیمیایی

شاخص های اندازه گیری کمبود یک یا چند اسید آمینه ضروری از پروتئین مورد بررسی در مقایسه با پروتئین مرجع می تواند به ارزش بیولوژیک مربوط باشد. دو نمونه از مهمترین این شاخص ها شامل شاخص شیمیایی بلاک و میشل[1] و شاخص اسید آمینه ضروری اوسر[2] است.

این دو شاخص همانند ارزش بیولوژیک دارای خاصیت عدم جمع پذیری هستند. بنابراین، از این شاخصها نمی توان در فرمول نویسی خطی استفاده کرد. به همین دلیل حداقل در مورد گونه هایی که نیازهای غذایی آنها شناخته شده است در مورد یک ارزش بیولوژیک مشخص ترجیحا نیازهای اسیدهای آمینه ضروری جایگزین نیازهای پروتئین می شود.

٥-۳-۲-٦) قابلیت دسترسی به اسیدهای آمینه

مفاهیم قابلیت هضم پروتئین و استفاده متابولیک که پیش از این در مورد آنها توضیح داده شد، معادلات مشابهی در رابطه با اسیدهای آمینه دارند. متاسفانه هنوز هم اغلب این مفاهیم با همان اصطلاح قابلیت دسترسی بیان می شوند. میزان مصرف مربوط به هضم هر اسیدآمینه مشخص، مشابه پروتئین ها قابل اندازه‌گیری است با این تفاوت که باید مقدار هر اسید آمینه ضروری تعیین شود.

---

[1] Mitchell and block´s chemical Score
[2] Oser´s Essential Amino Acid Index

نقطه ضعف این روش در رابطه با دی آمیناسیون، تبادلات متقابل و سنتز مجدد ناشی از فعالیت های فلور روده ای است. بخصوص دی آمیناسیون موجب تخمین بیش از مقدار قابل دسترس می شود. چون اندازه‌گیریها در خوک و ماکیان در مقیاس گسترده صورت می گیرد، فعالیت های ارگانیسم های روده با استفاده از فیستول هایی محدود می شود. این فیستول ها به دور قسمت انتهایی روده، جایی که بیشترین فعالیت ارگانیسم های روده در آن انجام می شود، پیچیده و فعالیت آنها را محدود می سازد. با توجه به فعالیت کم باکتری ها در ماهی، به منظور تعیین قابلیت هضم انجام چنین اقدام احتیاطی الزامی نیست.

مانند اندازه گیری قابلیت هضم پروتئین ها به منظور تعیین قابلیت هضم اسیدهای آمینه روش های آزمایشگاهی متعددی پیشنهاد شده است. این روش ها بر اساس هیدرولیز اسیدهای آمینه با کمک آنزیم هایی از قبیل پپسین و اندازه گیری بقایای اسید آمینه هیدرولیز شده پس از تقطیر استوار است. این روش بنا به دلایلی مورد انتقاد قرار گرفته است از قبیل: فعالیت پپسین نسبت به آنزیم های تجزیه کننده پروتئین حیوانی، پیچیدگی کمتری دارد و فرایند جذب نیز در نظر گرفته نمی شود. گرچه این روش ها سریعند اما بندرت در مورد ماهی ها استفاده می شوند. بنابراین گاهی قابلیت دسترسی به یک اسید آمینه خاص در محیط بیرون از آزمایشگاه تعیین می شود.

روش کارپنتر از جمله روش هایی است که در خارج از محیط آزمایشگاه قابلیت دسترسی اسید آمینه لایزین در هر منبع پروتئینی را مستقل از سرنوشت آن تعیین می کند.

معمولا روش هایی که به این صورت قابلیت دسترسی اسیدهای آمینه ضروری را تعیین می کنند، هر بار فقط برای تعیین یک اسید آمینه ضروری استفاده می شوند و این اسید آمینه به عنوان عامل محدود کننده در جیره غذایی محسوب می شود. اندازه گیری پاسخ در سطح اسید آمینه آزاد در بافت ها، خون یا بیشتر مواقع در عضله با معیاری انجام میشود که نشان دهنده رشد حیوان باشد. در هر حالت چندین جیره غذایی بایستی استفاده شود که یکی از آنها با مقادیر رو به افزایش اسیدهای آمینه ضروری مورد مطالعه غنی می‌شود. این اسید آمینه به شکل خالص (با فرض اینکه قابلیت دسترسی آن ۱۰۰ درصد است) یا از طریق یک منبع پروتئینی مورد آزمایش به جیره غذایی اضافه می شود. اگر پاسخ های کسب شده در مورد اسید آمینه خالص، P و منبع پروتئین مورد آزمایش، T باشد، قابلیت دسترسی برابر با نسبت T/P خواهد بود. در حال حاضر هیچ کدام از این روش ها در مورد ماهی ها مورد استفاده قرار نمی گیرند.

٤-۲-٦) کل نیازهای پروتئینی

۱-٤-۲-٦) نیازهای عمومی ماهی

نیازهای پروتئینی ماهی در مقایسه با مهره دارن عالی، بسیار بالاست(جدول C1، ضمیمه C). طی چند هفته اول زندگی ماهی ها یعنی مراحلی که بیشترین تقاضای پروتئین وجود دارد، مقدار بهینه پروتئین جیره تقریبا دو برابر پستانداران یا پرندگان است. البته این اختلاف نسبت به کل نیازها در نظر گرفته می شود. نیازهای نگهداری در ماهی بسیار کمتر از پستانداران است و برای ماهی ۳۲۰ میلی گرم پروتئین بر ۰/۷۵(کیلوگرم) در روز[1] در مقابل ۶۲۵ میلی گرم پروتئین بر ۰/۷۵ (کیلوگرم) در روز در پستانداران است. نیازهای رشد یا به عبارت دیگر مقدار پروتئین غذایی که بالاتر از نیازهای نگهداری بوده و برای ساخت یک گرم از پروتئین بدن ضروری است، در ماهی و مهره داران عالی یکسان است. بنابراین، بالا بودن نیاز پروتئین در ماهی ها نسبی است که این موضوع بواسطه پایین بودن سطح نیازهای انرژی در ماهی بوده که خود موجب کاهش نیازهای مربوط به مواد غذایی غیر نیتروژنی و به دنبال آن افزایش مقدار بهینه پروتئین جیره می شود نیز قابل توجیه می باشد.

۲-٤-۲-٦) نیازهای مولدین

این نیازها بندرت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. با این وجود، این نیازها برابر با مقدار پروتئینی است که تضمین کننده رشدکافی بوده و نیز امکان سنتز مواد تولید مثلی در مولدین را فراهم کند. کمبود این نیازها موجب به تعویق افتادن بلوغ جنسی مولدین ماده می شود. هر چند حداقل در مورد تیلاپیای نیل این کمبود فقط باعث کندی رشد می شود و به عبارت دیگر، پروتئین مصرفی در محتوای پروتئین یا اسید آمینه اووسیت ها تاثیری ندارد.

۳-٤-۲-٦) اثر عوامل زیستی

گرچه کل نیازهای پروتئینی در بین گونه های مختلف ماهی متفاوت است اما مسلما تفاوت واقعی کمتر از تفاوت بدست آمده از طریق روش های مختلف اندازه گیری است.

---

[1] Mg protein . kg $^{-0/75}$ day^{-1}

با این وجود، روشن است که اختلافات زیادی برای مثال بین کفال با نیازهای پایین و آزاد ماهی و بخصوص ماهی کفشک با نیازهای فوق العاده بالا وجود دارد. این قبیل اختلافات بین گونه ای را که در سایر رده های مهره داران نیز وجود دارد، بسختی می توان توجیه نمود. معمولا این تفاوت ها ناشی از اختلاف در ویژگی های متابولیک و سایر خصوصیات فیزیولوژیک (از قبیل فعالیت، متابولیسم انرژی زا و غیره) است و بطور موقت می توان این اختلافات را به رژیم غذایی طبیعی ماهی مربوط دانست به این صورت که گونه های گوشتخوار نیازهای پروتئینی بالاتری نسبت به گونه های علفخوار دارند. گرچه این فرضیه بارها تجدید نظر شده اما هیچگاه در مورد ماهی ها به اثبات نرسیده است. از بین سایر عواملی که احتمالا نیازهای یک گونه را تحت تاثیر قرار می دهند می توان به توارث ژنتیکی اشاره کرد. در حیوانات اهلی که اصلاح ژنتیکی موثری در جهت افزایش نرخ رشد آنها انجام شده است، نیازهای مطلق بشدت تغییر یافته اند بطوریکه مصرف در حیوانات با قدرت تولید بالا خیلی بیشتر از حیوانات اصلاح نشده است. در مقابل، اثرات اصلاح ژنتیکی برنیازهای نسبی، محدود یا حتی قابل صرف نظر کردن است. مسلما در رابطه با ماهی نیز چنین حالتی وجود دارد، اما تاکنون اصلاح ژنتیکی(به جز موارد نادر) افزایش ناچیزی در نرخ رشد را در پی داشته است.

علاوه بر توارث ژنتیکی، سن نیز به میزان قابل توجهی نرخ رشد را تحت تاثیر قرار می دهد. با افزایش سن، نرخ رشد ویژه با گذشت زمان به صورت تصاعدی کاهش می یابد. نسبت بین نیازهای رشد و نیازهای نگهداری نیز با افزایش سن کاهش می یابد و به دنبال آن کاهشی در نیازهای نسبی پروتئین بوجود می آید. برخی محققان بیان داشته اند که در ماهیانی نظیر قزل آلا، کپور یا گربه ماهی، سطح بهینه پروتئین جیره غذایی بین مرحله آلوین و یکسالگی یعنی دوره افت سریع نرخ رشد، تا حدود ۲۵ درصد کاهش می یابد. بنابراین، با افزایش سن حیوان برای مثال، بین ماهی ۱۰۰ گرمی و یک کیلوگرمی نشان دادن ارتباط بین اندازه ماهی و مقدار پروتئین بهینه دشوار است. این فقدان وابستگی نسبی، بر خلاف ویژگیهای پستانداران خشک زی و پرندگان بوده و این موضوع را می توان با فقدان مرحله بلوغ در ماهی و تداوم رشد در دوران پیری توجیه نمود.

۴-۴-۲-۶) اثر عوامل غیرزیستی

دما و شوری از مهمترین عوامل غیرزیستی مؤثر بر فیزیولوژی ماهی است. در مطالعات انجام شده پیرامون گونه های یوری هالین مانند قزل آلا و تیلاپیا مشخص نشده است که شوری غیر از تاثیر جزئی و غیر مستقیم ناشی از کاهش رشد یا اشتها یا حتی تاثیر ناچیز در مصرف مربوط به هضم، چه اثری بر پروتئینهای ماهی دارد. دمای محیط اثر قابل توجهی بر نیازهای مطلق دارد اما ظاهرا نیازهای نسبی مستقل از دما هستند. به عبارت دیگر، سطوح بهینه پروتئین عملا مستقل از دمای محیط پرورش بوده و از این لحاظ اختلاف عمده ای بین ماهیان آب شیرین و شور وجود ندارد. البته در رابطه با تک تک اسیدهای آمینه ضروری باید دقت بیشتری مبذول داشت زیرا نیاز به آرژنین در آزادماهیان، تحت تاثیر شوری قرار دارد.

۵-٤-۲-٦) اثر عوامل تغذیه‌ای

جیره غذایی از عوامل تغذیه ای است که می تواند نیازهای پروتئین را تحت تاثیر قرار دهد. از لحاظ تئوری، نیازهای مطلق یک کمیت بوده و نیازهای نسبی با فرض ثابت بودن مصرف سایر مواد غذایی، تابع معکوسی از جیره غذایی داده شده می باشد. البته قضیه به این صورت نیست و رابطه حقیقی بین نیازهای نسبی و جیره، بسیار پیچیده است. با این وجود، در مورد قزل آلای رنگین کمان و خال قرمز، در صورت استفاده از جیره غذایی غنی از پروتئین می توان در مصرف غذا صرفه جویی کرد. علاوه بر کیفیت جیره، عوامل دیگری نیز می توانند نیازهای پروتئین را تغییر دهند که از بین این عوامل، میزان انرژی جیره غذایی بسیار مهم است.

هنگام تغذیه ارادی، میزان انرژی جیره غذایی عمدتاً تعیین کننده میزان مصرف غذا و پروتئین طبق نسبت مشخص پروتئین به انرژی است. به عبارت دیگر، نیازهای نسبی پروتئین باید در ارتباط با انرژی بیان شوند برای مثال، به جای استفاده از وزن غذا از نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم استفاده شود(فصل۵). در حال حاضر، این روش در مورد تغذیه حیوانات خشک زی استفاده می شود و چندسالی است که برای ماهی ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۵-۲-۶) کلیات

نیازهای اسیدهای آمینه ضروری(معمولا طبق روش پاسخ بر حسب دوز مصرفی) فقط برای چندین گونه از ماهیان استخوانی، شامل دو گونه از کپور ماهیان(کپور معمولی و کپور هندی)، گربه ماهی کانالی، دوگونه از آزاد ماهیان (چینوک و چام)، مارماهی ژاپنی و تیلاپیای نیل تعیین شده است. در مورد شش گونه از ماهیان آب شیرین و لب شور یا آمفی هالین شامل قزل آلا، دو گونه از آزاد ماهیان (کوهو و ساکای) ،خامه ماهی، تیلاپای موزامبیک، باس دریایی آمریکایی دورگه و سه گونه دریایی شامل شانک دریایی، باس کانالی و باس دریایی، اطلاعات محدودی حاصل شده است. شایان ذکر است که بدون هماهنگ نمودن روش ها،اغلب بواسطه پاره ای ابهامات، مقادیر حاصله ارزش خود را از دست می دهند.

نیازهای اسیدهای آمینه ضروری که بر حسب گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن بیان می گردد، برای گونه های مختلف تقریبا یکسان است و نیز مشابه نیازهای مهره داران عالی می‌باشد که دفع کننده اوره نیستند. تنها اختلاف موجود بین ماهی ها و مهره داران دفع کننده اوره نیز مربوط به آرژنین است که در چرخه اوره تولید می شود. همانطور که پیش از این شرح داده شد، این نیازها به میزان قابل توجهی به پروفیل اسید آمینه پروتئین لاشه وابسته اند(جدول۴-۶). از سوی دیگر، سهم اسیدهای آمینه ضروری را نیز نباید نادیده گرفت. ذخیره پروتئین نسبت به مصرف میزان مشخصی از اسیدهای آمینه ضروری در حد بهینه است که نسبت اسیدهای آمینه غیر ضروری نزدیک به ۵۰ درصد باشد. معمولا این نسبت در جیره های غنی از پروتئین های حیوانی برقرار است.

در رابطه با برخی پیش سازهای اسیدهای آمینه ضروری که مولکول های فعال بیولوژیک هستند، با استفاده از شرایط فیزیولوژیک ویژه ای می توان نیازهای واقعی را کاملا متفاوت از آنچه که از طریق پروفیل اسیدهای آمینه بدن برآورد شده، ارائه داد. بنابراین، در این فصل نه تنها مقادیر ضروری بلکه برخی خصوصیات متابولیکی اسیدهای آمینه ضروری مورد بررسی قرار خواهد گرفت که از این طریق می توان اختلافاتی از قبیل تنوع گونه ای و اختلافات بین گونه ای را توجیه نمود.

جدول ٤-٦) ترکیب اسیدهای آمینه ضروری کل پروتئین های موجـود در تخـم، عضـله و لاشه گونه های مختلف (به صورت متوسط و ضریب تنوع (٪)) بر حسب گرم بر ١٦ گـرم نیتـروژن کـه بـا نیازهای نسبی (حداقل و حداکثر نیازها) بر حسب گرم بر ١٦ گرم نیتروژن مقایسه شده است)

نیازها	لاشه	عضله	تخم	اسید آمینه
٢/٢-٦/٠	٦ (١٦/٥)	٦/٣ (٩/٢)	٦/١ (١٩/٤)	آرژنین
٠/٩-٢/٧	٢/٤ (٢٦/٨)	٢/٧ (٢٤/٠)	٢/٦ (١٨/٤)	هیستیدین
١/٢-٤/٤	٤/٣ (٢٢/٦)	٦/٣ (١٦/٣)	٥/٧ (٢٢/٨)	ایزولوسین
٢/٧-٨/٤	٧/٣ (٩/٩)	٨/٦ (٨/٣)	٨/٩ (١٣/٤)	لوسین
٣/٨-٦/٦	٧/٣ (١٢/٥)	٩/٩ (١٢/٦)	٧/٦ (١٤/٦)	لایزین
١/٣-٣/٦	٢/٧ (١٦/٤)	٣/٣ (٩/٠)	٢/٥ (٢٣/١)	متیونین
٠/٢-٦/٥	٤/١ (١١/٧)	٤/٤ (١٣/٠)	٤/٨(١٤/٤)	فنیل آلانین
٠/٦-٥/٠	٤/٣ (١٢/٩)	٥/٢ (٩/٩)	٥/٤ (١٤/٨)	ترئونین
٠/٢-١/١	١/٠ (٢٥/٢)	١/١ (١٤/٤)	١/١ (٢٦/٦)	تریپتوفان
٠/٦-٥/٥	٤/٧ (١١/٨)	٦/٧ (١٦/٧)	٦/٤ (١٧/٦)	والین

٢-٥-٢-٦) نیازهای کمی ماهیان در حال رشد

در این بخش، نیازها بر حسب درصد پروتئین که به معنی گـرم بـر ۱۶ گـرم نیتـروژن اسـت، بیـان خواهنـد شد(جدول C2 ، ضمیمه C).

آرژنین

همانطور که قبلا به آن اشاره شد ، آرژنین جز در برخی گونه ها که چرخه اوره در بدن آنها فعال اسـت، از اسید های آمینه ضروری در ماهیان محسوب می شود. نیاز به این اسـید آمینـه بـین۲ تـا ۶ گـرم بـر ۱۶ گـرم نیتروژن برآورد شده است. تفاوت در گونه های مختلف بین ۲ تا ۶ گرم براساس قابلیت آنها در تولید اوره است ازینرو، احتمالاً شوری و افزایش آمونیاک محیط سنتز اوره را افـزایش مـی دهنـد(بـه منظـور تنظـیم اسمزی).

در پرندگان کوچک و موش ها بین لایزین و آرژنین رابطه آنتاگونیستی وجود دارد بطوریکه افزایش لایزین در بدن، افزایش تجزیه آرژنین و متعاقب آن، افزایش نیازهای آرژنین را به دنبال دارد. چنین رابطه‌ای در قزل آلا یا گربه ماهی کانالی به اثبات نرسیده و تنها تاثیر منفی آرژنین در جذب روده ای لایزین در قزل آلاست.

آرژنین در یک سیر متابولیک توسط آرژیناز به اوره تبدیل می شود. غلظت اوره در پلاسما ارتباط کم و بیش مستقیمی با نوع گونه و ورود آرژنین از طریق غذا دارد. میزان اوره پلاسما برای تعیین نیازهای آرژنین در قزل آلا و باس دریایی به صورت موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است. کریتین یک ترکیب غنی از انرژی است که ATP را در عضله احیا می کند و آرژنین همچنین برای سنتز کریتین نیز مورد استفاده قرار می گیرد. این مولکول در سخت پوستان نسبت به مهره داران از اهمیت زیادی برخوردار است و موجب ترشح انسولین و افزایش ترشح هورمون رشد می شود. آرژنین در سنتز پلی آمین ها نیز شرکت می کند. پلی آمین ها مولکول هایی هستند که در تنظیم رشد دخالت دارند. آرژنین پیش ساز تولید اکسید نیترو است که ترکیب حد واسط مهمی در عملکردهای سلولی و ارتباطات بین آنها می باشد که این نقش اخیرا در مهره داران عالی نیز به اثبات رسیده است. وجود چنین مولکولی با اثرات چند جانبه در پستانداران به اثبات رسیده است اما در ماهی ها بر پایه علم و دانش امروز هنوز تایید نشده است.

لایزین

نیاز به این اسید آمینه بین ۳/۸ تا ۶/۶ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. در مهره داران عالی با در نظر گرفتن اثر بازدارندگی آرژنین بر جذب لایزین، در صورت وجود آرژنین اضافی در جیره، این مقادیر افزایش خواهند یافت. چنین اطلاعاتی در رابطه با ماهی ها در دسترس نمی باشد (نیازهای لایزین در ماهی بررسی نشده است). لایزین به عنوان پیش ساز کارنیتین عمل می کند(فصل۹) ولی این واکنش از طریق پپتیدهای حاصل از کاتابولیسم پروتئین صورت می گیرد نه از لایزین آزاد. کمبود لایزین در ماهیان آب شیرین(قزل آلا و کپور) باعث خوردگی باله دمی می شود، در باس دریایی و خامه ماهی ، علائم کمبود لایزین مشاهده نشده است.

هیستیدین

نیاز به هیستیدین بین ۲/۷ تا ۹ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن متغیر است. همواره غلظت هیستیدین آزاد در عضله بالاست. هسته های ایمیدازول در عضلات به عنوان نوعی بافر عمل می کنند. این اسید آمینه در ساختار سوم پروتئین ها نقش مهمی بر عهده دارد و قادر به اتصال به یون های متابولیک خواهد بود. از اینرو معمولا در بخش های فعال آنزیم جایی که فلزات به عنوان کوآنزیم عمل می کنند، یافت میشود.

ترئونین

نیاز به ترئونین بین ۰/۶ تا ۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. ایجاد گلایزین از ترئونین که بواسطه فعالیت آنزیم آلدولاز ترئونین ایجاد می شود، هنوز در قزل آلا شناسایی نشده است. این در حالی است که ۸۰ درصد اکسیداسیدن ترئونین در خوک توسط این آنزیم انجام می شود اما در سایر مسیرهای متابولیک کاملا مشابه سایر آمینواسیدهاست.

تریپتوفان

میزان احتیاجات به تریپتوفان بین ۰/۲ تا ۱/۱ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن متغیر است. این اسید آمینه پیش ساز هورمون عصبی سروتونین است. در مقایسه با مهره داران عالی ، ماهی قادر به تبدیل تریپتوفان به نیاسین نیست. کمبود تریپتوفان منجر به اسکولیوزیس[1]، لوردوزیس[2] و رسوب غیرعادی کلسیم در کلیه های قزل‌آلا و ماهی آزاد ساکای می شود. علائم ناشی از کمبود تریپتوفان در گربه ماهی یا کپور مشاهده نشده است.

اسیدهای آمینه شاخه دار: ایزولوسین، لوسین و والین

میزان احتیاجات به اسید آمینه ایزولوسین، لوسیون و والین بترتیب ۱/۲ تا ۴/۴ ، ۲/۷ تا ۸/۴ و ۰/۶ تا ۵/۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است.این سه اسید آمینه از لحاظ فرمولی خیلی بهم شبیه هستند و با مکانیسمهای انتقالی رابطه آنتاگونیستی با هم دارند.

---

[1] Scoliosis
[2] Lordosis

اسید آمینه لوسین در غلظت بالا موجب جلوگیری از جذب ایزولوسین در روده یا حتی تسهیل کاتابولیسم آن می شود. مشابه مهره داران عالی، کمبود لوسین در جیره غذایی ماهی آزاد و گربه ماهی باعث افزایش غلظت ایزولوسین و والین در پلاسما می شود. این پدیده با استفاده از اسیدهای آمینه خالص سازی شده به اثبات رسیده در حالیکه در جیره های طبیعی قطعاً میزان قابل توجهی از اسیدهای آمینه به شکل پپتید جذب می‌شوند. در این شرایط، رقابت کم شده و احتمالاً با ورود مقادیر اضافی لوسین از طریق غذا، نیازهای ایزولوسین و لوسین به میزان جزئی افزایش می یابد.

مشابه مهره دارن عالی، در ماهی ها نیز متابولیسم اسیدهای آمینه شاخه دار در عضلات صورت می گیرد. اکسیداسیون لوسین بویژه هنگام شنا یا بعد از تغییرات دمای محیط، در این بافت انجام می شود. فرض بر این است که این اسید آمینه در کنترل سنتز پروتئین در نشخوار کنندگان و حیوانات تک معده ای نقش مهمی بر عهده دارد اما چنین عملکردی در ماهی مشاهده نشده است.

اسیدهای آمینه گوگرددار : متیونین و سیستئین

طبق مقالات موجود، میزان احتیاجات برای متیونین ۱/۳ تا ۳/۶ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. با این وجود، میزان جذب از طریق غذا برای سیستئین و سیستین توسط محققان تعیین نشده است (در مواد حاصل از هیدرولیز فقط سیستین اندازه گیری می شود. سیستین از سیستئین تیره تر بوده و دارای یک پیوند دی سولفید قوی است، بنابراین در جدول فقط به سیستین اشاره شده است). متیونین موجب سنتز سیستئین می شود اما این واکنش برگشت پذیر نیست. تقریبا تمام واکنش ها برگشت پذیرند. به عبارت دیگر، در واقع نیاز به متیونین تنها از طریق متیونین مصرف شده از طریق غذا بر آورده می شود در حالیکه نیاز به سیستئین از طریق هریک از اسیدهای آمینه سولفوره(SAA) تامین می شود. در واقع نیازهای متیونین و نیازهای اسیدهای آمینه سولفوره باید درنظر گرفته شود که برخی محققان آن را «نیازهای متیونین در غیاب سیستین» می نامند. در قزل‌آلا امکان تبدیل متیونین به سیستئین با متوسط بازدهی ۵۰ درصد (بر حسب وزن) برآورد شده در حالیکه این مقدار درگربه ماهی مشابه مقادیری است که در مهره داران عالی اندازه‌گیری شده است.

متیونین منبع گروههای متیل است. این اسید آمینه در مراحل اولیه سنتز پروتئین نقش مهمی بعهده دارد.

بنابراین، متیونین پیش ساز کولین نیز محسوب شده(فصل۹)، همچنین برای سنتز کراتین و پلی آمین ها نیز ضروری است. سیستئین سازنده گلوتاتیون است. گلوتاتیون پپتیدی است که موجود زنده را در مقابل رادیکال های آزاد بویژه رادیکال های حاصل از پراکسید شدن لیپیدها محافظت می کند(فصل۷). کمبود متیونین موجب بروز آب مروارید ناشی از کاهش سنتز گلوتاتیون می شود. بواسطه کربوکسیلاسیون، سیستئین به تورین تبدیل و با اسیدهای صفراوی جفت می شود و از این طریق در هضم و جذب چربی ها شرکت می کند. در آبزیان این اسید آمینه غیرپروتئینی به عنوان عامل تنظیم کننده اسمزی عمل کرده و غلظت آن در پلاسما همراه با شوری افزایش می یابد.

D- متیونین در حالت طبیعی ساخته نمی شود و بر خلاف سایر اسیدهای آمینه ضروری بجز فنیل‌آلانین، لوسین، والین و تریپتوفان در برخی از مهره داران عالی ایزو مرهایی از آن توسط حیوانات تولید می شود. فرم مصنوعی DL همان کار آیی ایزومر L را دارد که به منظور تغذیه حیوانات در مقیاس صنعتی تولید نمی شود. استفاده از فرم D به تنهایی و بدون ایجاد افت در عملکرد ماهی، امکان پذیر نیست. در مقابل، آنالوگ هیدروکسی متیونین(MHA) که یک ترکیب غیر نیتروژنی مصنوعی است، به عنوان پیش ساز متیونین استفاده می شود که ظاهراً کارآیی آن در ماهی به میزان قابل ملاحظه ای کمتر از مهره داران عالی است. بر اثر مصرف متیونین فرم L یا DL، رشد قزل آلا کند می شود. امروزه به منظور صرفه جویی در مصرف اسیدهای آمینه سولفوره در تغذیه، نمی توان سولفور غیر آلی را بیشتر از تورین مورد استفاده قرار داد.

اسیدهای آمینه آروماتیک : فنیل آلانین و تیروزین

میزان نیاز به فنیل آلانین بین ۲ تا ۶/۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. بخشی از این تفاوت ها را می توان به سطوح متغیر تیروزین در غذا مربوط دانست. تیروزین یک اسید آمینه نیمه ضروری است که پیش ساز فنیل آلانین محسوب می شود. در صورت وجود تیروزین میزان مصرف فنیل آلانین تا سطح نیازهای مطلق کاهش می یابد و هیدروکسیله شدن آن به میزان جزئی صورت می گیرد. تیروزین موجب صرفه‌جویی در مصرف فنیل آلانین به میزان ۴۰ تا ۶۰ درصد می شود. اسیدهای آمینه آروماتیک موجب افزایش فعالیت هورمون ها (تیروئید و دوپامین) و رنگدانه ها (ملانین) می شوند.

۳-٦ - نیازهای مطلوب

۱-۳-٦) پروتئین کل و اسیدهای آمینه ضروری بر حسب درصد غذا

۱-۱-۳-٦) کل نیازهای پروتئینی و موازنه اسیدهای آمینه ضروری

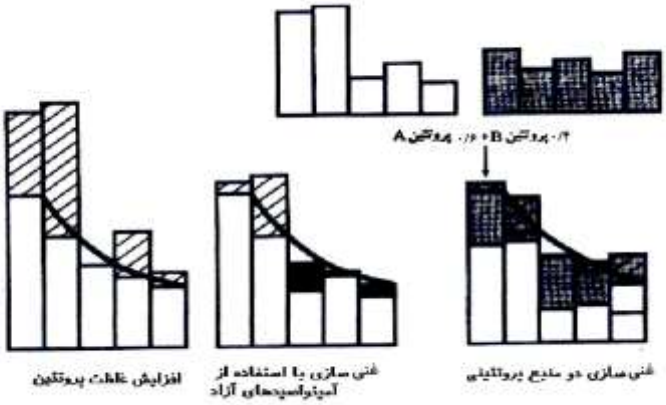
در این روش قدیمی، فرمول غذا عمدتا بر اساس تامین میزان پروتئین کل تنظیم می گردد. علاوه بر این، اسیدهای آمینه ضروری را باید از طریق تطابق با پروفیل اسیدآمینه پروتئین مرجع موازنه نمود یا به منظور تامین کمبود اسیدهای آمینه ضروری از اشکال خالص یا ترکیبی اسیدهای آمینه استفاده کرد (شکل۸-۶).
این روش معایب متعددی دارد :

- نیازهای پروتئینی کل معمولا از طریق آزمایشهایی بدست می آید که در آنها منبع پروتئین دارای ارزش بیولوژیک متفاوتی نسبت به آنچه که برای فرمولاسیون غذا بکار می رود، است. بنابراین، مطابق با منابع پروتئین های موجود فقط می توان برآوردی از نیازها را بدست آورد.
- نحوه بیان میزان اسیدهای آمینه ضروری (گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن) در برنامه نویسی خطی که طی آن تغییرات فقط بر حسب مقدار بر کیلوگرم غذا در نظر گرفته می شوند، نامناسب است.

۲-۱-۳-٦) نیازهای اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری

در مورد برخی از گونه های ماهی که نیاز به هر یک از اسیدهای آمینه ضروری حتی به صورت مختصر شناخته شده باشد، می توان نیازهای اسیدهای آمینه ضروری را مستقیما بر حسب درصد جیره بیان کرد (جدول C2 ، ضمیمه C). از نظر تئوری نیز اشاره به مقدار بهینه اسیدهای آمینه غیرضروری (نیازها در مفهوم کلی آن)، که در سطح جهانی مورد استفاده قرار می گیرند، هنگام فرمولاسیون غذا ضروری است تا از این طریق کل نیازها در جیره غذایی مد نظر قرار گیرد. از نظر کاربردی، هیچگاه تمام اسیدهای آمینه غیرضروری مورد ملاحظه قرار نمی گیرند، ولی این واقعیت را باید در نظر داشت که اگر از سویی پروتئین کل و از سوی دیگر نیاز به هر اسید آمینه ضروری محاسبه شود، اختلاف بین پروتئین کل و مجموع اسیدهای آمینه ضروری برابر با میزان اسیدهای آمینه غیر ضروری می شود.
از لحاظ تئوری، در صورتی می توان در فرمولاسیون غذای آبزیان به همان دقتی که در تامین نیازهای غذایی خوک و طیور وجود دارد، دست یافت که نیازهای اسیدهای آمینه ضروری هر گونه به طریق

مذکور تعیین شوند در حالیکه هنوز تامین نیازها از لحاظ کاربردی تقریبی است و به حدود اطمینان بسیار بالایی نیاز دارد. در رابطه با عدم تامین کل نیازها در ماهی دلایل مختلفی وجود دارد. از سویی، با توجه به تعداد زیاد گونه های پرورشی تنها نیازهای تعداد معدودی از گونه ها مورد بررسی قرار گرفته است گرچه در رابطه با نیازهای تامین شده نیز ابهاماتی وجود دارد. همچنین در زمینه برخی مشخصات جیره بخصوص محتوای انرژی آن اطلاعات کافی وجود ندارد.



شکل ۸- ٦) استفاده از سه روش شامل افزایش غلظت پروتئین، تامین اسید آمینه خالص یا ترکیبی از دو پروتئین به منظور بررسی نیازهای حیوان با استفاده از پروتئینی با ارزش بیولوژیک پایین.
منحنی هذلولی منطبق بر نیازهای ٥ اسید آمینه ضروری می باشد(فقط شامل اسیدهای آمینه ضروری که در این مثال تئوری آمده اند).اولین منبع پروتئینی در اسیدهای آمینه ۳ و ٥ کمبود دارد (به رنگ سفید). قسمت هاشور زده نشان دهنده مقادیر اضافی اسیدهای آمینه ضروری است. میزان ورود اسیدهای آمینه ضروری در شکل خالص، به رنگ سیاه و در شکل ترکیبی با پروفیل کاملا متفاوت، با رنگ خاکستری مشخص شده است.

۲-۳-٦) پروتئین کل، اسیدهای آمینه ضروری و سطح انرژی

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، مطالعه پیرامون سطح انرژی زایی که به معنی محاسبه نسبت های پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) و اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم (EAA/DE) است با پیشرفت چشمگیری همراه بوده است.

با وجودیکه نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم مدت مدیدی است که در تغذیه پرندگان و خوک سانان استفاده می شود اما هنوز در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار نگرفته و برای تغذیه آنها از شاخص سطح انرژی (DE/Kg) استفاده می شود. این شاخص تنها به عوامل تغذیه ای وابسته نیست و در گونه های خشک زی قبل از اینکه تحت حفاظت زیست محیطی قرار بگیرند بر پایه هزینه انرژی استوار بود. وجود حد کمینه برای سطح انرژی زایی منجر به انتخاب این شاخص در رابطه با تغذیه ماهی شد. در آبزی پروری (به ویژه در مورد آزادماهیان) تلاش هایی در جهت افزایش تاثیر چربی ها و صرفه جویی در مصرف پروتئین صورت گرفته است: نسبت DP/DE با افزایش چربی جیره غذایی کاهش می یابد. از اینرو تلاش در جهت فرمولاسیون غذاهایی که علاوه بر FCR پایین، آلودگی اندکی هم بهمراه داشته باشند، متخصصان تغذیه را به سمت انتخاب غذاهایی با محتوای هر چه بالاتر انرژی و در نتیجه مقادیر هر چه بیشتر چربی سوق می دهد(فصول۴ و۷). در این حالت نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم کاهش می یابد که متعاقب آن بهینه سازی موازنه اسیدهای آمینه ضروری و استفاده از منابع پروتئینی با قابلیت هضم بسیار بالا خواهد بود. نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم در غذاهای با کیفیت بالا و آلودگی ناچیز باید ثابت بماند و در مقابل، نسبت اسیدهای آمینه غیرضروری به انرژی قابل هضم(NEAA/DE) در این غذاها کم شود. همزمان با ورود مقادیر زیاد چربی سهم اسیدهای آمینه غیرضروری در تامین انرژی و منبع کربن کاهش می یابد ولی با این حال، نسبت اسیدهای آمینه ضروری به اسیدهای آمینه غیر ضروری نمی تواند بدون تاثیر در کاهش رشد خیلی از مقدار واقعی خود منحرف شود. این موضوع در رابطه با گونه هایی که استفاده از منابع چربی به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین در تغذیه آنها دشوارتر است (قزل آلا و کفشک) به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. در حال حاضر همچنان استفاده از نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم و حتی نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم در فرمولاسیون غذای ماهی ها دشوار است اما به رغم این مسئله، بسیاری از سازندگان غذا طبق این نسبت‌ها عمل می کنند.

۳-۳-٦) سایر رویکردها برای آینده

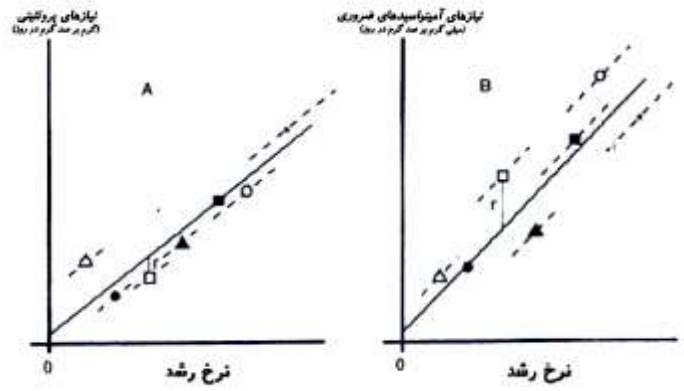
مسائل اشاره شده در قسمت قبل در رابطه با نیازهای نسبی بود در حالیکه نیازهای مطلق از لحاظ علمی از اعتبار بیشتری برخوردارند.

بنابراین، بهترین شیوه برای بیان نیازهای پروتئینی، نسبت پروتئین یا اسیدآمینه ضروری دریافتی به واحد وزن بدن است. بر اساس اطلاعات حاصل از آزمایشهای صورت گرفته پیرامون گونه های مختلف چنین بیان شد که نسبت دریافت پروتئین به واحد وزن بدن در رابطه با نرخ رشد ویژه بیان می شود، بنابراین ارتباط مطلوبی بین نیازهای مشخص شده از طریق این نسبت و نرخ رشد حاصل شده است. (Tacon and Cowey,1985) قابلیت تغییرپذیری نیازهای مطلق گونه ها متناسب با رشد پایین است بنابراین لازم است نمودارها یا جداول مشابهی را ارائه نمود که بیانگر ارتباط بین نیاز مطلق به هر اسید آمینه به نرخ رشد میباشد و این نیازها را بر حسب بیوماس بدست آورد(شکل۹-۶).

فاصله نیاز هرگونه مشخص نسبت به خط رگرسیون در نتیجه ویژگی های بخصوص آن گونه است. گرچه تفاوت های موجود در نیاز چند اسید آمینه ضروری مختلف مشخص شده ولی نمی توان مطمئن بود که این تفاوت ها ناشی از بی‌دقتی یا خطای وسایل اندازه گیری نیست و هنوز این احتمال وجود دارد که باید در قدم اول ارتباط جداگانه ای بین نیازهای مطلق و نرخ رشد در نظر گرفت. از لحاظ کاربردی نیازهای ویژه تنها مربوط به اسیدهای آمینه ضروری است که محدودکننده‌تر و پرهزینه‌تر هستند. در واقع امکان بررسی این مسئله که آیا گونه مشخصی که با جیره غذایی خاص تغذیه شده و رشد آن بطور منظم ثبت گردیده واقعا اسیدهای آمینه ضروری مورد نیاز خود را دریافت نموده است یا خیر، توسط پرورش دهنده فراهم می شود.

بهتر است در صورت امکان جداول و استاندارهای اسید آمینه خام ترکیب غذایی با مطابقت دادن اسیدهای آمینه قابل دسترس جایگزین شود. این روش بویژه در زمینه ارزیابی مطلوب‌تر اسید آمینه‌ای با کیفیت و منشأ چندگانه در دراز مدت و از نظر تئوری مزیت های زیادی بهمراه دارد.

این روش احتیاج به پاره ای اصلاحات داشته و پیش از انجام آزمون های مکرر ابتدا باید روش کار در مورد مواد اولیه با اهداف اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد، بنحوی که قابل اعتماد و سریع بوده و جهت انجام در خصوص گونه های تحت آزمایش در شرایط مختلف محیطی تایید نشود.



شکل ۹-٦) A : رابطه بین نیازها(برحسب مقادیر روزانه به ازاء هر ۱۰۰ گرم بیوماس) و نرخ رشد کلیه پروتئینها B : رابطه بین نیازها و نرخ رشد یک اسید آمینه ضروری مشخص

منحنی A براساس یافته های (Tacon and Cowey , 1985) **، نشان دهنده تناسب بسیار بالای بین دو متغیر است و هر علامت بیانگر یک گونه مشخص است. این منحنی برآورد اولیه‌ای از نیازها (نسبت پروتئین) را نسبت به ماهیانی فراهم میکند که سرعت رشد آنها به طور منظم ثبت می شود . منحنی B نشان می دهد که یک گونه ممکن است نیاز ویژه ای به اسید آمینه ای خاص داشته باشد. r نشاندهنده میانگین گونه هایی است که نیاز کمتری به پروتئین دارند اما از نیاز بالایی به اسیدهای آمینه برخوردارند که این مسئله باید در نرخ رشد آنها در نظر گرفته شود و با مربع سفید مشخص شده است.**

٤-٦ - خلاصه

گرچه سطح بهینه پروتئین در ماهی بالاست اما نباید چنین تصور کرد که ماهی نسبت به سایر حیوانات به پروتئین بیشتری نیاز دارد. زمانی که نیازهای مطلق مورد آزمایش قرار گیرند این تصور ارزش خود را از دست می دهد. ماهی دارای برخی ویژگی های متابولیک است (بخصوص در رابطه با تغییر و تحول پروتئین، سرنوشت اسید آمینه ای که از طریق کاتابولیسم یا غذا بوجود می آید و حتی نحوه دفع مواد نیتروژنی) اما ظاهراً تاثیر آنها در نیازهای اسیدهای آمینه ضروری چندان قابل توجه نیست.

ارزیابی این اثرات زمانی دشوار تر خواهد بود که در تعیین نیازها ابهام وجود داشته باشد. بهتر است در کوتاه‌مدت شیوه ای ارائه گردد که انرژی غذا و میزان ورود هر اسید آمینه ضروری (یا اسیدهای آمینه ضروری با بیشترین اهمیت) را بر حسب واحد وزن بدن محاسبه کند. در آینده نیز محاسبه قابلیت دسترسی به اسیدهای آمینه ضروری است.

«فصل ۷»

چربی‌ها

تری آسیل گلیسرولها (TAG) یا تری گلیسریدها و فسفولیپیدها (PL) مهمترین گروه از چربیها در تغذیه حیوانات هستند. تری آسیل گلیسرولها شامل تری استرهای گلیسرول و سه اسید چرب (FA) می شوند در حالیکه فسفولیپیدها حاوی استرهای دو اسید چرب و یک اسید فسفریک بوده که بوسیله یک دی استر به الکل دیگری (معمولا اتانول آمین، کولین، سرین یا اینوزیتول) متصل است. موم ها از دسته چربیها شامل استرهای یک اسید چرب و یک الکل بوده که در محیط زیست دریایی بوفور یافت می شوند. در محیط آبی استرول های آزاد یا استری شده نیز حضور داشته و نقش ویژه ای را در تغذیه سخت پوستان ایفا می کنند.

نقش چربی در تغذیه ماهی همانند پستانداران در درجه اول ، تامین نیاز های اسید های چرب ضروری (EFA) است و چون توسط ماهی ساخته نمی شود، بسیار حیاتی است. چربیها در متابولیسم سلولی (برای ساخت پروستاگلاندین ها و سایر ترکیبات مشابه)، حفظ انسجام ساختار غشاء (به علت سیال بودن و خاصیت انعطاف پذیری این ترکیبات) و نیز به عنوان ناقل در جذب ویتامین های محلول در چربی و رنگدانه های کاروتنوئید از دیواره روده نقش مهمی دارند (فصل ۹ و ۱۱). چربی ها در تامین انرژی نیز نقش اساسی دارند ولی این عملکرد در ماهی ها به دلیل قابلیت هضم کم هیدراتهای کربن پیچیده، بارزتر است(فصل ۸).

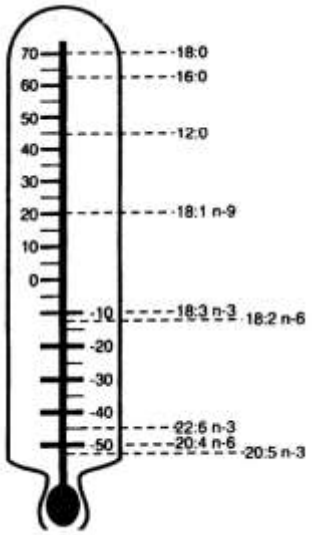
امروزه مراحل اصلی متابولیسم چربی در ماهی ها شناخته شده است و پرواضح است که شباهت زیادی با پستانداران دارند، اما منابع غذائی حاوی چربی در ماهی ها از بسیاری جهات متفاوت از مهره داران عالی

است. محیط زیست آبزیان بواسطه غنی بودن از نظر اسید چرب غیر اشباع (PUFA) و بویژه اسید های چرب غیر اشباع زنجیره طولانی (۲۰ اتم کربن یا بیشتر) یا اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع (HUFA) از سایر محیطها قابل تمایزند. ماهی بر خلاف مهره‌داران عالی خشک زی، به اسید های چرب غیر اشباع سری ۳ − n نیاز بیشتری دارد. به منظور بهبود در تولید محصول همراه با حفظ محیط زیست ، مطالعات زیادی در مورد نیاز های کمّی چربی جیره غذائی ماهی صورت گرفته است. کیفیت محصول نیز که به شکلی قابل توجه تحت‌تاثیرچربی جیره است، بعد ها مورد توجه قرار گرفت.

در این فصل پیش از تشریح مراحل اصلی متابولیسم چربی در ماهی، در رابطه با نیاز به اسیدهای چرب ضروری و نقش چربی ها در تامین انرژی و به دنبال آن اثرات چربی های جیره غذایی بر ترکیب بدن و کیفیت محصول توضیح داده می شود.

۱-۷ - قابلیت هضم پذیری

چربیها معمولا به طور کامل هضم می شوند، مگر زمانی که در دمای مناسب برای زیست ماهی به علت نقطه ذوب بالا، این ترکیبات به صورت جامد باقی بمانند (فصل ۴). بنابراین هیدروژنه کردن روغن ها، اگر چه مقاو مت آنها را در مقابل اکسیداسیون بهبود می بخشد، ولی قابلیت هضم آنها را کاهش می دهد. همان طور که در شکل ۱-۷ نشان داده شده است، نقطه ذوب تری آسیل گلیسیرید عمدتا به نقطه ذوب اسیدهای چرب تشکیل دهنده آن بستگی دارد. اسیدهای چرب غیراشباع بخوبی هضم می شوند. در آزاد ماهی اطلس، ضریب هضم پذیری ظاهری چربی زمانیکه به شکل تری آسیل گلیسرول ها یا اسیدهای چرب آزاد هستند، ۹۰ تا ۹۸ است. میزان هضم اسید های چرب اشباع، کمتر بوده و بسته به طول زنجیره کربن از ۷۰ درصد برای مریستات (۰: ۱۴) تا ۵۰ درصد برای استئارات (۰ : ۱۸) کاهش می یابد (به کادر ۱- ۷ مراجعه شود). نتایج مشابهی در مورد سایر گونه ها نظیر قزل آلا و کپور حاصل شده است.



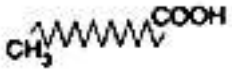
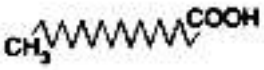
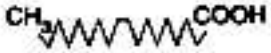
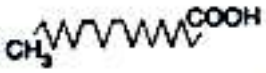
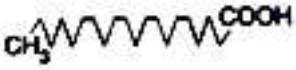
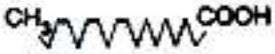
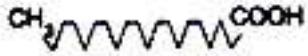
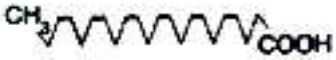
شکل ۱-۷) مقایسه نقطه ذوب برخی اسیدهای چرب

در رابطه با اختلاف قابلیت هضم چربیها در بین گونه ها مطالعات کمی صورت گرفته است. اما نتایج نشان داده که استفاده از غذای حاوی بیش از ۱۵ درصد چربی جهت تغذیه ماهی کفشک، باعث کاهش قابلیت هضم ظاهری و نرخ رشد می شود درحالیکه جیره حاوی بیش از ۳۰ درصد چربی، بازدهی مطلوب هضم آن را در مورد قزل آلا یا آزاد ماهی اطلس درپی‌دارد.

کادر ۱-۷) اسیدهای چرب مهم موجود در چربی های ماهی

در مطالعات قدیمی اصطلاح ˚n-a ˚ یا امگا (ωa)، تعداد پیوند های دوگانه و موقعیت نزدیکترین پیوند به گروه متیل انتهایی را نشان می دهد.

بدین ترتیب، از نظر متخصصان تغذیه، واژه اختصاری لینولئیک اسید به صورت (۶ – n) ۲ : C۱۸ یا ۶–n ۲ : ۱۸ (در گذشته ω6 ۲: ۱۸)، این اسید دارای ۱۸ اتم کربن و دو پیوند دوگانه بوده که اولین پیوند بین کربن ۶ و ۷ از سمت گروه متیل قرار دارد . توجه به این نکته ضروری است که زیست بیوشیمیست ها موقعیت پیوند های دوگانه را مشخص می کنند و علائم اختصاری بیوشیمی به صورت ۱۲ و Δ9 ، ۲ : ۱۸ خواهد بود.

نامگذاری		فرمول	سری
نام علمی یا رایج	اختصار		
پالمیتیک اسید (palmitic acid)	16:0		اشباع شده
استئاریک اسید (stearic acid)	18:0		
اولئیک اسید (oleic acid)	18:1(n-9)		(n-9)
لینولئیک اسید (linoleic acid)	18:2(n-6)		(n-6)
آراشیدونیک اسید (arachidonic acid)	20:4(n-6)		
لینولنیک اسید (linolenic acid)	18:3(n-3)		(n-3)
ایکوزاپنتانوئیک اسید (eicosapentanoic acid (EPA))	20:5(n-3)		
دیکوزاهگزانوئیک (docosahexanoic acid (DHA))	22:6(n-3)		

۱- ۱- ۷) انتقال

اسید های چرب جذب شده مجدداً در انتروسیت استری شده و به تری آسیل گلیسیریدها و فسفولیپیدها تبدیل می شوند. در انتروسیت ذرات بزرگ چربی وجود دارند که به چربی های گسترده[1] معروفند و از اشکال ذخیره موقت چربی ها در ماهی ها محسوب می شوند. چربی هایی که مجددا در ماهی ها سنتز می‌شوند، به داخل ذرات لیپوپروتئینی مشابه کیلومیکرونهای پستانداران و با چگالی بسیار پایین (VLPL) گنجانده می شوند. اندازه این ذرات به ماهیت چربی جیره غذایی بستگی دارد. ظهورکیلومیکرونها که عمدتا شامل تری آسیل گلیسرول ها (۸۰ درصد) است ۲ تا ۴ ساعت پس از یک وعده غذایی در قزل آلا مشاهده شده است. انتقال لیپوپروتئین ها به کبد بیشتر از طریق سیستم لنفاوی صورت می گیرد، اما در برخی گونه ها (نظیر کپور و قزل آلا) انتقال از طریق سیستم ورودی کبد نیز انجام می شود. اسید چرب جذب شده از طریق سیستم گردش خون نیز به صورت اتصال با آلبومین منتقل می شود که ظاهراً این حالت در موارد خاصی رخ میدهد از جمله هنگام تغذیه مجدد پس از گرسنگی و زمانی که غلظت گلیسرول خون پایین است. چربی های منتقل شده به کبد و نیز چربی هایی که مجدداً سنتز می شوند با پروتئین های خاص، آپوپروتئین ها[2] و کلسترول های آزاد ترکیب شده و به شکل لیپوپروتئینهای جدید، استر می شوند. در ماهی ها نیز همانند پستانداران، انتقال چربی از کبد به سایر بافت ها بوسیله سه دسته از لیپوپروتئینهای پلاسما شامل VLDL (لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی)، LDL (لیپوپروتئینهای کم چگالی) و HDL (لیپوپروتئینهای پر چگالی) صورت می گیرد. ساختار و ماهیت آپوپروتئین ها در ماهی ها و نیز ترکیب چربی این دسته از لیپوپروتئین ها مشابه پستانداران است. حضور آپوپروتئین هایی مشابه با آپوپروتئین های A در لیپوپروتئین های پرچگالی و B در لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی به اثبات رسیده است. این در حالی است که لیپوپروتئین های ماهی درصد خیلی بالاتری از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع را شامل می شوند. در بسیاری از گونه ها (نظیر کپور، کفشک و غیره)، لیپوپروتئین های اصلی را لیپوپروتئین های پرچگالی تشکیل می دهند از سویی، پروفیل این لیپوپروتئین ها با توجه به عادات و نحوه زندگی، گونه، سن، شرایط تغذیه ای و وضعیت چرخه تولید مثلی، متغیر است.

---

[1] Spread-out
[2] Apoprotein

به این ترتیب که در قزل‌آلای بالغ از نظر جنسی، لیپوپروتئین های پرچگالی بیشترین فراوانی را دارند (بیش از ۸۰ درصد لیپوپروتئین ها) ، این در حالی است که میزان لیپوپروتئین های کم چگالی فقط ۱۰ درصد و لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی به مقدار کمتر می رسد. بخش کوچکی از چربی ها (۵ تا ۱۰ درصد) به شکل اسیدهای چرب آزاد یا به صورت پیوند ساده با آلبومین حمل می شوند. در اکثر ماهیها، غلظت چربی پلاسما بسیار بالاست(۱/۸۵ تا ۲/۴ گرم به ازای ۱۰۰ میلی لیتر در آزاد ماهیان).

این لیپوپروتئین ها در دستگاه گردش خون در معرض هجوم آنزیم های مختلف قرار دارند، از جمله این آنزیم ها لیپوپروتئین لیپاز است که حضور آن در پلاسما و در بافت های مختلف قزل آلا (کبد، عضله قلب، تخمدان ها، بافت چربی) به اثبات رسیده است.

آنزیم لیپاز مقاوم در برابر نمک، مشابه لیپاز کبدی در پستانداران است که البته در بافت های غیر کبدی نیز وجود دارد مانند انتقال دهنده آسیل- کلسترول –لایزین که فعالیت بالایی در پلاسما دارد. فعالیت این آنزیم ها منجر به تبدیلات داخل عروقی لیپوپروتئین ها می شود. گلیکومیکرون لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی و تری اسید گلیسیرید ها هیدرولیز شده و اسیدهای چرب آزاد در داخل بافت ذخیره می شوند یا برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می گیرند. هیدرولیز تری اسید گلیسرید ها همراه با تغییراتی در ترکیب آپوپروتئین ها بتدریج موجب تشکیل لیپوپروتئین های کم چگالی می شود. تبادل مواد سطحی (فسفولیپید، کلسترول و آپوپروتئین ها) بین لیپوپروتئین های کم چگالی و لیپوپروتئین های پرچگالی، همچنین غنی سازی لیپوپروتئین های پرچگالی با استرهای کلستروله، مشاهده شده است. به این ترتیب، فرآیند تبدیل وکاتابولیسم لیپوپروتئین ها در ماهی بسیار مشابه پستانداران است.

وتیلوژنین، دسته دیگری از لیپوپروتئین هاست که طی دوران بلوغ در ماهیان ماده وجود دارد. این ماده یک لیپوپروتئین بسیار پرچگالی است که توسط کبد ساخته شده و طی مراحل اولیه اووژنز به تخمدان منتقل می شود. وتیلوژنین از ۸۰ درصد پروتئین و ۲۰ درصد لیپید (عمدتا لیپوپروتئینها) ساخته شده و مستقیما در انتقال چربی های جیره دخالت ندارد.

۲-۱-۷) ذخیره سازی

فسفولیپیدها در غشا سلولی اندامک های سلولی تجمع می یابند و بخش ثابتی از بافت ها و بیوماس را تشکیل می دهند. معمولا چربی های ذخیره شده از نوع تری اسید گلیسریدها و گاهی موم ها هستند.

در بافت ها این چربی ها مجدداً از اسیدهای چربی ساخته میشوند که بواسطه فعالیت آنزیم لیپاز آزاد شده‌اند. در پستانداران، چربی معمولا در بافت های تخصص یافته یا بافت چربی ذخیره می شود در حالیکه در ماهی ها چربی در چندین بافت نظیر کبد ، بافت چربی احشایی و عضله یا حتی در بافت زیرپوستی ذخیره می شود. چربی ها در عضلات سفید به صورت اشکال کوچکی از بافت چربی در اطراف میومرها ذخیره می شوند، اما در عضلات قرمز، در داخل فیبرها نیز تجمع می یابند. تعیین محلهای ذخیره چربی بر حسب گونه ها و عملکردشان بسیار متغیر بوده و به صورت شاخصی برای تمایز بین دسته های مختلف ماهی ها بکار می رود. به این ترتیب، ماهیان روغنی نظیر هرینگ و ماکرل با محتوای چربی عضله بیش از ۱۰ درصد، از ماهیان سفید نظیر کاد با محتوای چربی کمتر از ۲ درصد و ذخیره قسمت اعظم چربی در کبد، متمایز می گردند (جدول ۱-۷). مابین این دو دسته، ماهیان حدواسط نظیر آزادماهیان هستند که چربی ها را در عضله (در سطوح ۲/۵ تا ۶ درصد) و در نقاط دیگری نظیر بافت چربی احشایی ذخیره می کنند. محتوای چربی ماهی با توجه به سن و وضعیت فیزیولوژیک آن تغییر می کند و بطورکلی، با افزایش سن و اندازه حیوان افزایش می یابد در حالیکه محتوای پروتئین به میزان کمی کاهش می یابد. ماهیان وحشی اقلیم های سرد یا معتدل، با تغییر فصل محتوای چربی به شکل قابل توجهی در نوسان است. احتمالاً عوامل متعدد دیگری (ژنتیکی، تغذیه ای، ترشح غدد درون ریز و زیست محیطی) مقدار ذخیره چربی را تحت تاثیر قرار می دهند که از بین این عوامل، عوامل تغذیه ای یا رژیم غذایی مهمترین نقش را بر عهده دارند. در مجموع، ماهیان پرورشی چاق تر از همجنس‌های وحشی خود هستند. هرچند،درصورت کنترل غذادهی از لحاظ کیفی وکمی،این اختلاف کمتر مشهود خواهد بود.

علاوه بر تفاوت در محل تجمع چربی ها در ماهی و مهره داران عالی خشک زی، بین ترکیب چربی آنها نیز از لحاظ فسفولیپیدهای غشایی یا انتقالی و از نظر ذخائر چربی های خنثی (تری‌آسیل گلیسیرول ها و موم ها) تفاوت قابل توجهی وجود دارد. چربی پستانداران و پرندگان عمدتا از اسیدهای چرب اشباع یا دارای یک پیوند غیر اشباع تشکیل شده اما ماهی همواره دارای درصد بالایی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع است. در ماهی ها بخصوص گونه های سردآبی، اسیدهای چرب سری ۳- n فراوان ترند و همانگونه که در مقدمه به آن اشاره شد، این پدیده مربوط به حفظ ویژگی انعطاف پذیری غشاء در دماهای پایین است.

جدول ۱-۷) محتوای چربی عضله و کبد گونه های مختلف (بر حسب درصد وزن تر)
(Coway & Sargent,1972,Henderson & Tocher,1987)

گونه	عضله	کبد
هاداک	۰/۳	۵۰-۷۵
کاد	۰/٤	۵۰-۷۵
ماهی تن	٤	٤-۲۸
هالیبوت	۵	٤-۲۸
آیو	۱-۵/٤	۳-۹
ماهی آزاد اقیانوس اطلس	٤-۱۰	۱۰
آزاد کوهو	۲/۵-٤/٦	٤-٦
قزل آلا	۲/۵-۵/۷	۳/۵-٦
کپور	۱/۵-۱۲/۵	٤/۸-۸/۸
ماکرل	۱۳	۸
هرینگ	۱۱	۲
مارماهی	۲۲	-

۳-۱-۷) استفاده از ذخائر چربی

در پستانداران چگونگی استفاده از چربی ها به هورمون وابسته به لیپاز تری آسیل گلیسیرول بستگی داردکه تری آسیل گلیسیرول را هیدرولیز می کند. پس از هیدرولیز، اسیدهای چرب آزاد موجود در دستگاه گردش خون عمدتا در میتوکندری و پراکسی زوم ها اکسید شده و منجر به تولید انرژی از طریق بتا اکسیداسیون می گردند(فصل ۵). اطلاعات مربوط به استفاده از چربی در ماهی ناقص بوده و مورد بحث و اختلاف نظر است. هرچند حضور لیپاز تری آسیل گلیسیرول در کبد و بافت چربی قزل آلا به روشنی ثابت نشده است. این آنزیم در سیتوزول بوده و pH مناسب برای فعالیت آن ۶/۵ تا ۷/۵ است که مشابه pH مطلوب برای لیپاز موجود در پستانداران است. مطالعات اخیر نشان داده که این آنزیم از طریق فرآیند فسفوریلاسیون وابسته به AMP حلقه ای، فعال می شود. اطلاعات مربوط به تنظیم هورمونی این آنزیم محدود بوده و با توجه به بافت موردمطالعه، متفاوت است.

بنابراین ، ظاهراً لیپاز تری آسیل گلیسیرول کبدی بوسیله گلیکاگون و کتکولامین ها تحریک می شود، اما در رابطه با لیپاز تری آسیل گلیسیرول موجود در بافت چربی (در صورت وجود) جز فعالیت هورمون تیروئید، تاثیر هورمونی آشکاری در آن وجود ندارد. یک لیپاز اسیدی (pH مناسب بین ۴ تا ۴/۵) در لیزوزوم عضلات قرمز قزل آلا یافت شده که عملکرد آن هنوز شناخته شده نیست اما این آنزیم می تواند در زمینه تجزیه چربی های مرده درون سلولی فعالیت کند.

در چرخه های بیولوژیک ماهی، مراحلی نظیر دوره های گرسنگی در فصل زمستان و مرحله توسعه گنادی قابل مشاهده‌اند که طی آنها چربی های ذخیره شده به میزان زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. در گونه های آنادروموس، بلوغ گنادها، هنگام مهاجرت و طی دوره گرسنگی رخ می دهد. در تمامی موارد، ابتدا تری آسیل گلیسیرول های تجمع یافته در محل های ذخیره (ابتدا از ذخیره امعاء و احشاء و سپس عضلات) برای تامین انرژی (در حالت گرسنگی و مهاجرت) و تشکیل گنادها مورد استفاده قرار می گیرند. مطالعات مختلف نشان دهنده اهمیت ذخائر چربی به منظور تولید مثل است بنابراین، در قزل‌آلا وجود یک دوره اجباری گرسنگی قبل از توسعه گنادی منجر به کاهش باروری شده که در نتیجه فقدان ذخائر کافی چربی هنگام توسعه گنادها (تولید تخم) می باشد.

۲-۷ - نیازهای اسید های چرب ضروری

۱-۲-۷) سنتز داخلی و تبدیل زیستی اسیدهای چرب

سنتز اسیدهای چرب در ماهی ها عمدتا توسط کمپلکس سازنده اسید چرب در کبد صورت می گیرد. این کمپلکس آنزیمی شباهت زیادی (از نظر توده مولکولی و خصوصیات حرکتی) با پستانداران دارد. از جمله اسیدهای چرب مهمی که ساخته می شوند شامل پالمیتات (۰ : ۱۶)، استئارات (۰ : ۱۸) و میریستات (۰ : ۱۴) می باشند که با توجه به نوع گونه با نسبت های متفاوتی وجود دارند. برای مثال در قزل آلا، اسید چرب غالب پالمیتات (۰ : ۱۶) (به مقدار ۵۷ درصد) و پس از آن میریستات (۰ : ۱۴) (به مقدار ۲۹ درصد) است ، اما در کپور این دو اسید چرب به نسبتهای مشابه (به ترتیب ۴۱٪ و۳۷ ٪) ساخته می شوند. در مقابل، در گونه های مختلف دریایی نظیر ماهی پهن و کفشک، سنتز پالمیتات (۰: ۱۶) و استئارات (۰ : ۱۸) بیشتر ساخته می شوند.

ماهـی ها نیز همچون سایر مهره داران قادر به ساخت لینولئیک اسید (۲ : ۱۸ و ۶- n) یا لینولنیک اسیـد (۳ : ۱۸ و ۳- n) نمی باشند و این دو اسید چرب غیر اشباع یا مشتقات آنها با زنجیره طولانی (اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع) را باید در غذای ماهی گنجاند. از اینرو، این اسیدهای چرب جزء اسیدهای چرب ضروری محسوب می شوند.

اسیدهای چرب سنتز شده یا آن دسته از اسیدهای چربی که از طریق غذا تامین می شوند، قابل تبدیل به برخی اسیدهای چرب با زنجیره طولانی تر یا دارای پیوند های غیر اشباع بیشتر هستند(تبدیل زیستی). اسیدهای چرب تک غیر اشباع (پالمتیک اسید ۷- n و ۱: ۱۶ و اولئیک اسید ۹- n و ۱: ۱۸) به واسطه فعالیت غیر اشباع کننده Δ9 از اسیدهای چرب اشباع معادل ساخته می شوند. تبدیل زیستی اسیدهای چرب چند غیر اشباع به صورت افزایش طول(افزایش دو کربن) و غیراشباع کردن(افزایش یک پیوند دوگانه) است که به طور متوالی بوسیله غیراشباع کننده های Δ6، Δ5 و احتمالا Δ4 صورت می گیرد (شکل ۲-۷) . روش های غیراشباع کردن و طویل نمودن زنجیره اسیدهای چرب در ماهی کاملا شناسایی نشده است. از سویی، غیراشباع‌کننده ها نیز مانند سایر آنزیم های درگیر در متابولیسم چربی، خیلی اختصاصی نیستند. این آنزیم ها با اسیدهای چربی که از سری های ۳- n به سری های ۹- n کاهش می‌یابند، میل ترکیبی دارند. بنابراین، ترکیبات ترجیحی برای غیراشباع کننده ها بترتیب اولویت به صورت Δ6 : ۹- n ۱ : ۱۸ > ۶- n ۱ : ۱۸ > ۳- n ۳ : ۱۸ می باشد. علاوه براین، اسیدهای چرب چند غیر اشباع نظیر ۳-n ۶ : ۲۲ فرآیند بازدارنده ای را به منظور عقب راندن غیراشباع کننده Δ6 اعمال میکنند. اسیدهای چرب چند غیراشباع ۹-n که حتی در ماهیان آب شیرین بندرت یافت می شود، فقط هنگام کمبود اسیدهای چرب ۶- n ، ۲: ۱۸ و ۳- n ، ۳ : ۱۸ حضور دارند. این وضعیت بیانگر کمبود اسیدهای چرب بوده و به عنوان شاخصی برای تعیین کمبود آنها بکار می‌رود. همانطور که در موش اثبات شده، غیر اشباع کننده Δ4 احتمالا یک آنزیم حقیقی نبوده بلکه گروهی از آنزیم ها شامل غیراشباع کننده Δ6 و آنزیم های طویل یا کوتاه کننده زنجیره است. این کمپلکس امکان تبدیل ۳- n ، ۵ : ۲۲ به ۳- n ، ۶ : ۲۲ را از طریق ۳- n ، ۶ : ۲۲ فراهم می کند.

در بین گونه ها، اختلافات زیادی از نظر قابلیت آنها در تبدیل اسیدهای چرب C۱۸ به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع وجود دارد، بنحویکه این قابلیت در ماهیان آب شیرین بالا بوده و در ماهیان دریایی پایین است. در مورد قابلیت تبدیل زیستی ۳- n ، ۳ : ۱۸ ارائه شده در جدول ۲-۷ ، قزل آلا به عنوان مرجع در

نظر گرفته شده و سایر قابلیت ها نسبت به قابلیت این گونـه (۱۰۰) بیـان شـده اسـت. نـاتوانی نسـبی ماهیـان دریایی در تبدیل اسیدهای چرب C ۱۸ ناشی از فقدان یا پایین بـودن سـطوح فعالیـت برخـی آنـزیم هـای درگیر در این واکنش ها بویژه غیراشباع‌کننده‌های Δ4 و Δ5 است. این اختلافات بین گونه‌ای منجر به بروز تفاوت های زیادی در نیازهای اسیدهای چرب ضروری می گردد.

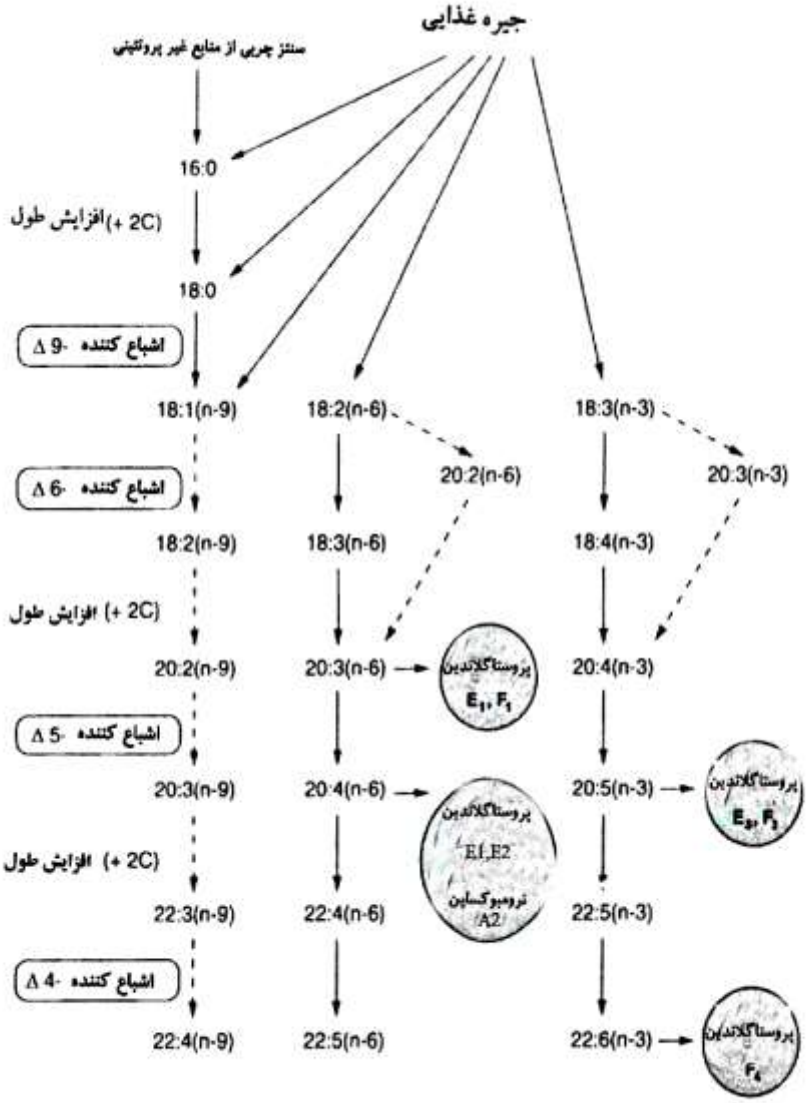
۲-۲-۷) اسیدهای چرب ضروری

۱-۲-۲-۷) نقش اسیدهای چرب ضروری

بنا به سه دلیل عمده اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز موجودات زنده هستند :

ـ نقش اصلی اسیدهای چرب ضـروری ، نقـش سـاختاری آنهاسـت.این گـروه از مـواد مغـذی از دسـته فسفولیپیدها بوده و سازنده اصلی غشاء های سلولی و لیپوپروتئین های ناقل می باشند. ترکیـب فسـفولیپیدها کمتر تغییر می کند، اما ثبات آنها به اندازه اسیدهای موجود در سـاختار پـروتئین هـا نیسـت. از اینـرو، بـر خلاف کمبود اسیدهای‌آمینه ضروری، کمبود اسیدهای چرب ضروری موجب توقـف سـنتز بافـت نشـده، اما باعث بهم‌ریختگی تری آسیل گلیسیرولها و سپس فسفولیپیدها می شود.

ـ اسیدهای چرب ضروری به عنوان ماده ای برای سنتز کل مولکول هایی با خصوصیت هورمـونی نظیـر پروستاگلندین ها و ترکیبات مشابه نظیر لوکوترین ها و ترومبوکسانها عمل می کنند. این ترکیبـات امکـان اتصال بین هورمون ها و جایگاههای سـلولی را فـراهم میکننـد کـه واکـنش هـای تنظـیم شـده توسـط ایـن هورمون ها در آن صورت می گیردو نیز وظایف متعـددی بـر عهـده داشـته و در سیسـتم عصـبی، دسـتگاه گردش خون، دستگاه گوارش، اندام های تولید مثلی، کلیه و غیره تاثیر مـی گذارنـد. بـارزترین نقـش ایـن ترکیبات در ماهی، دخالت در تولیـد مثـل (از طریـق القـاء تخمـک گـذاری)، دفـع مـواد زائـد از کلیـه و آبششها و تنظیم اسمزی است. پروستاگلاندین های اصلی شامل PG1, PG2 هستند که از اسیدهای چـرب ۶- n مشتق می شوند، البته پروستاگلندین های دیگری نیز وجود دارند که از اسیدهای چرب ۳- n حاصـل می‌شوند (شکل ۲-۷). این پروستاگلندین ها اغلب اثرات متفاوتی داشـته و سـنتز آنهـا تحـت تـاثیر تعـادل مواد انرژی زاست. مقدار اسیدهای چرب ضروری که توسط موجود زنده به منظـور سـنتز پروسـتاگلاندین متابولیسم می شود در مقایسه با اسیدهای چرب ضروری موجود در ساختمان فسفولیپیدها، پایین است.



شکل ۲-۷) نمایی از مسیر های اصلی تبدیل زیستی اسیدهای چرب و پروستوگلندین ها
(Bell *et al.*,1986). ـــــ : مسیرهای اصلی ، - - - - مسیرهای فرعی (تبدیل زیستی اسیدهای چرب سری ۹- n در ماهیان آب شیرین انجام میشود که اسیدهای چرب در آنها به اندازه کافی وجود ندارد)

جدول ۲-۷) قابلیت تبدیل زیستی ۳- n ۳ : ۱۸ (Kanazawa *et al*.,1979)

قابلیت نسبی تبدیل زیستی	گونه ها
۱۰۰	قزل آلا
۳٦	آیو
۲۰	مارماهی
۱۵	سیم دریایی سرطلایی
۱۳	ماهی بادکنکی ژاپنی
۷	ماهی قرمز

ـ نقش سوم اسیدهای چرب ضروری که بتازگی اما به صورت ناقص کشف شده، نقش پیام‌بر ثانویه است که حداقل توسط یک اسید چرب ضروری یعنی اسید آراشیدونیک (۶- n،۴ : C۲۰) انجام می شود. این اسید چرب در حالت آزاد به عنوان یک واسطه بر کیناز های پروتئین و دوآنزیم تنظیم کننده سنتز و تجزیه AMP حلقوی، عمل کرده و از این طریق در تنظیم تکثیر پیچیده سلولی شرکت می کند.

۲-۲-۲-۷) اسیدهای چرب ضروری در ماهی

بر اساس یک طبقه بندی در سال های اخیر، اسیدهای چرب ضروری در پستانداران متعلق به سری ۶- n بوده در حالیکه در ماهی به سری ۳- n تعلق دارند. با در نظر گرفتن وظایف چندگانه اسیدهای چرب ضروری شرح داده شده در بالا، این ادعا قابل قبول نبوده و مسلماً این دو دسته از اسیدهای چرب برای ماهی و پستانداران ضروری هستند و تفاوت اساسی بین این دو رده از مهره‌داران تنها از نظر اختلاف در مقادیر مورد نیاز است. مقادیر مورد نیاز اسیدهای چرب ۶- n در پستانداران بیش از نیاز به ۳- n است. اما در ماهی، بخصوص ماهیان سردآبی که به لحاظ بافت‌های غنی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n معروفند، عکس این حالت صادق است. در مورد ماهیان گرمابی مقدار نیاز به اسیدهای چرب ضروری نسبت به این دوسری مشابه بوده و ممکن است نیاز به سری ۶- n اندکی بیشتر باشد(جدول۳.C،ضمیمه C).

ماهی ها از نظر قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع در دو گروه تقسیم بندی می شوند:

ـ آن دسته از ماهیان آب شیرین که قابلیت آنها مشابه پستانداران بوده و دو اسید چرب C۱۸ (لینولئیک و لینولنیک) تنها اسیدهای چرب ضروری هستند که حقیقتاً برای این دسته از حیوانات ضروری اند.

ـ ماهیان دریایی که نرخ تبدیل زیستی در آنها بسیار پایین بوده و اسیدهای چرب واقعا ضروری شامل اسیدهای چرب بسیار غیراشباع نظیر ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA یا ۶- n ۲۰:۵) ، دیکوزاهگزانوئیک (DHA یا ۳- n ۶ : ۲۲) و آراشیدودنیک (۶- n ۴ : ۲۰) می باشند.

این طبقه بندی صرفا بر پایه مطالعه چند گونه محدود بوده و بدون شک با اشکالاتی همراه است، زیرا مطالعات اخیر مشخص نموده که قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ در اردک ماهی که یک گونه آب شیرین است نزدیک به ماهیان دریایی است. شایان ذکر است که نیاز به یک اسید چرب بسیار غیراشباع دلیل بر از بین رفتن تمامی نقش های اسیدهای چرب C۱۸ سری های مشابه نیست. حداقل در گونه ای نظیر کفشک، لینولئیک اسید حالت ضروری داشته که علت آن داشتن قابلیت تبدیل زیستی است که امکان سنتز اسیدهای چرب بسیارغیراشباع واسطه مانند ۶- n ۲۰:۳ را فراهم میکند که پیش ساز پروستاگلاندین هاست.

۳-۲-۲-۷) کمبود اسیدهای چرب ضروری

مصرف جیره هایی که فاقد اسیدهای چرب ضروری باشند کندی رشد و کاهش بازدهی در تغذیه را بدنبال دارند. این پدیده ها در گونه های مختلف آب شیرین (نظیر قزل آلا، آزاد ماهی، مارماهی، کپور معمولی و تیلاپیا) و ماهیان دریایی (کفشک، شانک دریایی) مشاهده شده است بنحویکه پس از پایان یک دوره زمانی معین (حتی تا چند ماه)،علائم پاتولوژیک نظیر تجزیه بافت کبدی همراه با تجمع چربی، فرسایش باله، زخم های آبششی یا کاهش سطح هموگلوبین آشکار شد. در قزل آلا، کمبود اسیدهای چرب ضروری بیش از چندماه می تواند منجر به سندرم شوک همراه با عدم تحرک در پاسخ به استرس می شود. در ماهیان مولد، بروز این کمبود طی ماههای قبل از تخم ریزی، منجر به کاهش چشمگیر در تولید تخم،درصد تخم های چشم زده و نیز میزان تفریخ می شود. علاوه براین، اکثر لاروها بدشکل شده و میزان بقا کاهش می یابد.

٤-۲-۲-۷) نیازهای اسیدهای چرب ضروری و تامین این نیازها

تعیین دقیق میزان نیازهای اسیدهای چرب ضروری بسیار دشوار است. همانطورکه قبلا اشاره شد، نسبت به اسیدهای‌آمینه ضروری، شاخص های نرخ رشد وابستگی کمتری به تامین اسیدهای چرب ضروری دارند. در مقابل، ترکیب بافت با ورود اسیدهای چرب ضروری یا غیر ضروری تغییر می کند، اما وابستگی چندانی به اسیدهای‌آمینه جیره غذایی ندارد. از سویی، ترکیب چربی های بدن در رابطه با نیازها شاخصی را ایجاد می کند که کاربرد صحیح آن کار ساده ای نیست. حضور اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع n -۹ ممکن است شاخصی جهت تعیین کمبود اسیدهای چرب ضروری n -۳ در ماهیان آب شیرین باشد، ولی در مطالعات پاسخ بر اساس دوز مصرفی تری آسیل گلیسیرول بافت ها هیچ گونه اطلاعات مفیدی بدست نمی آید. در شرایط مشابه، ترکیب لیپوپروتئین ها از ثبات بیشتری برخوردارند. اما ترکیب اسیدهای چرب بسیارغیراشباع با افزایش مصرف غذا افزایش یافته و مقادیر اضافی اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ رشد را کاهش می دهند. بنابراین، میزان نیازها که با در نظر گرفتن محتوای اسیدهای چرب ضروری بافت ها تعیین می شوند، بیش از حد برآورد شده، در حالیکه مقادیری که بر اساس معیار رشد تعیین می‌شوند، کمتر از حد محاسبه می شوند. بروز برخی مشکلات هنگام عمل را نیز باید به اشکالات ناشی از تفسیر این نتایج و کاربرد آنها افزود. برای مثال، به دلیل هزینه بالا، تعیین نیازها با استفاده از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع خالص دشواراست بنابراین، معمولا ترکیبی از اسیدهای چرب یا به عبارت دقیق تر، ترکیبی از تری آسیل گلیسیرول ها یا سایر استرها مورد استفاده قرار می گیرند که تفسیر نتایج را دشوارتر می کند.

بنابراین، شناسایی نیازها با دقت کم ومطالعات اندک صورت گرفته است. میزان نیازهایی که در جدول C.۳ ارائه شده از ۰/۵ تا یک در صد جیره متغیر هستند. در نگاه اول چنین بنظر می رسد که این مقادیر در مقایسه با نیازهای حیوانات خشک زی(به استثناء مرغ تخم گذار) خیلی بالاست، ولی به جای بررسی مقادیر نیازها در مفهوم دقیق آن، باید نیازها را بر حسب درجه بزرگی آنها مورد توجه قرار داد. بر طبق داده های حاصل از مطالعات جدید، این مقادیر بیش از حد برآورد شده اند. همچنین محققان پیشنهاد نموده اند که به جای بیان نیازهای اسیدهای چرب ضروری بر اساس درصد غذا، از درصد چربی جیره غذایی استفاده شود. چون غلظت بالای چربی، نیازهای اسیدهای چرب ضروری را افزایش خواهد داد. مقادیر اسیدهای چرب ضروری n -۶ در مورد بیشتر گونه های سردابی هنوز مشخص نشده است.

به منظور تنظیم جیره ای که نیازهای اسیدهای چرب ضروری یک گونه مشخص ماهی را برآورد می کند، لازم است سری های اسیدهای چرب ضروری غالب (n -۶، n -۳) و قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ برای آن گونه شناسایی گردد. بنابراین، انتخاب چربی های جیره به ویژگیهای گونه ماهی بستگی دارد. روغن ماهی از نظر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع n-۳ نظیر ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) بسیار غنی بوده و مقدار آنها به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۲ درصد، می‌باشد. پودر ماهی نیز حاوی حدود ۱۰ درصد اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ هستند. علاوه بر این، چربی های حیوانات دریایی همواره حاوی مقادیر کمتری از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۶ هستند، گرچه این مقادیر بنوبه خود ناچیز نیست. در مقابل، روغن های گیاهی به کلی فاقد اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع بوده و بیشتر دارای اسیدهای چرب n -۶ C۱۸ : ۲ و n -۹ C۱۸ : ۱ و C۱۸ : ۰) هستند. این در حالی است که برخی از روغن ها مانند سویا یا دانه های شلغم روغنی[1] حاوی ۸ تا ۱۰ درصد C۱۸ : ۳ n -۳ می باشند.

روغن های فاقد اسیدهای چرب چند غیراشباعی n -۳ ، نظیر روغن ذرت نمی توانند نیازهای اسیدهای چرب ضروری n -۳ را در ماهیان آب شیرین برآورده سازند. هرچند می توان با گنجاندن ۱۰ درصد روغن سویا یا دانه های شلغم روغنی (که حاوی یک درصد n -۳ C۱۸ : ۳ می باشد) در جیره غذایی یا با استفاده از چهار درصد روغن ماهی در جیره این نیازها را مرتفع نمود. آزمایشها نشان داده اند که حتی در آزادماهیان اسیدهای چرب بسیار غیراشباع دو برابر اسیدهای چرب چندغیراشباع C۱۸ در رفع این نیازها موثرند. در عمل، جیره های غذایی که در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند، اغلب دارای پودر ماهی بوده و مقدار کمی از اسیدهای چرب بسیارغیراشباع به وسیله این منابع پروتئینی تامین می شود. در ماهیان دریایی، تنها گنجاندن روغن ماهی (۵ تا ۸ درصد) یا مواد دیگری با منشا دریایی (پودر ماهی یا میگو) که چربی آنها گرفته نشده، می توانند در رفع نیازها مفید باشند. جلبک های دریایی تک سلولی، تنها گیاهانی هستند که اسیدهای چرب بسیار غیراشباع را سنتز می کنند

[1] Rapeseed

بنابراین، در لارو ماهیان دریایی که با غذای زنده تغذیه می کنند، جلبک ها می توانند ایفاگر این نقش باشند (فصول۱۳و۱۴). هنگام تامین نیازهای اسیدهای چرب ضروری، چربی ها به عنوان منبع انرژی عمل نموده که می توانند از طریق سایر منابع چربی نظیر روغن های گیاهی تامین شوند.

۵-۲-۲-۷) مشکلات مربوط به تعادل اسیدهای چرب و مقادیر اضافی آنها

از نظر تئوری، ورود مقادیر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n و ۶- n به میزان حداقل نیاز مصرف کنندگان، تامین کننده تمامی احتیاجات نیست. بنابراین توازن مشخصی بین اسیدهای چرب ضروری ۳- n و ۶- n حفظ شده و قابلیت نسبی هضم اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع، حداقل در مورد سری های ۳- n مدنظر قرار گیرد. همانگونه که نتایج حاصل از مطالعات انجام شده پیرامون تری لینولئین و تری لینولنین در ماهی قزل آلا و آزاد اقیانوس آرام نشان داده اند، برقراری توازن بین اسیدهای چرب ضروری بسیار پیچیده است. این دوسری اسید چرب هنگام عدم توازن جزئی، حداقل در سطح فسفولیپید و تا حدی معین، قابل تبدیل به یکدیگرند. در صورت مشخص بودن عدم توازن، اثرات مضر آن مشاهده می گردد.در این رابطه تامین بیش از حد یک سری می تواند بر مصرف سری دیگر موثر باشد که احتمالا از سویی به دلیل رقابت بین غیر اشباع کننده ها و از سوی دیگر ناشی از سنتز پروستاگلاندین هاست. مشکل ناشی از بازدهی نسبی دو اسید چرب بسیار غیراشباع سری ۳-n احتمالا به سبب دشوار بودن تبدیل ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) به دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) می باشد. هرچند بنظر نمی رسد از نظر عملی این موضوع جز در مورد لارو ماهیان دریایی، پیامد قابل توجهی در پی داشته باشد.

مقادیر اضافی اسیدهای چرب ضروری ۳- n همچنین می توانند عواقب زیانباری بر ماهی داشته باشند. در قزل آلا، جیره های حاوی ۴ درصد ۱۸:۳ یا ۲ درصد ۲۰:۵ و ۲۰:۶ به شکل استرهای متیل که ۴ برابر مقدار نیاز واقعی ماهی هستند، رشد را کند کرده و بازدهی تغذیه را کاهش می دهند. افزایش کلی محتوای آب بدن و کوچک شدن کبد از اثرات دیگر آنها می باشد. این اثرات گاهی ناشی از تامین اسیدهای چرب ضروری به شکل استرهای متیل به جای تری آسیل گلیسیرول هاست. در کفشک، تاثیر زیانبار ناشی از مقدار بیش از حد ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) حتی در صورت تامین این ترکیبات به شکل تری آسیل گلیسیرول، مشاهده شده است.

۳-۷ - اهمیت چربی ها در جیره های ماهی

۱-۳-۷) کلیات

چربی ها علاوه بر رفع نیاز ماهی به اسیدهای چرب ضروری، تامین کننده منبع انرژی نیز می باشند.این ترکیبات بسیار پرانرژی بوده و یک گرم فسفولیپید به طور متوسط حدود ۳۳ کیلوژول (۸ کیلوکالری) و یک گرم تری آسیل گلیسیرول حدود ۴۰ کیلوژول (۹/۵ کیلوکالری) انرژی خالص تولید می کند. با فرض قابلیت هضم ۹۵ درصد چربی ها، ارزش انرژی زایی یک گرم از چربی جیره (بر حسب انرژی قابل هضم) به ترتیب ۳۷ تا ۳۸ کیلوژول بوده که این میزان تقریبا ۲/۵ برابر هیدرات‌کربن و ۱/۸ برابر پروتئین هاست.

۲-۳-۷) اثرات صرفه جویی در مصرف پروتئین و کاهش مواد دفعی

امروزه مراکز پرورش ماهی به ویژه آزادماهیان به افزایش مصرف مقدار چربی در جیره غذایی تمایل دارند و این مسئله از طریق مطالعات انجام شده پیرامون گونه های مختلف از نظر علمی توجیه شده است. به این ترتیب، در قزل آلا با افزایش مقدار چربی از ۱۴ درصد به ۲۰ درصد حتی هنگام کاهش مقدار پروتئین، رشد و بازدهی تغذیه افزایش می یابد(جدول ۳-۷). از اینرو با مصرف چربی ها می توان در مصرف پروتئین صرفه جویی نمود که این مسئله در فصول ۵ و ۶ به تفصیل شرح داده شده است. در آزاد ماهیان چنین پیش بینی می شود که با افزایش سطح چربی جیره غذایی از ۱۵ درصد به ۲۰ درصد می توان مقدار پروتئین را از ۴۸ درصد به ۳۵ درصد کاهش داد، بدون اینکه تغییری در عملکرد رشد حاصل شود. ضمن آنکه افزایش بازدهی پروتئین و همچنین مصرف بهتر انرژی را نیز بدنبال دارد. باید توجه نمود که تاثیر سودمند چربی ها در بازدهی تغذیه، در درجه اول و مهمتر از همه به سبب قابلیت انرژی زایی بالای آنهاست که علاوه بر صرفه جویی در مصرف پروتئین ها، موجب افزایش بازدهی تغذیه و در نتیجه کاهش آلودگی ناشی از آبزی پروری می شود. در حال حاضر، اطلاعات مربوط به سطح بهینه چربی جیره غذایی برخی گونه ها موجود است (دول۴-۷). اما ممکن است که این مقادیر بسرعت قدیمی شوند، بنحویکه طی دهه گذشته مقدار چربی در جیره مصرفی آزادماهیان به طور مداوم افزایش یافته و هم اکنون به بیش از ۳۰ درصد رسیده است. همچنین شایان ذکر است که نباید این استانداردها را به تنهایی بکار برد بلکه همراه با نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم اشاره شده در فصول ۵ و ۶ ، قابل استفاده اند.

جدول ۳-۷) تاثیر میزان چربی جیره بر روی بازدهی مصرف مواد غذایی در قزل آلا

جیره B غنی شده با چربی	جیره A	جیره
۲۰/۰	۱٤/۰	لیپیدها (درصد)
۳۷/۰	٤٤/۰	پروتئین ها(درصد)
۱۹/۰	۱۷/۰	انرژی قابل هضم(کیلوژول بر گرم)
۲/۲۱	۱/۹۱	رشد(درصد در روز)
۱/۱۰	۱/۳۱	شاخص مصرف
۲/٤۳	۱/۷٤	بازدهی پروتئین خام[1]
٤۱۲/۰	۵۷۵/۰	پروتئین مورد نیاز (گرم برکیلوگرم تولید)
۳۸/۷	٦۳/۵	نیتروژن دفعی (گرم برکیلوگرم تولید)

جدول٤-۷) سطح بهینه میزان چربی در جیره غذایی برخی گونه ها

محتوای چربی(درصد)	گونه ها
۲۰-۱۸	قزل آلا
<۱۸	کپور معمولی
<۱۰	تیلاپیا
۱۵-۱۲	سیم دریایی سرطلایی
۱۰	سیم دریایی ژاپنی
<۱۵	کفشک
۱۵-۱۲	باس دریایی
۱۱	ماهی دم زرد
۱۱-۷	باس کانالی
۱۸-۱۳	باس دریایی مناطق حاره ای
< ٦	ماهی بادکنکی ژاپنی
۱۰-۷	خامه ماهی
۱٤-۱۳	گروپر
۵	نوعی کفشک ماهی (sole)

[1] Crude protein efficiency

در نهایت، هرچند مقدار بهینه این نسبت ها در رابطه با قزل آلا، ماهی آزاد اقیانوس اطلس، باس‌دریایی و ماهی دم زرد مشخص شده، ولی تعمیم این نتایج به گونه هایی که هنوز چنین مطالعاتی پیرامون آنها صورت نگرفته بویژه گونه هایی مانند کفشک و برخی ماهیان همه چیز خوار آب شیرین مناطق گرمسیری که غذادهی آنها با استفاده از خوراک های محتوی سطوح بالای چربی دشوار است، قدری عجولانه بنظر می رسد.

٤-٧ - تاثیر چربی های جیره غذایی در ترکیب بدن و کیفیت ماهی

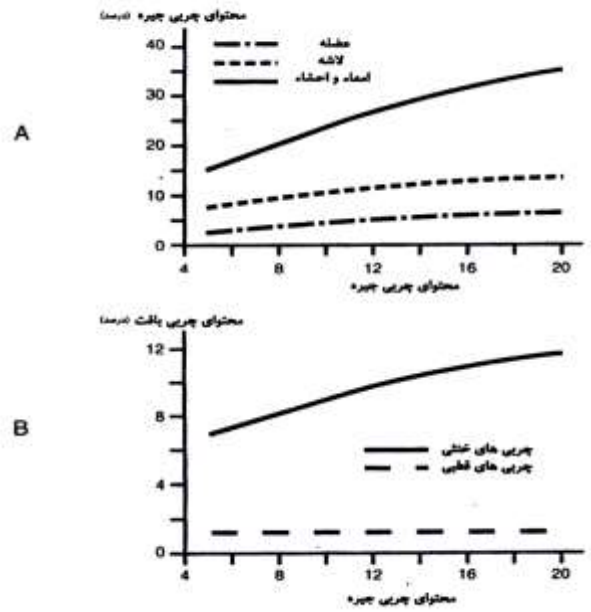
١-٤-٧) ارتباط بین چربی های جیره غذایی و چربی های بافتی

همانطور که قبلا اشاره شد، محل اصلی ذخیره چربی ها در ماهی شامل کبد، بافت یا چربی اطراف امعاء و احشاء و عضله به عنوان تنها بخش خوراکی حقیقی، می باشند. در بسیاری از گونه ها (نظیرقزل آلا، کپور، ماهی پهن ، گربه ماهی کانالی، کفشک، سیم دریایی سرطلایی و غیره) جیره هایی با سطوح چربی بالا، بخصوص زمانی که توزیع جیره ها به صورت تصادفی باشد، باعث تغییراتی در ترکیب بدن می شود، به این صورت که بر حسب وزن تر، میزان چربی افزایش یافته، در حالیکه محتوای آب کاهش می یابد و مقدار پروتئین عموما بدون تغییر باقی می ماند.

با وجود این، ارتباط بین میزان چربی جیره غذایی و مقدار چربی لاشه ساده تر از آن است که بنظر می‌رسد. اگر جیره ها بر حسب محتوای انرژی یکسان مقایسه شوند، این اثر نسبتا کاهش می یابد.در حالیکه اگر بر اساس جیره غذایی یکسان مقایسه شوند، جیره هایی با چربی بالاتر، مصرف چربی را افزایش داده و انرژی بیشتری تولید می نمایند و موجب افزایش قابل توجه تجمع چربی می شوند. در اینحالت بخش های مختلف بدن همگی بصورت یکسان واکنش نشان نمی دهند. در مورد قزل آلا ، میزان چربی عضله ممکن است از ۵ تا ۱۵ درصد تغییر کند. درحالیکه چربی های اطراف امعاء و احشا بشکلی چشمگیرتر افزایش می یابد(شکل ۳A-۷). این بافت ها مسئول چاق شدن حیوان هستند. در ماهیان دریایی نظیر کاد و همچنین باس دریایی و سیم دریایی، کبد به عنوان محل تجمع و ذخیره چربی ها عمل نموده و منجر به چاقی مفرط یا تجمع غیرعادی چربی[1] می شود.

[1] steatosis

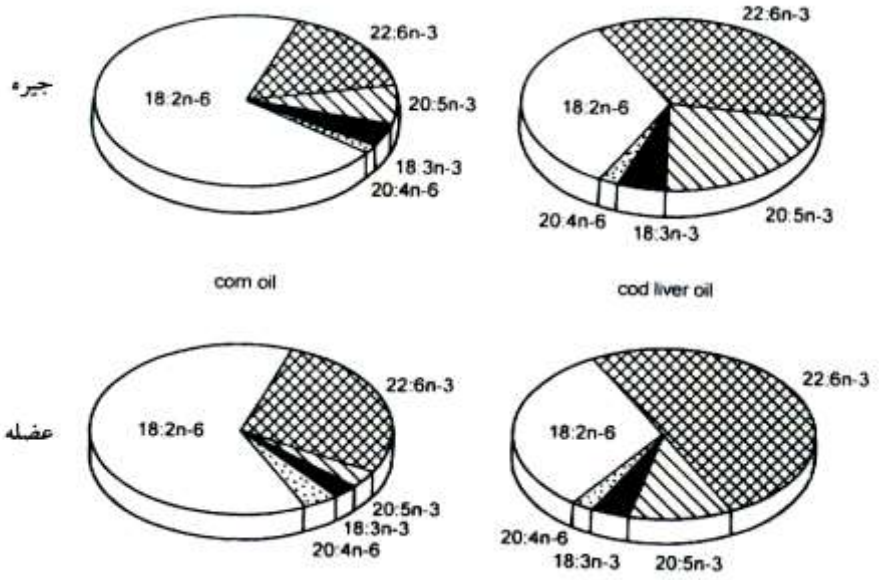
هرچند این حالت (که قابل برگشت و غیر پاتولوژیک است)، می تواند ناشی از مصرف بیش از حد انرژی و نه صرفاً به سبب مقدار اضافی چربی جیره غذایی باشد. به عبارت دیگر، کبد محل ذخیره سازی ترجیحی چربی است که دستخوش اثرات چشمگیری نیز می شود. از این لحاظ از نظر سن نیز اختلافاتی بین گونه ها وجود دارد. برای مثال، عضلات پشتی و شکمی در ماهیان بزرگتر بیشتر است. چگونگی افزایش چربی بافت‌ها در رابطه با گروههای مختلف چربی ها مشابه نیست (شکل ۳B-۷). بنحویکه اغلب غلظت فسفولیپید ثابت باقی می‌ماند در حالیکه کل مقدار چربی اضافه شده اغلب مربوط به تری آسیل گلیسیرول هاست.



شکل ۳-۷) تاثیر میزان چربی جیره غذایی در محتوای چربی بافت ها (بالا) و در نوع چربی عضله(پایین) در ماهی قزل آلا (Takeuchi *et al.*,1978)

استفاده از جیره های غذایی پر چربی که «جیره های پرانرژی» یا«جیره های سازگار با محیط زیست» نامیده می شوند(فصل ۶) به برخی اقدامات محتاطانه ، بخصوص در زمینه مدیریت غذادهی نیاز دارد. این نوع جیره ها عمدتا بر پایه مقدار انرژی قابل هضم (و نه میزان غذا) توزیع می شوند و هدف، صرفا بهینه‌سازی عملکردهای بیولوژیک نیست بلکه حفاظت از محیط زیست و حفظ کیفیت گوشت نیز مدنظر می‌باشد(فصل ۲۲). بنابراین، باید اطمینان حاصل کرد که غذای مصرفی موجب تجمع بیش از حد چربی نمیگردد.

بر خلاف میزان چربی جیره غذایی، نوع چربی ها عواقب مشخصی بر تجمع کلی چربی در ماهی، یا میزان چربی عضلات ندارد. نوع و میزان چربی، تاثیر قابل ملاحظه ای در ترکیب اسیدهای چرب بدن دارد. هر چه مقدار چربی جیره بیشتر باشد، سنتز چربی از منابع غیر پروتئینی (*de nova*) اسیدهای چرب بیشتر کاهش یافته و از طریق تجمع اسیدهای چرب وارد شده به بدن جایگزین می شود. همانند سایر گونه‌ها، ترکیب چربی های بدن ماهی نشان دهنده ترکیب چربی های جیره غذایی است. در قزل آلای تغذیه شده با جیره های حاوی مقادیر قابل توجهی از روغن ذرت (۸ درصد)، غلظت های بالاتری از n-۶ ، ۲: ۱۸ در گوشت یافت شد(شکل ۴-۷)، در حالیکه هنگام تغذیه بر پایه روغن ماهی، اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ غلظت بالاتری داشتند. بطور کلی، ماهیان پرورشی تغذیه شده با جیره های تجاری حاوی روغن یا فرآورده های گیاهی چربی زدایی نشده، نسبت به انواع وحشی خود حاوی سطوح بالاتری از اسیدهای چرب n -۶ هستند. از سویی، ترکیب اسیدهای چرب بافت ها از تنوع کمتری نسبت به ترکیب آنها در غذا برخوردارند. ماهی بواسطه واکنش های طویل سازی غیر اشباعی و حفظ انتخابی برخی از اسیدهای چرب، محتوای چربی بافت های خود و بویژه تجمع اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع را به طور خیلی موثری تعدیل می کند. این تنظیم همواره زمانی موثرتر است که پرواربندی کاهش یابد، چون تحت این شرایط قطعات فسفولیپیدی که ترکیب نسبتا ثابتی دارند، بزرگتر می باشند.



شکل ۷-٤) تاثیر منبع چربی جیره غذایی در ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهی قزل آلا

۲-٤-۷) تاثیر چربی های جیره غذایی در کیفیت ماهی

کیفیت ماهی را نمی توان فقط به واسطه یک معیار واحد مشخص نمود. این ویژگی جنبه‌های بسیاری دارد که مفهوم آن در جریان فرآوری، توزیع و مصرف متفاوت است.از جمله فاکتورهـای مهـم در ایـن زمینـه، میزان محصول هنگام فیله کردن و فرآوری، جنبه هـای سـلامت انسـان و امنیـت غـذایی، میـزان کیفیـت از طریق ارگانولپتیک یا حسی (رنگ، حالت فیزیکی بافت ، طعـم و غیـره) و کیفیـت مـاهی اسـت. شـاخص تعیین کیفیت حسی گاهی کاملا ذهنی است و نتیجه آن با توجه بـه نـوع محصـول نهایی(تـازه، یـخ زده یـا دودی شده) یا سلیقه مصرف‌کنندگان متفاوت است. بسیاری از مؤلفه های تعیین کیفیت بـه عوامـل متعـدد ژنتیکی، زیست محیطی و تغذیه ای بستگی داشته و بخصوص در رابطه با پرواربنـدی صـادق اسـت کـه در آن تغذیه نقش مهمی ایفا می کند.

شکل ماهی بویژه در گونه هایی نظیر قزل آلا و حتی به میزان بیشتری در کپور معمولی که در دراز مدت اهلی شده اند، تحت تاثیر عوامل ژنتیکی قرار دارد و چاقی یا لاغری مفرط نیز می تواند بر آن تاثیرگذار باشد. توصیه عملی این است که به منظور جلوگیری از مواجه شدن با علائم کمبود یا مقادیر اضافی چربیها، در مورد فرمولاسیون مطلوب و مناسب جیره های غذایی اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، پرواربندی تجمع چربی در اطراف امعاء و احشا یا کبد را نسبت به عضله افزایش داده و میزان محصول را هنگام فیله کردن ماهی کاهش می دهد.

در تمامی گونه ها، مقدار چربی گوشت یکی از مولفه های تعیین کیفیت حسی است. پرواربندی موجب تردی گوشت خام شده و احساس مصرف کننده را در رابطه با طعم کلی گوشت اندکی تغییر می دهد. طی آزمایشهای چشایی، گوشت خام ماهیان خیلی لاغر یا خیلی چاق ارزش زیادی ندارند. همچنین در صورتیکه ماهی تحت عمل فرآوری قرار بگیرد، سطوح بالای چربی اثرات زیانباری درپی خواهد داشت بطوریکه اثرات نامطلوب چربی زیاد را هنگام نمک سودکردن (از دست دادن آب و کاهش کیفیت میکروبیولوژیک)، دودی کردن (کاهش روغنها) می توان شاهد بود. ماهیت و نوع چربی جیره غذایی طعم محصول را نیز تغییر می دهند اما نحوه تاثیر آنها کمترمشخص شده است. در رابطه با فیله گوشت قزل آلای قهوه ای و ماهی آزاد، افرادی که مسئول آزمایش های حسی گوشت هستند، قادر به تشخیص تاثیر روغن های اضافه شده به غذا (با منشأ دریایی یا گیاهی) بوده و ماهیانی را ترجیح می دهند که روغنهای دریایی دریافت کرده باشند در مقابل، در مورد قزل آلای رنگین کمان چنین تاثیری مشاهده نشده است. در حال حاضر، اطلاعات دقیقی در مورد سایر گونه ها در دسترس نیست.

کیفیت غذایی گوشت و بویژه ارزش انرژی زایی آن (که بر اساس اصطلاحات رایج در علوم تغذیه هنوز اصطلاح انرژی زایی[1] بکار می رود) به میزان چشمگیری تحت تاثیر پرواربندی قرار دارد. البته دو عامل باید مورد تاکید قرار گیرد: اولا، در ماهیان لاغر نظیر کفشک، حتی اگر میزان چربی گوشت از طریق مصرف چربی یا دریافت انرژی دو برابر شود، میزان گوشت آنها در مقایسه با ماهیان چاق یا حتی گوشت قرمز حیوانات پرورشی خشک زی پایین است. علاوه بر این، مصرف ماهیان روغنی بر خلاف گوشت قرمز چرب، احتمال بروز بیماریهای قلبی- عروقی را در انسان تشدید نمی کند.

[1] calorific

بر عکس، غنی بودن محصولات آبزی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n برای سلامتی مفید بوده و سطوح کلسترول و در نتیجه وقوع بیماریهای قلبی- عروقی را کاهش می دهد. بنابراین، به منظور حفظ ارزش غذایی ماهیان پرورشی، اطمینان از سرشاربودن جیره از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع در زمان فرمولاسیون آنها از اهمین زیادی برخوردار است.

۳-٤-۷) اهمیت پراکسید شدن چربی ها

اسیدهای چرب غیراشباع (به ویژه چربی هایی که ویژگی عدم اشباعیت در آنها بارزتر است)، اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۶-n و به میزان بیشتر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳-n ، بواسطه پراکسیده شدن بر اثر تماس با اکسیژن براحتی تغییر ماهیت می دهند. این پدیده در محیط آزمایشگاهی در جریان نگهداری خوراک یا پس از فیله کردن گوشت ماهی و همچنین در بدن موجود زنده براحتی روی می‌دهد. در مورد روغن ها و چربی ها، این پدیده را معمولا فساد اکسیداسیونی[1] روغن ها و چربی ها می‌نامند و واکنش هایی کاملا شیمیایی هستند که در داخل بدن به صورت طبیعی توسط مکانیسم های شیمیایی یا آنزیمی تنظیم می شوند. تنظیم غیر طبیعی را نیز می توان شاهد بود که در این حالت بسرعت بدن حالت پاتولوژیک بخود می گیرد. این پدیده که پس از مرگ روی می دهد بشدت تحت تاثیر آزاد شدن آنزیم های موجود در بدن است. مشکلات ناشی از نگهداری گوشت ماهی، حتی به صورت منجمد، نیز عمدتا ناشی از واکنش‌هاست.

پراکسیده شدن در مجموع شامل سه مرحله اصلی است که در شکل ۵-۷ خلاصه شده است.

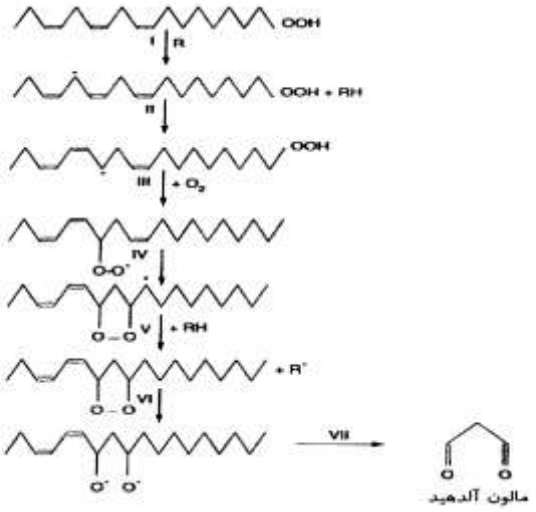
- مرحله شروع که شامل خارج شدن یک الکترون از پیوند دوگانه و تشکیل یک رادیکال ناپایدار است.
- مرحله انتشار که همراه با تشکیل زنجیره ای از رادیکال های آزاد است که گاهی به عنوان احیاءکننده و گاهی به عنوان اکسید کننده عمل می کنند.
- مرحله توقف که با تشکیل یکسری ترکیبات نهایی نظیر آلدئید ها (بویژه مالون آلدئید) و کتون‌ها همراه است. این ترکیبات نهایی با وجود پایدار بودن، سمی بوده و مالون آلدئید نیز ترکیبی سرطان زاست.

[1] rancidity

رادیکال های آزاد برای اعضای سلولی و حتی برای ملکول های بزرگ بسیار مضرند. موجودات زنده از دو واکنش دفاعی در برابر پراکسیده شدن بر خوردارند.

- به دام انداختن رادیکال های آزاد
- وجود یک سیستم آنزیمی که موجب تخریب برخی ترکیبات حدواسط می شود.

آنتی اکسیدان هایی نظیر ویتامین A و به ویژه توکوفرول ها (ویتامین E) از جمله ترکیباتی هستند که مولکول های آزاد را به دام می اندازند. آسکوربیک اسید (ویتامین C) نیز به این گروه تعلق دارد که در واقع یک جداکننده محلول در آب است، در حالیکه توکوفرول یک دهنده پروتون بوده و به شکل محلول در چربی، فعال است (شکل۶-۷).



شکل ۵-۷) نمایی از مراحل اصلی پراکسیدشدن اسید چرب(Diazani *et al*., 1978 and Slater,1972)

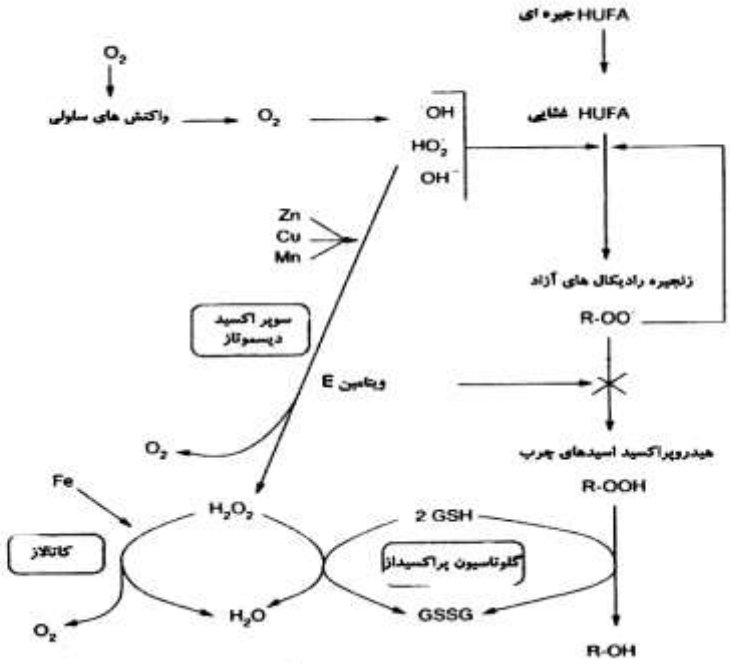
آنتی اکسیدان هایی نظیر ویتامین A و به ویژه توکوفرول ها (ویتامین E) از جمله ترکیباتی هستند که مولکول های آزاد را به دام می اندازند. آسکوربیک اسید (ویتامین C) نیز به این گروه تعلق دارد که در واقع یک جداکننده محلول در آب است، در حالیکه توکوفرول یک دهنده پروتون بوده و به شکل محلول در چربی، فعال است (شکل۶-۷).

در مکانیسم دفاعی دوم، اولین آنزیم مداخله کننده، سوپر اکسید دیسموتاز[1](SOD) است که سوپراکساید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می کند. این ترکیب برای سلول بسیار سمی است و باید توسط کاتالیزور گلوتاتیون پراکسیداز[2] احیا شده و به آب و اکسیژن تجزیه شود(شکل ۶-۷). در ماهی این مکانسیم های مختلف دفاعی بخوبی شناخته نشده اند که می توانند در برابر پراکسیدها و رادیکال های آزاد با منشا خارجی (پراکسیدها و رادیکال های آزاد موجود در خوراک)، بسیار فعال باشند. اما می توان به منظور صرفه جویی در مصرف آنتی اکسیدان های طبیعی، از طریق اضافه کردن آنتی اکسیدان‌های مصنوعی که در داخل بدن غیرفعالند، از پراکسیده شدن اسیدهای چرب موجود در خوراک جلوگیری نمود (فصل ۱۸).

پراکسیده شدن چربی اثرات مخرب زیادی بهمراه دارد و منجر به تخریب عناصر شکننده و تغییرپذیر موجود در غذا (نظیر ویتامین A و E ، ریبوفلاوین، اسید فولیک و غیره) می شود. پراکسیده شدن در نتیجه کاهش فعالیت آنزیمهایی نظیر آمیلاز، لیپاز یا تریپسین در ماهی موجب اسهال می شود. این اثرات در سطح متابولیک، از ذخیره غیرعادی چربی در کبد تا بازدارندگی برخی آنزیم ها در چرخه TAC متفاوت خواهد بود. از سوی دیگر، بیشترین علائم کمبود ویتامین E ناشی از مصرف شدن آن از طریق رادیکالهای آزاد می باشد که موجب فساد عضلانی و تجزیه سلول های قرمز خون می گردد (فصل ۹). تجمع لیپوپروتئین های تغییر یافته و غیرقابل‌حل در حلال ها نیز از شاخص های این وضعیت می باشد. این وضعیت براحتی از طریق بافت شناسی به اثبات رسیده و امکان تشریح اثرات آسیب شناختی ناشی از پراکسیداسیون را فراهم می سازد. از نظر مصرف کنندگان، علاوه بر فساد عضلانی که در شرایط حاد می‌تواند منجر به غیر قابل قبول بودن بافت کلی گوشت می شود، کیفیت رنگ گوشت کاهش یافته و طعم(بو و مزه) آن تغییر می‌کند. همچنین به علت تخریب بخشی از اسیدهای چرب، ویتامین E و سایر ویتامین های حساس در برابر اکسیداسیون که اهمیت زیادی در سلامتی انسان دارند، کیفیت غذایی گوشت کاهش می‌یابد. در عمل چنین بنظر می رسد که محققان باید توجه بیشتری را نسبت به کاهش زمان نگهداری خوراک یا مدت مناسب نگهداری معطوف دارند.

---

[1] superoxide dismutase
[2] glutathione peroxidase



شکل ٦-٧) واکنش های احتمالی بین متابولیت های اکسیژنی فعال، ترکیبات سلولی و سیستمهای آنتی‌اکسیدان (Sargent *et al*.,1989)

ساده ترین روش برای رفع این مشکلات، افزودن مقادیر زیاد ویتامین E به خوراک های مصرفی (حاوی آنتی اکسیدان ها و آسکوربیک اسید) به مقدار بیش از حد مورد نیاز، می باشد.

مطالعات مختلف نشان داده که غنی سازی جیره ها با ویتامین E منجر به افزایش غلظت این ویتامین در عضله شده و در نتیجه موجب کاهش اکسیداسیون چربی های عضله پس از فیله کردن می شود. همچنین مشخص شده که مقادیر موثر ویتامین E در قزل آلا، گربه ماهی کانالی یا کفشک ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی گرم به ازا هر کیلوگرم غذاست. این راهکار بخصوص هنگامیکه ماهی یخ زده یا بسرعت منجمد شود، توصیه می گردد زیرا در این دماها سرعت پراکسیده شدن کاهش یافته، اما متوقف نمی شود.

این مطالب در جهت حمایت از غنی سازی جیره مصرفی با آنتی اکسیدان های مصنوعی، ویتامین C و E در سطوح بالاتر از حد نیاز ماهی ارائه شد زیرا گوشت حیوانات خشک زی دارای مقادیر کمتری اسیدهای چرب غیراشباع است.

۵-۷ - خلاصه

چربی های غذائی یکی از موضوعاتی است که بیشترین مطالعه را در زمینه تغذیه آبزی پروری بخود اختصاص داده است که طی آن خصوصیات اصلی (اهمیت نیاز به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳) و بویژه تنوع در نیاز به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع و قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب ضروری با زنجیره کوتاه مشخص شده است. بنظر می رسد که نیاز به این اسیدهای چرب بالا باشد، اما ممکن است این نیازها بیش از حد برآورد شده باشند. چربی ها همراه با پروتئین ها منبعی از انرژی را تشکیل می دهند که به شکلی مطلوب با فیزیولوژی و متابولیسم ماهی سازگارند بنابراین از این مواد به طور روزافزون در تولید غذاهایی با بازدهی بسیار بالا استفاده می‌شود. چربی ها نسبت به سایر مواد غذایی، تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم بیشتری درکیفیت گوشت دارند، موضوعی که اهمیت آن بسرعت در حال افزایش است. با این وجود، چربی ها و بویژه چربی های سرشار از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع ، حساسیت زیادی نسبت به پراکسیده شدن دارند بنابراین انجام اقدامات پیشگیرانه خاص هنگام ساخت خوراک و در زمان نگهداری یا فرآوری آن اهمیت ریادی دارد.

«فصل ۸»

هیدراتهای کربن : اهمیت و محدودیتها در استفاده از منابع هیدرات کربنی

هیدراتهای کربن فراوان ترین ترکیبات آلی در بیوسفر هستند. اصطلاح هیدرات کربن شامل تعداد زیادی از مولکولهاست که از اتم های کربن، اکسیژن وهیدروژن به نسبت های تعریف شده با فرمول ساده $(CH_2O)_n$ تشکیل می شوند. این مواد، پلی الکلهایی با یک یا چند آلدئید یا کتون هستند. قند ساده(مونوساکاریدها) شامل یک واحد هیدروکسی آلدیید یا هیدروکسی کتون است. الیگوساکاریدها از ۲ تا ۱۰ مولکول مونوساکارید تشکیل شده اند که بوسیله پیوندهای گلیکوزید به یکدیگر متصل می شوند. پلی ساکاریدها نیز پلیمرهایی با زنجیره های مستقیم یا منشعبند. به رغم وجود هیدراتهای کربن بیشمار فقط تعداد معدودی دارای ارزش غذایی در تغذیه حیوانات می‌باشند و عمدتا شامل هگزوزها یا قندهای شش کربنه (گلوکز)، دی ساکاریدها (متشکل از دو مولکول هگزوز) و برخی هوموپلی ساکاریدها نظیر نشاسته می شوند. سایر هیدراتهای کربن نظیر هیدراتهای کربن قابل تخمیر و فیبرها در امر تغذیه نقش ثانویه یا حتی منفی دارند.

نشاسته شامل آمیلوز و آمیلوپکتین است. آمیلوز از زنجیره های طولانی و بدون انشعاب واحدهای گلوکز تشکیل شده که توسط پیوندهای ۴←۱ α به یکدیگر متصلند، در حالیکه آمیلوپکتین بسیار منشعب و دارای پیوندهای۶←۱ α است.

این مولکول ها توسط α آمیلاز به مالتوز هیدرولیز شده و مواد حاصله (شامل مالتوز و زنجیره کوتاه دکسترین) بوسیله مالتاز و سوکراز – ایزو مالتاز هیدرولیز می شوند(فصل۳). در سلول های حیوانی هیدرات‌کربن عمدتا به صورت گلیکوژن ذخیره می شود که ترکیبی مشابه آمیلوپکتین اما با شاخه های بیشتر است. پلی ساکاریدهای ساختاری نظیر پپتیدوگلیکان در باکتری ها، سلولز در گیاهان و کیتین در قارچ ها و حیوانات بواسطه پیوندهای ۴←۱ β از نشاسته متمایز می شوند. در لامینارین های آلگها نیز پیوندها از نوع۳←۱ β می باشند. وجه تمایز مابین پیوندهای α وβ امکان طبقه بندی پلیمرهای گلوکز به دو گروه اصلی هیدراتهای‌کربن موجود و فیبرها را فراهم می کند. دی ساکاریدهای قابل هضم با پیوندهای ۳←۱ β مانند لاکتاز یا الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم مانند آلفا- گالاکتوزیدها نیز وجود دارند (جدول ۱-۸ و کادر ۱-۸).

هرچند هیدراتهای‌کربن در تغذیه ماهی ضروری نیستند اما به عنوان منبع انرژی ارزان قیمت محسوب میشوند و در صورت فقدان هیدراتهای‌کربن ، مصرف پروتئین ها و چربی ها جهت تامین انرژی افزایش می یابد. چنین بنظر می رسد که در بسیاری از گونه ها تامین هیدرات‌کربن جیره غذایی به سبب بهبود بخشیدن رشد ویژه و مصرف پروتئین ضروری است. در طبیعت، غذای ماهی جز در مورد کیتین که قابلیت هضم اندکی دارد، از لحاظ سایر مواد غذایی حاوی مقادیر ناچیز یا کاملا عاری از هیدرات‌کربن است و پایین بودن توانایی ماهی در مصرف هیدراتهای‌کربن جیره غذایی انعکاسی از کمیاب بودن هیدراتهای‌کربن در محیطهای آبی است. در رابطه با هیدراتهای‌کربن غذایی ماهی، دو نوع مشکل وجود دارد. اولا، به عنوان یک اصل کلی، قابلیت هضم هیدراتهای‌کربن پیچیده نظیر نشاسته در حیوانات آبزی پایین است ثانیا، این حیوانات ظاهرا به سازگاری لازم جهت متابولیسم قندهای ساده(مونو یا دی ساکاریدها) دست نیافته اند. از اینرو بالا رفتن میزان هیدرات‌کربن جیره بیش از حد معین، باعث آشفتگی و بی قراری ماهی ها می شود.

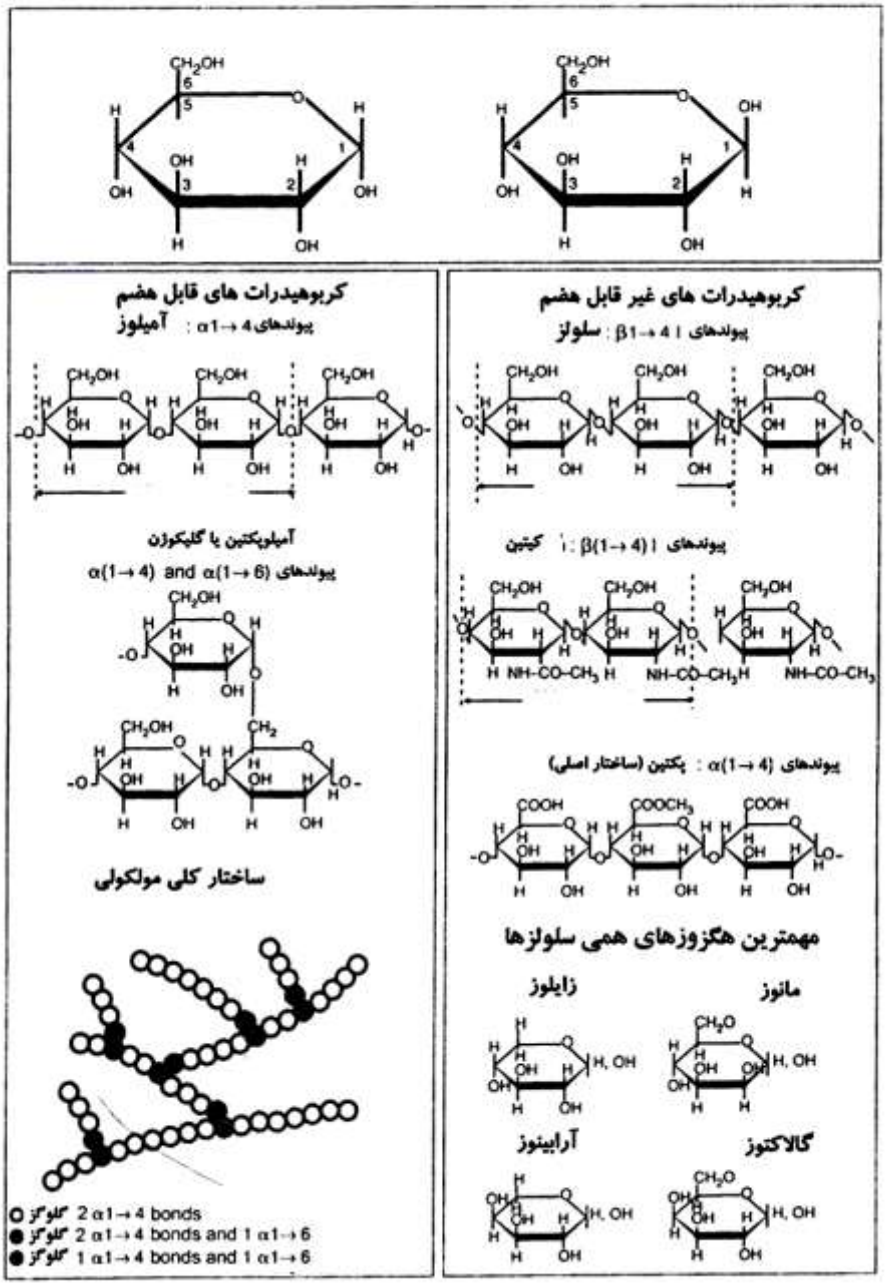
جدول ۱- ۸) طبقه بندی انواع مختلف هیدراتهای کربن

هیدراتهای کربن	
	مونوساکاریدها
گلیسروآلدهید، دی هیدروکسی استون	تریوز ($C_3H_6O_3$)
اریتروز	تتروز ($C_4H_6O_4$)
ریبوز،آرابینوز،زایلوز	پنتوز ($C_5H_{10}O_5$)
گلوکز، گالاکتوز، مالتوز،فروکتوز	هگزوز ($C_6H_{12}O_6$)
	الیگوساکاریدها
مالتوز(دو گلوکز)	
ساکارز یا سوکرز(گلوکز+ فروکتوز)	دی ساکاریدها ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
لاکتوز(گلوکز+گالاکتوز) *	
رافینوز(گالاکتوز+گلوکز+فروکتوز)*	تری ساکاریدها ($C_{18}H_{32}O_6$)
استاچینوز(۲ گالاکتوز+گلوکز+گلوکز+فروکتوز)*	تترا ساکاریدها ($C_{24}H_{42}O_{21}$)
ورباسکوز(۳ گالاکتوز+گلوکز+فروکتوز)*	پنتا ساکاریدها ($C_{30}H_{52}O_{26}$)
پنتوزان ها *	
هگزوزان ها: نشاسته،گلیکوژن، سلولز*، لامینارین*	**پلی ساکاریدها**
فروکتوسان ها: اینولین**	
گالاکتان ها	هوموپلی ساکاریدها
مانان ها	
پکتین: همی سلولز*،موکوپلی ساکاریدها	هتروپلی ساکاریدها
	سایر کربوهیدرات ها
(پلی مر N – استیل-گلوکزامین)	کیتین

* ترکیباتی با حداقل یک پیوند نوع β

** پلی ساکارید حاوی واحدهای گلوکزی

کادر ۱-۸) ساختار برخی از کربوهیدرات های مهم در تغذیه ماهی



۱-۸ - هضم - قابلیت هضم

هر چند فعالیت آمیلاز در ماهی را از اوایل دوره لاروی به بعد می توان مشاهده نمود(فصل۱۲)، اما بر اساس عادت غذایی، تغییرات زیادی در فعالیت آمیلاز ماهیان نوجوان ایجاد می شود(فصل ۳). در یک گونه مشخص ، قابلیت مصرف منابع مختلف نشاسته در دوران جوانی مشابه سایر مراحل رشد نیست. بطوریکه در طبیعت قابلیت هضم هیدراتهای کربن در ماهیان گوشتخوار پایین‌تر از ماهیان همه‌چیزخوار است. صرف نظر از نوع گونه، قابلیت هضم هیدراتهای کربن برای یک پیوند قندی مشخص (ناشی از وجود هیدرات کربن) به پیچیدگی مولکول بستگی دارد. ازینرو قندهای ساده نظیر گلوکز یا ساکارز از قابلیت هضم بالاتری نسبت به دکسترین یا نشاسته خام برخوردارند(شکل ۱۱-۴). این در حالیست که در عمل، گنجاندن قندهای ساده در ترکیب جیره ها مفید نبوده و از هیدراتهای کربن گیاهی با ساختار پیچیده نظیر نشاسته موجود در غلات، حبوبات، ریشه های غده ای جهت تنظیم غذاهای دستی استفاده می شود.

در تمام ماهی ها، انجام فرآوری هیدروترمال اولیه (شامل پخت و خروج با فشار، پولکی کردن، برشته کردن) قابلیت هضم هیدراتهای کربن پیچیده (جدول ۲-۸ و ۳-۸) و منابع انرژی قابل هضم جیره را افزایش می دهد. البته اثرات مفید ناشی از پختن بر قابلیت هضم هیدراتهای کربن در ماهیان آب شیرین و در ماهیان دریایی بوضوح به اثبات رسیده است. این فرآیند زمانی موثرتر خواهد بود که گونه‌ها دارای توانایی اندکی جهت هضم هیدراتهای کربن پیچیده باشند.

به این ترتیب استفاده از غلاتی نظیر گندم، ذرت، ترتیکالا یا حبوبات (نخود فرنگی) به عنوان منبع انرژی مستلزم فرآوری تکنولوژیک خاصی است. ظاهرا به منظور به حداکثر رساندن قابلیت هضم هیدرات کربن، ژلاتینه شدن تا میزان ۷۰ درصد مورد نیاز است. به این ترتیب ، این قبیل منابع هیدراته کربنی می‌توانند منجر به صرفه جویی در مصرف پروتئین شوند(فصل ۶). در این روش حبوباتی نظیر نخود فرنگی را می‌توان تا سطح ۲۵ درصد به جیره غذایی آزاد ماهیان افزود با این شرط که پوسته زدایی، اکسترود و پودر شده و سطح ژلاتینه شدن ترکیبات نشاسته ای آنها به ۸۰ درصد برسد.

جدول ۲-۸) بازدهی نسبی منابع مختلف هیدرات‌کربنی در برخی ماهیان استخوانی
توجه شود که همیشه بالاترین بازدهی بیان کننده بالاترین قابلیت هضم نیست.

مصرف نسبی منابع مختلف هیدرات‌کربنی	گونه
نشاسته ژلاتینه شده* < دکسترین* < گلوکز	کپور معمولی
نشاسته ژلاتینه شده < دکسترین < گلوکز	شانک دریایی ژاپنی
گلوکز،مالتوز،فروکتوز،ساکاروز < دکسترین < نشاسته غلات	گربه ماهی
فروکتوز،گالاکتوز،لاکتوز < گلوکز، مالتوز، ساکاروز، دکسترین، نشاسته پخته	ماهی آزاد چینوک
نشاسته خام < نشاسته پخته	ماهی خاویار سیبری
گلوکز، مالتوز <دکسترین، نشاسته خام	ماهی خاویار آمریکایی
نشاسته خام < نشاسته پخته	قزل آلا
نشاسته خام < نشاسته پخته	باس دریایی و شانک دریایی

* اصطلاح ژلاتینه شده به این اشاره دارد که فرآورده تحت تیمار حرارتی با شدت متفاوت قرار گرفته است. اصطلاح دکسترین (از لحاظ تجاری) مربوط به فرآورده ای است که تحت تیمار حرارتی خشک قرار گرفته است. درجه دپلیمریزاسیون متفاوت است.

۲-۸- متابولیسم گلوکز

بازدهی کلی پروتئین‌ها به عنوان منبع تولید انرژی همواره مربوط به قابلیت هضم آنهاست. حتی اگر ماهی قادر به هضم هیدراتهای کربن باشد، باز ممکن است استفاده متابولیک ماهی از گلوکز جذب شده پایین باشد. زمانیکه بیش از ۲۰ درصد قند ساده(گلوکز،ساکاروز) در جیره گنجانده شود، باعث بی میلی ماهی به غذای مصرفی می شود. در این رابطه بی میلی در برابر مقادیر بالای هیدراتهای کربن جیره غذایی به سبب قابلیت هضم ناچیز آن نیست بلکه این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که قندهای ساده حاصل از هضم بسرعت جذب شوند.

جـدول ۳-۸) داده هـای موجـود در رابطـه بـا قابلیـت هضـم (ضـریب ظـاهری هضـم:ADC) هیدراتهای کربن در قزل‌آلا (Bergot,1979; Kaushik & Medale, 1994)

داده ها	ضریب ظاهری هضم(ADC) نشاسته (درصد)
تاثیر ماهیت اجزا تشکیل دهنده	
نشاسته های خام	۳۹
برنج	٥٤
گندم	<٥
سیب زمینی	<۱٥
نشاسته کاساوا	۳۳
ذرت(۲۸٪ آمیلوز)	٥٤
ذرت وکسی(۹۹٪ آمیلوپکتین)	<۲۰
ذرت – آمیلو (٦٥ ٪ آمیلوز)	
نشاسته های اصلاح شده	
نشاسته کندم اکسترود شده	۹٦
نشاسته گندم ژلاتینه شده	۹٦
تاثیر میزان نشاسته ذرت خام گنجانده شده (جذب روزانه/ نرخ غذادهی/ مصرف روزانه)	
۰/۲٤ گرم/ در حد سیری / ۱۰٪	۳۸
۰/۷٥ گرم / در حد سیری / ۲٥٪	۲٦
۱/٦ / در حد سیری / ٤۰٪	۲۲
۰/۲۸/ در حد سیری / ٤۰٪	۳٦
۰/۷۸/ در حد سیری / ٤۰ ٪	۲٥
تاثیر دمای آب	
نشاسته خام (۳۰٪<)	
۸ ^{0}C	۳۱
۱۸ ^{0}C	٤۱
نشاسته ژلاتینه شده (۳۰٪<)	
۸ ^{0}C	٦٤
۱۸ ^{0}C	۷٥

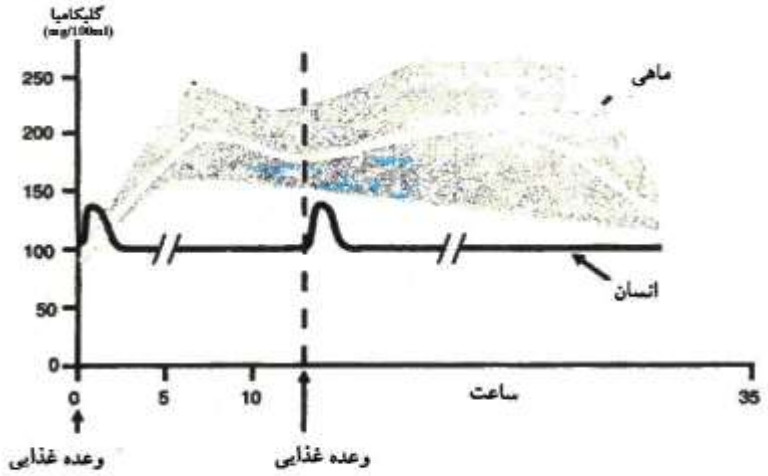
۱-۲-۸) بالا رفتن قند خون و کنترل آن توسط انسولین

در شرایط متابولیک، پس از صرف غذا بصورت یک وعده آزمایشی با ثبت منظم قند خون می توان بی‌میلی در برابر هیدراتهای کربن را مشاهده نمود. بر خلاف حیوانات تک معده‌ای خشک زی، قند خون در تمام ماهیان استخوانی پس از خوردن یک وعده غذای غنی از هیدراتهای کربن در سطح بالا باقی می‌ماند. بالا بودن قابل ملاحظه قند خون(که به میزان ۱۷ میلی مول بر لیتر یا ۳۰۰ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) بوده و بعد از ورود گلوکز در ماهیان استخوانی برای مدت زمان طولانی(که ممکن است تا ۲۴ ساعت برسد) مشاهده می شود (شکل ۱-۸). در این رابطه اختلاف ناچیزی بین گونه های مختلف ماهی وجود دارد. این حالت در انسان به میزان کمتر از ۷ میلی مول بر لیتر بوده و تنها برای چند ساعت روی می‌دهد. بالا رفتن قند خون پس از ورود گلوکز، یا بعد از یک وعده غذایی غنی از هیدرات‌کربن به علت عدم کنترل خون است. در ابتدا این پدیده را به سبب عدم ترشح هورمون انسولین نسبت می دادند و این حالت باعث شد که برخی محققان، ماهی ها (قزل آلا، گربه ماهی کانالی، دم زرد و غیره) را به عنوان حیوانات ذاتاً دیابتیک معرفی نمایند.

با انجام آزمایشهای ویژه (RIAs) بر انسولین ماهی ثابت شد که ماهی ها قادر به ترشح هورمون انسولین هستند. مقادیر ترشحی از ۱ تا ۳ نانو گرم در میلی لیتر در ماهیان گرسنه متغیر است. در ماهیان تغذیه شده، سطوح ترشحی خیلی بیشتر و مقادیر آن در پلاسما از ۵ تا ۴۸ نانوگرم در میلی‌لیتر متغیر است. بنابراین هم اکنون مشخص شده که در اغلب ماهیان، ترشح هورمون انسولین عامل محدود کننده نیست. ورود انسولین، قند خون را در قزل آلا دقیقا مشابه سایر گونه ها پایین می آورد. بنظر می رسد که نقش انسولین (کاهنده قند خون[1]) و گلیکوژن (افزاینده قند خون[2]) در ماهیها مشابه حیوانات خشک زی است، البته اطلاعات مربوط به گلیکوژن بسیار محدود است. ضمن آنکه در بافت های مختلف ماهی گیرنده های انسولین وجود دارند. یقینا اختلافات بین گونه‌ای قابل توجهی بخصوص در رابطه با گیرنده های موجود در بافتها و فعالیت تیروزین کیناز وجود دارد که در برخی گونه ها مانند کپور معمولی بیش از قزل‌آلاست.

---

[1] hypoglycaemiant
[2] hyperglycaemiant



شکل ۱- ۸) مقایسه قندخون در ماهی و انسان. ناحیه سایه دار مطابق با نوسانات سطوح قند خون به علت تغییر در میزان ورود هیدرات‌کربن است.

از سوی دیگر، در شرایط معمولی، ورود مقادیر زیاد هیدراتهای‌کربن قابل جذبی که موجب ایجاد وقفه در عملکرد کبد به علت بزرگ شدن آن می شود، بر متابولیسم چربی یا هیدرات‌کربن نیز تاثیرگذار است.

۲-۲-۸) فسفوریلاسیون گلوکز

مرحله اصلی فسفوریلاسیون گلوکز (تبدیل گلوکز به گلوکز ۶ – فسفات) توسط هگزوکیناز ها انجام می‌شود. در ابتدا برخی محققان چنین تصور می کردند که فعالیت این آنزیم ها پایین بوده و ظرفیت فسفوریلاسیون گلوکز محدود است. اما تحقیقات اخیر نشان داده که گلوکوکیناز در مقادیر زیاد موجود بوده و میزان فعالیت آن در سطح بیوشیمیایی و مولکولی بیانگر میزان کربوهیدرات موجود در جیره غذایی است (Panseral *et al*., 2000). به رغم حضور ناقل گلوکز در پستانداران، در رابطه با حضور آنها در ماهی ها اختلاف نظر وجود دارد.

مطالعات انجام شده در مورد تیلاپیا و با استفاده از آنتی بادی های آنتی- Glut بیانگر حضور مقادیر بسیار کم Glut-۱ و فقدان Glut -۴ بودند. اما مطالعات پیرامون قزل آلای رنگین کمان و قزل آلای قهوه ای حضور هر دو را ثابت نمود.

۳-۲-۸) کاتابولیسم هیدراتهای کربن

۱-۳-۲-۸) گلیکولیز

گلیکولیز مهمترین مسیر کاتابولیسم گلوکز در بافت های ماهی است. در مسیر گلیکولیز، گلوکز همراه با تشکیل ATP به پیروات تبدیل شده و موادی با قابلیت اکسید شدن را برای چرخه تری کربوکسیلیک اسید در شرایط هوازی بوجود می آورد. وجود شرایط بی هوازی در عضله سفید ماهی موجب تشکیل لاکتات می شود. کل آنزیم های درگیر در گلیکولیز (فصل ۵) در بافت گونه های مختلف ماهی وجود دارد. بیشترین فعالیت گلیکولیز در قلب و عضلات اسکلتی مشاهده می شود، اما این فعالیت ها در کلیه و کبد ماهی پایین است. علاوه بر این، گلیکولیز پیش از اینکه به منظور اکسیداسیون در تولید پیروات فعال شود، پیش‌زمینه‌های مورد نیاز جهت بیوسنتز را فراهم می کند.

تمام واکنش های گلیکولیز برگشت‌پذیر بوده و به جز سه مرحله شامل کاتالیز شدن توسط هگزوکیناز (تشکیل گلوکز- ۶ – فسفات)، فسفوفروکتوکیناز (تشکیل فروکتوز-۱ و ۶ – دی‌فسفات) و پیروات کیناز (تبدیل فسفانول پیروات به پیروات)، می توانند در مسیر سنتزگلیگوژن فعالیت کنند. این مراحل بخصوص در آزادماهیان جزء مراحل محدود کننده گلیکولیز محسوب می شوند.

۲-۳-۲-۸) مسیر نهایی پیروات حاصل از گلیکولیز

ـ **تشکیل لاکتات :** تحت شرایط بی هوازی نظیر فعالیت شدید عضلانی، پیروات توسط لاکتات دهیدروژناز به لاکتات تبدیل می شود. این واکنش برگشت پذیر در سیتوزول صورت می گیرد و طی این واکنش، NAD^+ تولید می شود که موجب حفظ پتانسیل احیا سلول شده و تشکیل اکسالواستات را تحریک می کند. مصرف پیروات به این شکل نسبت به مسیر اکسایشی موجود در عضله سفید ماهی، غالب تر است.

در ماهیان نیز همانند پستانداران، لاکتات دهیدروژناز دارای چندین نوع ایزوزیم است که در بافت های مختلف به اشکال متفاوتی مشاهده می شوند اما در ماهیان دمای مورد نیاز برای حداکثر فعالیت ایزوزیم ها بسیار پایین تر از دمای مورد نیاز آنزیم های پستانداران است که این به علت تفاوت در چگونگی اتصال آنزیم و تاثیر آن در سوبسترای مربوطه است. در کپور لاکتات دهیدروژناز عضله نسبت به pH حساسیت کمی داشته و فعالیت آن حتی در pH پایین نیز حفظ می شود که این امر را می توان به عنوان نوعی سازگاری با شرایط سخت ناشی از کاهش اکسیژن دانست. از گونه‌ای به گونه دیگر فعالیت این آنزیم تفاوت داشته و در ماهیان با شنای سریع بالاتر است.

ـ تشکیل استیل کوآنزیم A : پیروات از طریق دکربوکسیلاسیون به استیل کوآنزیم A تبدیل می شود و سپس می تواند در چرخه TCA اکسید شود. مرحله دکربوکسیلاسیون در شبکه میتوکندری توسط پیروات دهیدروژناز و تبدیل به تیامین پیروفسفات صورت می گیرد که به شکل فسفری شده غیر فعال و به شکل دفسفره شده فعال وجود دارد. فعالیت این ترکیب آنزیمی از طریق ATP موجود در میتوکندری بافتهای اکسیژن‌خواه صورت می گیرد.

۳-۳-۲-۸) سایر مسیرهای کاتابولیسم گلوکز

مسیر پنتوز فسفاتی که مسیر فرعی فسفوگلوکونات نیز نامیده می شود، منجر به سنتز ریبوز ۵ – فسفاته از گلوکز ۶ – فسفاته به همراه تولید NADPH می گردد. این ماده دارای یک ناقل انرژی همراه با توان احیا کنندگی بالا بوده و بویژه برای سنتز اسیدهای چرب و استروئیدها مورد نیازاست. در مسیر پنتوز، ریبوز مورد نیاز برای سنتز اسیدهای نوکلئیک نیز فراهم می شود. در ماهی، آنزیم های فعال در مسیر اکسایشی عمدتا در کبد وجود داشته و سنتز آنها به دما حساس است.

تخمیر الکلی که وقوع آن تنها در موجودات زنده تحت شرایط بی هوازی مشاهده می شود، در ماهی حوض نیز در صورت شرایط طولانی بدون اکسیژن قابل مشاهده است، هرچند این شواهد پایه علمی مستندی ندارد.

مسیر تجزیه گلوکز به گلوکورونیک اسید و آسکوربیک اسید در ماهی ناقص است. فقدان گلونولاکتون اکسیداز مانع از سنتز آسکوربیک اسید (ویتامین C) می شود(فصل ۹).

این در حالیست که واکنش های اولیه که منجر به سنتز گلوکورونات می شوند به این علت که پس‌مانده‌های گلوکورونیل برای سنتز اسیدهای پلی ساکارید طی واکنش های سم زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای اهمیت می باشند.

۳-۸ - سنتز و متابولیسم گلیکوژن

اطلاعات محدودی در زمینه نیاز کلی ماهی به گلوکز وجود دارد اما مطالعات نشاندهنده پایین بودن این نیاز در ماهی ها است (حدود ۵۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز). سرعت تغییر و تبدیل گلوکز در دستگاه گردش خون در مقایسه با پستانداران(کمتر از ۳۰ دقیقه) کند است (بیش از ۵ تا ۶ ساعت). تغییر و تبدیل گلوکز با توجه به گونه، شرایط زیست محیطی و وضعیت تغذیه ای از ۲ تا ۵۵ میلی مول به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در دقیقه متغیر است.

۱-۳-۸) گلیگوژنئوژنزیز (سنتز گلوکز از منابع غیر قندی)

مسیرهای متابولیک گلیگوژنزیز (تشکیل گلوکز از مواد غیر هیدرات‌کربنی) تقریبا مشابه سایر گونه های جانوری بوده و کبد و کلیه مکان های اصلی این واکنش ها هستند. در اغلب ماهیان استخوانی، اسیدهای‌آمینه نقش مهمی در گلیگوژنئوژنزیز (کپور،قزل آلا، گربه ماهی،باس) بر عهده دارند. اسیدهای‌آمینه سازنده گلوکز نظیر آلانین، سرین یا گلایسین در مقاسیه با اسپارتیک اسید ارجحیت دارند. میزان سنتز گلوکز از آمینو اسیدهای حاصل از تجزیه پروتئین ها در بدن بالاست. هنگام افزایش مقدار پروتئین در جیره غذایی، فعالیت آنزیم های درگیر در این سنتز افزایش یافته و فعالیت های آنزیم های مربوط به گلیکولیز کاهش می یابد.

۲-۳-۸) ذخائر گلیکوژن

نحوه ذخیره هیدرات‌کربن در بدن ماهی نظیر حیوانات عالی است. ذخیره گلیکوژن در کبد ماهی از ۱۰۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ واحد گلوکز است. در بین بافت ها اختلافات زیادی از نظر میزان ذخیره گلیکوژن وجود داشته و ذخائر مغز،کبد و عضله قرمز نسبت به عضله سفید بالاتر از سایر اندامهاست.

مقدار این ذخیره در مغز تا ۳۵۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم می رسد. در عضله سفید این مقدار از ۴۰ تا ۲۰۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم، در عضله قرمز بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم متغیر است. میزان ذخیره گلیکوژن در کبد از یک تا ۱۲ درصد بافت تازه متغیر بوده و نسبت مستقیم با منبع هیدرات‌کربن جیره دارد. همچنین بین مصرف هیدرات‌کربن و مقدار گلیکوژن کبد رابطه مستقیم وجود دارد.

۳-۳-۸) مصرف ذخائر (گلیگوژنولیزیز)

تجزیه گلیکوژن به واسطه فعالیت گلیکوژن فسفریلاز صورت می گیرد و در بسیاری از گونه ها قابل مشاهده است. در قزل آلا، این آنزیم نه تنها در عضله سفید بلکه در کبد نیز وجود دارد. در مقابل، بنظر نمی رسد که ارتباطی بین کاتابولیسم گلیکوژن و فعالیت فسفوریلاز وجود داشته باشد. فعالیت این آنزیم در ماهی مورد بحث و اختلاف نظر است. در مورد گلیکوژن نیز همانند اسیدهای چرب، یک مسیر تجزیه لیزوزومی وجود دارد که بنظر می رسد در عضله اهمیت بیشتری دارد.

بطورکلی، گلیکوژن یک منبع انرژی زاست که در بافت های ماهی بجز عضله سفید، به مقدار بسیار ناچیز مصرف می شود. استفاده از گلیکوژن بخصوص در صورت وجود استرس (کمبود اکسیژن در بافت، فعالیت بدنی) منجر به افزایش ذخیره لاکتات می شود. در عضلات سفید استفاده از ذخائر گلیکوژن در مقایسه با عضله قرمز یا کبد خیلی سریع صورت می گیرد. در مورد کبد، مقدار گلیکوژن و استفاده از آن به وضعیت تغذیه قبلی بستگی دارد. در ماهیانی که با جیره های غنی از هیدراتهای‌کربن قابل هضم تغذیه می شوند، ذخائر گلیکوژن کبد خیلی بالاست، اما طی دوره گرسنگی بسرعت کاهش می یابد. در مقابل، در ماهیان تغذیه شده با جیره هایی با مقادیر پایین‌تر هیدراتهای‌کربن، استفاده از این ذخائر طی دوره گرسنگی کندتر است. در طبیعت حتی پس از دوره های طولانی گرسنگی نظیر آنچه که در آزادماهیان همزمان با رسیدگی جنسی و آمادگی جهت تخم ریزی در مسیر مهاجرتشان یا در کپور معمولی هنگام زمستان رخ می دهد، ذخائر گلیکوژن فقط اندکی کاهش می یابد. در مورد مهره داران عالی که استفاده از گلیکوژن کبد در مقایسه با عضله خیلی سریع است، وضعیت بگونه ای دیگر است. به رغم این واقعیت، بالا رفتن قند خون بندرت در ماهیان گرسنه مشاهده می شود که احتمالا ناشی از کاهش کلی فعالیت متابولیک (در نتیجه مصرف گلوکز) و همچنین سنتز گلیکوژن است.

بنظر می رسد که گلیکولیز و سنتز گلیکوژن در ماهی که مسیرهای اصلی کاتابولیسم هیدراتهای کربن هستند از فعالیت کمی برخوردار باشند. برای مثال، تزریق گلوکاگون در ماهی نظیر سایر حیوانات موجب بالا رفتن قند خون می شود. هر چند اثر بالا رفتن قند خون بیشتر به علت افزایش سنتز گلیکوژن است تا استفاده از ذخائر گلیکوژن کبدی. تزریق آنزیم مسئول سنتز گلیکوژن به نحو موثری اثر بالا رفتن گلوکاگون خون را خنثی می کند. افزایش ذخیره هیدرات کربن منجر به افزایش فعالیت آنزیم های درگیر درهر دو مسیر گلیکولیز و پنتوز(به ویژه گلوکز ۶- فسفات دهیدروژناز) و سنتز چربی می شود. در رابطه با افزایش ذخیره چربی عکس این حالت وجود دارد(فصل ۷).

٤-۸ - اهمیت و محدودیت های نقش انرژی زایی هیدراتهای کربن

متوسط انرژی خام هیدراتهای کربن در حدود ۱۶/۷کیلوژول بر گرم (۱۵/۹در مورد گلوکز و ۱۷/۶ در مورد نشاسته) است. هنگام غذادهی ماهی، توجه به مقادیر انرژی قابل هضم هیدراتهای کربن حائز اهمیت است، چون این شاخص ها به مقدار قابل ملاحظه ای متغیرند (مراجعه به بخش قبل). علاوه بر این، مقدار انرژی بر حسب انرژی خالص نیز با توجه به نوع گونه متفاوت خواهد بود. گنجاندن قندهای ساده در جیره آبزی پروری مقرون به صرفه نبوده و تنها هیدراتهای کربن پیچیده برای ساخت غذاهای ترکیبی مناسبند. مطالعات مختلف در مورد قزل آلا نشان داده که در صورت وجود غلظت متعادلی از پروتئین، میزان رشد و ضریب تبدیل غذایی را می توان با گنجاندن پلی ساکاریدهایی نظیرنشاسته در جیره افزایش داد.

با توجه به منابع گیاهی تامین کننده نشاسته، انواع متفاوتی از نشاسته وجود دارد. درکپور معمولی و قزل آلا، مصرف نشاسته خام گندم بهتر از ذرت یا سیب زمینی است. در این رابطه ظاهراً حرارت‌دهی و پختن عامل مؤثری است. چنین بنظر می رسد که وجود بازدارنده آمیلاز در گندم اثر زیانباری بر ماهیان یا حداقل در گونه هایی نظیر کپور معمولی ندارد و نیز ثابت شده که افزایش تعداد وعده های غذایی می‌تواند مصرف هیدرا تهای کربن را در گونه ها بهبود بخشد. این پدیده را تا حدودی می توان ناشی از اثرات احتمالی هیدراتهای کربن غیرقابل هضم (فیبر) بر سرعت انتقال مواد گوارشی دانست. برخی داده ها در رابطه با میزان بهینه هیدراتهای کربن در جیره غذایی گونه های مختلف در جدول ۴-۸ ارائه شده است.

اثر هیدراتهای کربن قابل هضم بر صرفه جویی در مصرف پروتئین نیز تابع تغییرات زیادی است. هر چند بنظر می رسد که بطورکلی تامین انرژی قابل هضم از طریق انرژی قابل هضم هیدرتهای کربن غیر ضروری اثر مفیدی از نظر افزایش رشد و استفاده از پروتئین در اغلب گونه ها ندارد.

۵-۸- فیبر و ترکیبات پرکننده

۱-۵-۸) تعریف

فیبرها گاهی به عنوان ترکیبات سلولزی، ترکیبات دیواره(سلول های گیاهی) یا حتی plantix (ماده x که همواره دارای منشاگیاهی است) نامیده می شوند و هیچگاه بطور کامل تعریف نشده اند. این ترکیبات عمدتا شامل هیدراتهای کربنی با درجات مختلف پیچیدگی (کادر۱-۸) بوده که قادر به تجزیه توسط آنزیم های مهره داران عالی نیستند. این در حالی است که لیگنین که از خانواده فیبرهاست) یک پلی فنیل بوده و پلی ساکارید محسوب نمی شود. این ترکیبات عمدتا ساختار رشته ای دارند که در مورد لیگنین صدق نمی کند.

فیبرها در حیوانات تک معده ای عمدتا به عنوان پرکننده یا مواد حجم دهنده عمل انتقال مواد گوارشی را تسهیل می کنند و می توانند به صورت جزئی تجزیه شوند، بنابراین نقش اندکی در تغذیه بر عهده دارند.

۲-۵-۸) ارزیابی‌ها

در روش های معمول اندازه گیری همواره نتایج ثابتی حاصل نمی شود. با روش بسیار ساده و قدیمی«وینل[1]» می توان مجموع سلولز و لیگنین (فیبر خام) را البته در مقادیر خیلی کمتر از حد واقعی برآورد نمود. روش«ون سوست» امکان اندازه گیری سه جزء اصلی را فراهم کرده وبرآوردهای مطلوبی در مورد سلولز و همی سلولز ها ارائه می دهد(جدول۵-۸). اما پکتین ها را نمی توان با استفاده از این روش اندازه گیری نمود. همچنین چنانچه این روش در مورد ترکیبات غنی از نشاسته بکار رود، خطای زیادی بهمراه خواهد داشت در این رابطه استفاده از روش اصلاح‌شده گیگر و همکاران (۱۹۸۷) مفید است.

در صورت اندازه گیری مجموع لیگنین ، سلولز، همی سلولز و پکتین می توان کل ترکیبات دیواره سلولی را اندازه گیری نمود(Carre & Brillovet, 1989).

[1] Weenele

تنها در مورد غلات، اندازه گیری NDF[1] در روش ون سوست را می توان جایگزین اندازه گیری بر اساس روش کاری و بریلوت کرد، زیرا گیاهان تک لپه‌ای تقریبا فاقد پکتین هستند.

جدول ٤-۸) حداکثر مقادیر قابل توصیه هیدراتهای کربن قابل هضم برای گنجاندن در جیره غذایی گونه های مختلف (درصد)

گونه ها	محدوده
آزاد ماهیان	۲۵-۳۰
کپور ماهیان	٤۰-٤۵
گربه ماهیان	۳۰-۳۵
ماهیان خاویاری	۲۵-۳۰
مارماهی	۲۵-۳۰
تیلاپیا	۳۵-٤۰
کفشک، ماهی پهن	۱۵-۲۰
باس دریایی	۲۵-۳۰
شانک دریایی	۲۵-۳۰
ماهیان مناطق حاره ای	
خامه ماهی	۳۵-٤۰
باس دریایی حاره ای	۲۰-۲۵
باس کانالی	۲۰-۲۵
دم زرد	۱۰-۱۵

۳-۵-۸) نقش‌های تغذیه‌ای

ترکیبات فیبری بجز لیگنین توسط اسید هیدروکلریک موجود در معده و بویژه آنزیم های موجود در فلور باکتریایی مورد هضم جزئی قرار گرفته و حتی در گونه هایی که تمایل بیشتری به علفخواری دارند، هضم بیشتری انجام می شود. طبقه بندی بترتیب افزایش قابلیت هضم به این صورت است.

پکتین ها > همی سلولز ها> سلولز > لیگنین

[1] Neutural Detergent Fibre

جدول ۵-۸) روش های معمول اندازه گیری ترکیبات اصلی فیبر جیره غذایی

پکتین+ همیسلولزها+سلولز+ لیگنین همی سلولز+سلولز+لیگنین سلولز+لیگنین لیگنین	(دیواره های سلول های گیاهی) PCW* NDF** (neutural detergent fibre) ADF** (acid detergent fibre) ADL** (acid detergent lignin)
	اختلافات:
پکتین ها همی سلولزها سلولز	PCW – NDF NDF – ADF ADF - ADL

* روش کاری و بریلوت ، ۱۹۸۹

* * روش اصلاح شده Giger *et al.*,1987 : Van Soest

قابلیت هضم پلی ساکاریدهای با منشا آبی (آلژینات و کاراگینان ها) در ماهی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این قابلیت یقینا صفر یا خیلی ناچیز است و در برخی مواقع از آنها به عنوان مواد همبند جهت پایداری ذرات غذایی و مدفوع در آب استفاده می شود. برخی مطالعات کیفی به وجود قابلیت بالای هضم پلی ساکاریدها در میزان بسیار کم و صرفا در برخی گونه های علفخوار حقیقی، اشاره دارند. در ماهیان همه چیز خوار (کپور، تیلاپیا و غیره)، این اطلاعات اندک بوده اما در کل پر واضح است که قابلیت هضم فیبر ناچیز است. حتی درکپور علفخوار این قابلیت در مورد سلولز عملاً صفر است. در ماهیان گوشتخوار، می توان چنین فرض نمود که تمام ترکیبات دیواره سلولی شامل پکتین غیر قابل هضم هستند.

٤-٥-٨) سایر عملکردها

در مهره داران خشک زی بین مقدار فیبر و قابلیت هضم انرژی ارتباط منفی وجود دارد. این اثر کلی شامل تاثیر ترکیبات قابل هضم در کم شدن فرآیند هضم می باشد که گاهی با اثر منفی بر ترکیبات دیوار سلولی (عمدتا لیگنین و سلولز) همراه است و ظاهرا در ماهی ها مشابه است.

فیبر دارای اثر محرک بر انتقال مواد گوارشی است و سهم انرژی قابل هضم را از طریق افزایش میزان مصرف در مهره داران عالی جبران می کند. در مقابل، ترکیبات فیبر خام که همانند ژل ها(صمغ ها و پکتین) عمل می کنند، سرعت تخلیه معده را کاهش می دهند.

بسیاری از اثرات دیگر فیبر، چه مفید و چه مضر مورد بررسی قرار گرفته یا در حال حاضر موضوع مورد مطالعه (شامل پوسته پوسته شدن سلول های روده، افزایش دفع کلسترول و املاح معدنی) در مهره داران عالی می باشند. بیشتر این اثرات بر ماهی ها هنوز به میزان اندک شناخته شده است. حتی تعیین دقیق میزان فیبری که باید در غذای ماهیان گوشتخوار یا همه چیز خوار گنجانده شود، غیر ممکن است و ظاهراً میزان ۱۰ درصدی مورد استفاده در جیره های آزمایشی بیشتر تصادفی است.

در جیره های آزمایشی، سلولز را براحتی می توان برای رقیق کردن جیره ها به کار برد بدون اینکه مصرف مواد غذایی را تغییر دهد. گنجاندن برخی مواد همبند (آگار، آلژینات، guar gum و کاراگینان ها)یا حتی سبوس تا سطح خاصی که می تواند به ۴ یا ۵ درصد هم برسد، انسجام مدفوع را بهبود می بخشد و همچنین باعث می شود که اندازه گیری قابلیت هضم را مستدل تر سازد بدون اینکه اختلالی در بهره‌برداری گوارشی ایجاد نماید. در نهایت، کربوکسی متیل سلولز که سلولز تغییر یافته از لحاظ شیمیایی است، یک ماده همبند با ویژگی های ژله ای است که احتمالاً بالا رفتن قند خون در ماهی را پس از تغذیه کاهش می دهد.

٦-۸ - خلاصه

به طور کلی، ماهی ها نظیر مهره داران خشک زی قابلیت بالایی در مصرف هیدراتهای کربن ندارند. این قابلیت در رابطه با هیدراتهای کربن قابل دسترس و هیدراتهای کربنی صدق می کند که در طبقه فیبرها قرار می گیرند. مقدار نشاسته ای که در حال حاضر در داخل غذاهای ماهی گنجانده می شود خیلی بیشتر از میزان تعیین شده در دو دهه اخیر است. در مورد برخی گونه ها در صورت شرایط اقتصادی مطلوب، میتوان مقدار بیشتری از انرژی هیدراتهای کربن را عرضه نمود. البته پیش از انجام این کار توصیه می شود که گونه های معینی را به عنوان گونه های هدف انتخاب کرد و ویژگیهای فیزیولوژیک آنها را مورد مطالعه قرار داد.

«فصل ۹»

ویتامین‌ها

مفهوم کلی ویتامین در اواخر قرن نوزدهم شکل گرفت. تا قبل از شناسایی ویتامین ها، بسیاری از اثرات مواد غذایی توسط هیچ یک از مواد شناخته شده تا آن زمان، قابل توجیه نبود. در سال ۱۹۸۴ ویتامین B_{12} به صورت سیانوکوبالامین شناسایی و فرمول آن در سال ۱۹۵۵ تعیین گردید. فهرست ویتامین ها بسته شده و هیچ ویتامینی به آن اضافه نمی شود.

مطالعات انجام شده پیرامون مصرف ویتامین در ماهی به بعد از این تاریخ باز می گردد. در این زمینه سوالات بسیاری مطرح شد که از آن جمله، آیا میزان نیاز ماهی به ویتامین ها مشابه مهره‌داران عالی است؟ علائم کمبود ویتامین ها در ماهیان شامل چه مواردی است؟ تاکنون پاسخ های مناسبی برای این سوالات یافت نشده است و بسیاری از مفاهیم از طریق مطالعات کاربردی و مهمی بدست آمده که در مورد روی مهره داران عالی انجام گردیده است.

این فصل نقش هر یک از ویتامین ها و علائم کمبود آنها را تشریح می کند. مقادیر مورد نیاز از هر یک از ویتامین ها در ضمیمه C ارائه شده است.

۱-۹- تعاریف

اصطلاح ویتامین در سال ۱۹۱۰ توسط فانک مطرح شد تا از این طریق اصطلاح آمین ضروری برای حیات را تشریح کند که امروزه تیامین یا ویتامین B_1 می نامیم.

بنابراین، افزودن ترکیبات ضروری در میزان کم، ویتامین نامیده می شوند، حتی با وجودیکه برخی از آنها فاقد پروتئین بودند، بسرعت به عنوان ترکیبات ضروری برای حیات مطرح شدند.

طی مطالعات انجام شده، وضعیت های پاتولوژیک ناشی از کمبود ویتامین ها در حیوانات تغذیه شده با جیره های خالص مورد بررسی قرار گرفتند(ظاهرا علائم ناشی از کمبود ویتامین ها در حیوانات وحشی ناشناخته مانده است). نامگذاری ویتامین ها برای مثال آنتی پلاگرا، آنتی بری و ضد نرمی استخوان در نتیجه مطالعه این علائم بوده است. اگر چه منطقی‌تر بنظر می رسد که ویتامین ها بواسطه نقش مثبتشان در شرایط طبیعی همراه با قابلیت آنها در رفع تخریب های ناشی از یک کمبود، تعریف شوند. ویتامین ها به عنوان ترکیبات آلی ضروری برای موجود زنده سنتزنمی‌شوند و با اسیدهای چرب ضروری و اسیدهای‌آمینه ضروری تفاوت دارند. بنابراین، ویتامین ها ترکیبات غیر پلاستیکی و کاتالیتیک هستند که مشابه اسیدهای‌آمینه و اسیدهای چرب نبوده و به میزان بسیار کم مورد نیاز هستند.

توجه به این نکته ضروری است که ناتوانی سنتز ویتامین ها مربوط به تمامی ویتامین های موجود نیست. برای مثال، نیاسین می تواند از یک نوع اسید آمینه به نام تریپتوفان (به میزان بسیار کم در ماهی وجود دارد) ساخته شود، کولکلسی فرول (ویتامین D) در حضور اشعه ماوراء بنفش به میزان کافی (هر چند این اشعه به میزان بسیار کم به داخل آب نفوذ می کند) از کلسترول ها ساخته می شود. رتینول نیز از برخی پیش سازها(عمدتا بتا- کاروتن) مصرف شده از طریق جیره غذایی، تامین می شود. به این ترتیب، ناتوانی در سنتز ویتامین ها نسبی است. در مقابل، ترکیباتی نظیر کارنیتین به مقدار کم و ناقص سنتز می شوند. به این عوامل موثر در رشد به طور مختصر اشاره خواهد شد.

اسامی ویتامین ها هنوز هم پیچیده و مبهم است. در گذشته مرسوم بود که برای نامگذاری ویتامین از یک حرف بزرگ همراه با یک پسوند استفاده می شد. به دنبال برگزاری کنفرانس هایی و بر اساس دستورالعمل های ارائه شده فقط استفاده از نام مولکول لازم است، اما اغلب اوقات برای افراد غیر متخصص این نام ها پیچیده و بدون مفهوم است. همچنین هنگام استفاده از یک حرف بزرگ همراه با یک پسوند، بسیار نامشخص و دو پهلو می باشد. برای مثال، پانتوتنیک اسید در زبان آلمانی ویتامین B_3 ، در زبان انگلیسی B_5 و در زبان فرانسه B_3 یا B_5 عنوان می شود. اخیرا B_7 برای کولین طراحی شده و B_5 برای آدنین بکار میرود که یک باز پورین بوده و به عنوان عامل موثر بر رشد عمل می کند.

به این ترتیب، ضروری است که اسامی که از یک حرف بزرگ و پسوند ساخته شده اند در مـواردی بکـار روند که هیچ گونه ابهامی وجود ندارد.

۲-۹ - کلیات

۱-۲-۹) خصوصیات ویتامین ها و انواع آنها

اسید آسکوربیک مولکولی است کـه خصوصـیات ویتـامینی آن در بـین گونـه هـا متغیـر اسـت. در اکثـر مهره‌داران پریمات ها (شامل انسان) و برخی از گونه ها نظیر خوک هندی، این مولکول از گلـوکز سـاخته می شود. ماهی ها بزرگترین گروه از مهره داران را تشکیل می دهند که این مولکول در بدن آنها به عنوان نوعی ویتامین عمل می کند.

بعضی مواقع وجود فلور روده ای فعال باعث پیچیدگی موضوع می شـود، بـه ایـن صـورت کـه بسـیاری از باکتری ها میزان قابل توجهی از ویتامین های گروه B و K را سنتز می کنند و میزبان تا حد معینی میتوانـد از ویتامین های سنتز شده استفاده کند. یک حیوان با فلور فعال می تواند بسیاری از ویتامین هایی مورد نیـاز بدن را تامین کرده و نسبت به جذب آنها از طریـق جیـره غـذایی بـی تفـاوت باشـد. در مـاهی نقـش فلـور روده‌ای بجز در موارد بسیار کمی، محدود شده و جذب از طریق جیره تنها منبع تامین ویتامین هاست.

۲-۲-۹) طبقه بندی

ویتامین ها گروهی هستند که نه جـزء مـواد شـیمیایی بـوده و نـه عملکـرد آنهـا متجـانس و همگـون اسـت (جدول ۹-۱) بنابراین، طبقه بندی آنها بسادگی امکان پذیر نیست. براساس خصوصـیات فیزیکـی دو دسـته ایجاد شده اند: ۴ ویتامین حلال در چربی (ویتامین های A,D,E,K) یا ویتامین های گروه A که در روغنها و حلال هایشان حل می شوند و ۱۱ ویتامین حلال در آب که گاهی اوقات به ویتامین های گروه B نسـبت داده می شوند. در حقیقت کل ویتامین های حلال در آب ۸ عدد بوده، اما از آنجائیکه ویتامین C و کولین و اینوزیتول نیز در آب حل می شوند، جزء این گروه محسوب می شوند.

۳-۲-۹) پایداری و قابلیت دسترسی

حساسیت و آسیب پذیری برخی ویتامین ها در زمان فرمولاسیون و ساخت غذا یکی از دلایل عمده عدم کارآیی برخی مزارع پرورش است. تعدادی از ویتامین ها اصلا آسیب پذیر نبوده و بشدت پایدارند. برای مثال، اسید پانتوتنیک و نیاسین علاوه بر اینکه در محیطهای قلیایی جوشان پایدار می مانند، حتی پس از این تیمار نیز امکان دسترسی به آنها بیشتر می شود. اما بطورکلی، ویتامین ها حساس و شکننده بوده که در این خصوصیت آنها مشابه اسیدهای چرب ضروری می باشند. در زمان کاربرد این گروه از مواد غذایی به علت عملکردهای مجزا و متفاوت هر یک از آنها، باید احتیاط لازم در نظر گرفته شود. به این ترتیب، رتینول (ویتامین A) نسبت به اکسیداسیون، ریبوفلاوین (ویتامین B_2) نسبت به نور، اسید آسکوربیک نسبت به pH قلیایی و توکوفرول (ویتامین E) نسبت به گرما و اشعه ماورا بنفش حساسند. از نظر کاربردی، پایداری ویتامین ها تحت شرایط تعریف شده در ترکیبات طبیعی ساخته شده از مواد خام و مولکول های سنتز شده یکسان نیست و این مسئله در مورد محصولات تجاری از جمله نمک ها یا سایر اشکال صدق میکند که انتخاب آنها بر اساس پایداری و دوام آنها صورت می گیرد.

پالمیتات یا استات رتینول، استات توکوفرول و پانتوتنیک کلسیم به ترتیب نسبت به رتینول، توکوفرول و پانتوتنیک اسید بسیار پایدارند. ویتامینC یک ویتامین بی نهایت حساس و آسیب پذیر است، اما اشکال سولفاته و بخصوص فسفاته آن بسیار پایدار است. محصولات تجاری همواره به همان شکل گنجانده شده در جیره های غذایی، فعال نیستند. به این ترتیب، آلفا- توکوفرول استات یا فسفات آسکوربیل چون صرفا در شکل ویتامین های واقعی قابل جذبند، ابتدا بایستی هیدرولیز شوند.

جدول ۱-۹) طبقه بندی ویتامین ها

کارکردهای متابولیک	اشکال بیولوژیک فعال	اسامی شیمیایی	خانواده ویتامین ها
کوآنزیم پروهورمونال ها	رتینول رتینال اسید رتنیوئیک	رتینول، رتینال، اسید رتنیونیک رتینیل پالمیتات* یا استات بتا کاروتن (پروویتامین)	A
پروهورمونال ها	دی هیدروکسی ارگوکلسیفرول $(1,25(OH)_2D_2)$ دی هیدروکسی کولکلسیفرول $(1,25(OH)_2D_2)$	ارگوکلسیفرول(D_2) کولکلسیفرول(D_3)	D
ناقل H^+/e^- (پروتئین غشایی)	آلفا توکوفرول	توکوفرول ها ، آلفا- استات توکوفرول*	E
کوآنزیم، ناقل H^+/e	فیلوکوئینون مناکوئینون	فیلوکوئینون (k_1) مناکوئینون (k_2)، منادیون (k_3)*	K
کوآنزیم	تیامین پیروفسفات (TPPH) تیامین تری فسفات (TTPH)	تیامین کلروهیدرات *	B_1
کوآنزیم، ناقل H^+/e	فلاوین مونونوکلئوتید (FMN) فلاوین آدنین دی نوکلئوتید (FAD)	ریبوفلاوین	B_2
کوآنزیم، ناقل H^+/e	نیکوتین آمید آدنین دی نوکلوتید (NAD)، نیکوتین آمید آدنین فسفات دی نوکلئوتید (NADP)	نیاسین اسید نیکوتینیک نیکوتین آمید	PP
کوآنزیم، ناقل H^+/e	کوآنزیم A (COA) ناقل پروتئین آسیل (ATP-ACP) آسیل پروتئین ترانسپورتاز	پنتوتنیک اسید کلسیم ، پانتوتنات *	$[B_5]$
کوآنزیم	پیریدودکسال فسفات بیوتینیل – AMP	پیرودوکسین، پیریدوکسال، پیریدوکسامین، پیریودوکسین، کلروهیدرات	B_6
کوانزیم	بیوتینال- AMP	بیوتین	$[B_8]$
کوآنزیم	تتراهیدروفولات (THF)	فولیک اسید ، پلی گلوتامات	$[B_9]$
کوآنزیم	متیل کوبالامین آدنوزیل کوبالامین	کوبالامین	B_{12}
ناقل H^+/e (کوآنزیم؟)	آسکوربیک اسید دی هیدروآسکوربیک اسید	آسکوربیک اسید دی هیدروآسکوربیک اسید آسکوربیل فسفات *	C

[ ] اصطلاحات غیر متعارف *: ویتامرها

٤-۲-۹) ویتامرها و آنتی ویتامین ها

با توجه به فعالیت یک ویتامین مشخص، چندین ویتامر(ایزومر ویتامین که اثرات ناشی از کمبود ویتامین را کاهش می دهد) می تواند وجود داشته باشد. این ترکیبات ممکن است شامل یک خانواده کامل از ترکیبات موجود در طبیعت یا ترکیباتی باشند که به میزان کم هنگام متابولیسم تغییر می‌کنند (اشکال بیولوژیک که فعال باقی می مانند) یا مولکول های کاملا سنتز شده که از نظر تجاری به دلیل هزینه سنتز یا پایداری فروخته می شوند. اصطلاح ویتامین های غیر فعال (پروویتامین ها[1]) عنوانی است که عمدتا در مورد کاروتنوئید ها بکار می رود و برابر با موادی است که ویتامرها در مفهوم گسترده‌شان جزء آنها محسوب می شوند. ویتامرهای مختلف از نظر مولکولی سطح فعالیت غذایی یکسانی ندارند که در مفهوم قابلیت دستیابی زیستی تعریف شده است.

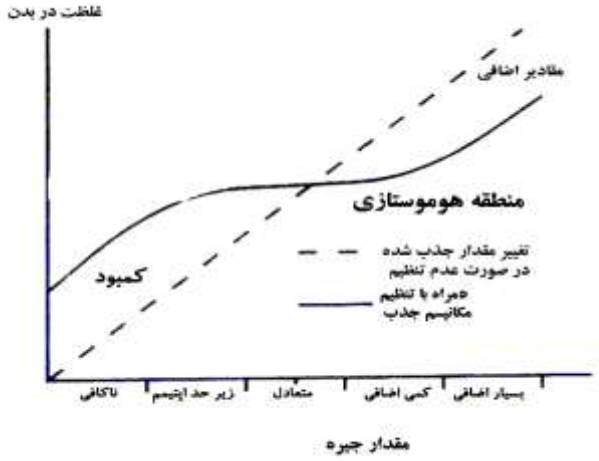
یکسری از ترکیبات به عنوان آنتی ویتامین تعریف می شوند که می توانند شامل آنزیم هایی مانند تیامیناز باشند که ویتامین ها را هیدرولیز می کنند یا موادی که جذب روده ای را متوقف می‌کنند مثل آنتی بیوتیک ها و سایر داروها یا آنتاگونیست های مصنوعی یا طبیعی مثل ترکیباتی که به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین آنتی ویتامین ها یکسری از داروها را نیز دربر می‌گیرند.

۵-۲-۹) جذب

برخی ویتامین ها بخصوص آن دسته از ویتامین هایی که به گروه ویتامین های B موجود در بافتها مربوط می شوند، باید قبل از جذب، در دستگاه گوارش هیدرولیز شوند. به این ترتیب، یک مرحله هضم اصلی وجود دارد که همراه با فعالیت پروتئازهاست، همچنین آنزیم هایی نظیر استرازها یا فسفاتازها که زیاد اختصاصی نیستند، در این مرحله فعالیت می کنند. جذب ویتامین صرفا در مهره داران عالی بخوبی شناخته شده است و چندین مکانیسم مجزا در جذب آن دخالت دارند که برخی از آنها کاملا تخصصی هستند. گروه ویتامین A در ابتدا در داخل میسل ها (اسیدهای چرب آزاد و مونودی آسیل گلیسیرول ها) جذب می شوند. ویتامینهای گروه B معمولا ناقلهای فعالی دارند که فعالیت آنها توسط پدیده انتشار تسهیل شده یا حتی انتشار غیر فعال، کامل می شود. برای مثال، تیامین از طریق انتشار غیر فعال و انتقال فعال جذب می‌شود. در مورد انتقال فعال، فعالیت انتقال دهنده از طریق وضعیت تغذیه‌ای قابل تنظیم است.

---

[1] provitamins



شکل ۱-۹) نحوه تنظیم غلظت های ویتامین در بافت ها

این فعالیت در زمان کمبود بالاتر است، اما هنگام بالا بودن میزان ورود، کاهش می یابد. این پدیده بسیار مهمی است که به منظور تامین شرایط هوموستازی ویتامینی انجام می شود (شکل ۱-۹).

٦-۲-۹) نقش متابولیک

اختصاص یک نقش ویژه متابولیک به دو گروه ویتامین های A وB غیر ممکن است. گروه ویتامین های B در واقع به مولکول هایی اتلاق می شوند که در متابولیسم حد واسط در گیاهان و جانوران ضروری هستند(به عنوان نوعی کوآنزیم عمل می کنند)، در حالیکه گروه ویتامین A نقش متفاوتی داشته وگاهی فقط در حیوانات دیده می شود. طبقه بندی جدیدی براساس ۴ عملکرد اصلی ویتامین ها ارائه شده و به شرح ذیل است(Combs,1992):

- نقش کو آنزیمی(۱۱ ویتامین)
- ناقل پروتون ها یا الکترون ها (۶ ویتامین)

- نقش پیش ساز هورمونی (۲ ویتامین)
- محافظ غشایی(۲ ویتامین)

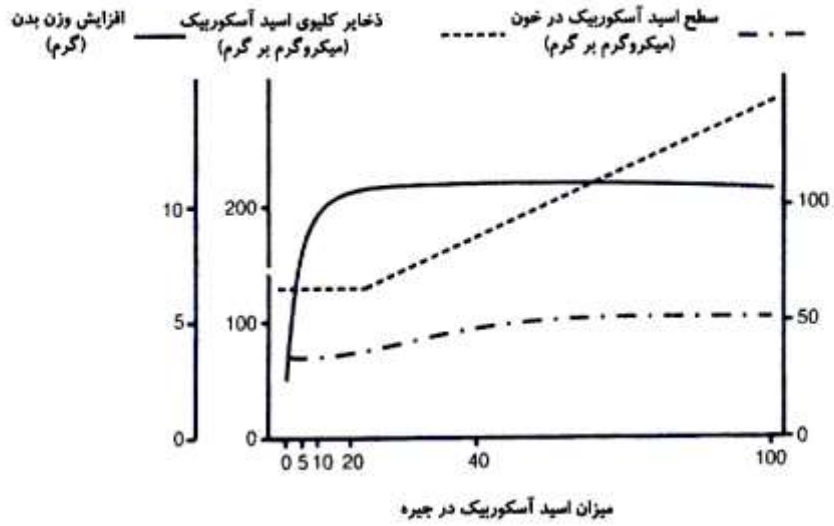
از بین تمامی ویتامین ها، ۵ عدد از آنها چندین نقش داشته و حتی در پستانداران نیز فقط برخی مکانیسم ها و عملکردهای آنها کشف شده اند.

۷-۲-۹) استانداردهای غذادهی و نیازها، علائم کمبود و مسمومیت ها

از نظر تئوری، همانند هر ماده غذایی به منظور تعیین نیاز ویتامین، از منحنی پاسخ بر حسب دوز مصرفی استفاده می شود. از شاخص های مختلفی همچون نرخ رشد، وضعیت منابع تامین ویتامین ها، عملکرد بیوشیمیایی و حتی نرخ بقا یا علائم کمبود می توان جهت تعیین میزان پاسخ استفاده کرد. کاربرد هر یک از این شاخص ها نتایج متفاوتی نیز در پی خواهد داشت(شکل۲-۹).

همچنین مواردی نظیر قابلیت دسترسی یا پایداری ویتامر، واکنش های زنجیره ای بین مواد غذایی و حتی مسائل تجزیه و تحلیلی نیز می توانند مسئله را پیچیده کنند. از بین تمامی واکنش های در نظر گرفته شده، واکنش های صورت گرفته بین ویتامین ها مهمترند که به اثرات ناشی از کمبود اتلاق می شوند. این واکنش ها منجر به برآورد بیش از حد نیازها نسبت به یک ویتامین مشخص در صورت ورود بیش از حد سایر ویتامین ها، می شوند. این مسئله دقیقا در ماهی به اثبات رسیده است. بنا به دلایل مذکور، نیازهای ویتامینی نسبت به نیازهای اسیدهای‌آمینه با دقت کمتری تعیین شده اند. علاوه براین، چانچه منابع ذخیره‌ای بتوانند به مدت چند هفته یا حتی چند ماه نیاز ها را برآورده کنند، برآورد حدود اطمینان ۱۰۰ درصد برای مقادیر موجود در غذا بسیار عادی است. ورود مقادیر اضافی ویتامین ها بجز در مورد گروه ویتامین B که براحتی از طریق ادرار دفع می‌شوند، می توانند مضر باشند. در ماهی اثرات مفید مقادیر اضافی منادیون(که به عنوان وایتامر صنعتی ویتامین K) و رتینول به اثبات رسیده است. بعضی ویتامین ها خصوصیات دارویی دارند و استانداردهای غذایی را به میزان زیادی افزایش می دهند. این ویژگی در مورد ویتامین C صادق است که گاهی اوقات در دوزهای بالا در آبزی پروری استفاده می شود.

علائم کمبود که کم و بیش از ویژگی های یک ویتامین است، در جدول ۲-۹ ارائه شده است.



شکل ۲-۹) منحنی دوز براساس پاسخ بدست آمده برای اسید آسکوربیک در قزل آلا که اختلاف بین معیارهای انتخاب شده را نشان می دهد(Halver, 1972b)

۳-۹ - ویتامین های با عملکرد کوآنزیمی ساده

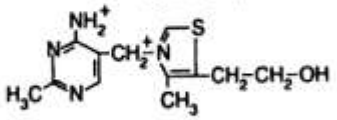
فرمول این ویتامین ها در کادر ۱- ۹ ارائه شده است.

۱-۳-۹) تیامین (ویتامین B_1)

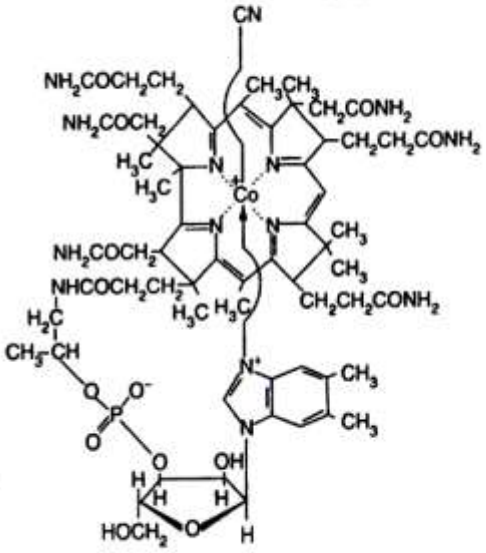
این ویتامین در زمینه متابولیسم هیدراتهای کربن، در چند سطح متابولیسم حد واسط نقش مهمی ایفا می کند. تیامین می تواند فسفره شده و تیامین مونو، پیرو و تری فسفات را تولید کند. در متابولیسم، عملکرد پیرو فسفات تیامین (TPP) و تری فسفات تیامین(TTP) اهمیت ویژه ای دارد. TPP آنزیمی است که به عنوان ناقل گروه آلدئید در واکنش های اکسایشی دکربوکسیلاسیون، α- کتو اسیدها مثل اسید پیروات و α- کتو گلوتاریک اسید از سویی یا سایر کتواسیدهای حاصل از اسیدهای‌آمینه شاخه‌دار از سوی دیگر، عمل می کند. این زنجیره از واکنش ها توسط گروهی از آنزیمهایی کاتالیز میشوند که به شکل کوآنزیم در فعالیت سایر آنزیم ها مشارکت می کنند که FAD (ریبوفلاوین) و NAD (نیاسین) از جمله این آنزیم ها هستند.

کادر ۱-۹) فرمول ویتامین های کوآنزیمی

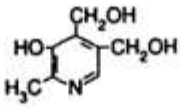
تیامین (B_1)



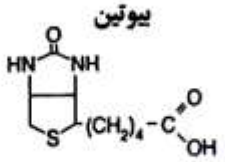
سیانوکوبالامین (B_{12})



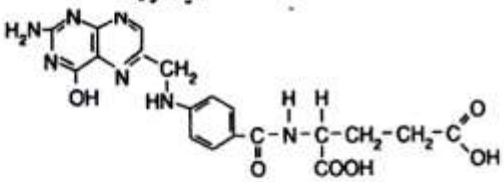
پیریدکسین (B_6)



بیوتین

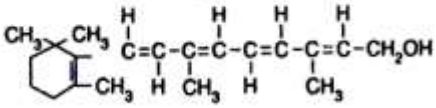


اسید فولیک

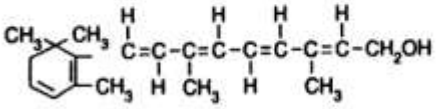


رتینال (A)

رتینال ۱ (A_1)



رتینال ۲ (A_2)



جدول ۲-۹) علائم مهم ناشی از کمبود ویتامینها و شاخص های پاسخ در گونه های مختلف

معیارهای پاسخ	علائم مهم کمبود	ویتامینها
افزایش وزن بدن و ذخائر بافتی (کبد، اریتروسیت ها)، فعالیت ترانس کتولاز	مشکلات عصبی(Sa,CF,E,C,T)، ملانیسم(CF,Y)، بی رنگ شدن پوست (C)، جمع شدگی باله ها (SB, E,Y)، هموراژی زیرپوستی(E,C,SB)	تیامین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی و فعالیت ترانس آمینازها	مشکلات عصبی : شنای نامنظم، تشنج و نا آرامی، حساسیت فوق العاده (Sa,CF,E,C,Y)، تغییر رنگ سبز-آبی (CF)	پیریدوکسین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت کربوکسیلاز استیل کوآنزیم A و پیروات کربوکسیلاز ، مقاومت در برابر شنا	تجزیه لاملای آبششی،تحلیل رفتن عضلات، تجزیه آسینی(acini) پانکراتیک (Sa)، بی رنگ شدن پوست(CF)، ملانیسم(E)، افسردگی، بی حالی(C,Y)	بیوتین
افزایش در وزن بدن، ذخائر کبدی، هماتوکریت	بی حالی و کم خونی(Sa,CF)، ملانیسم(Sa,E)، افزایش عفوت های باکتریایی(CF)، جمع شدگی باله ها (Y)	اسید فولیک
ذخائر کبدی	کم خونی همرا با کاهش مقدار هموگلوبین خون و خرد شدن انتروسیت ها(Sa)، پایین آمدن هماتوکریت(CF) جمع شدگی باله ها و کم خونی (Y)، بی اشتهایی(E)	کوبالامین ها
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	ضایعات چشمی همراه با تجزیه رتینا(Sa)، بی رنگ شدن پوست و برآمدگی غیر عادی کره چشم(Sa,C,CF)، تورم(ادم) (Sa,CF)، ملانیسم (Y)، هموراژی (CF,C,Y)	رتینول
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز و DAAO	بی حالی(Sa,E)، ملانیسم(Sa,Y)، نورگریزی(Sa,C)، نانیسم(CF)، تورم پوست (درماتیت) (E)، نکروز کلیوی(C)، هموراژی باله ای(Sa,E,C)، کدورت قرینه (Y,Sa)	ریبوفلاوین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	کم خونی(Sa,CF)، حساسیت به نور (SA)، تورم غیر عادی چشم (CF)، شنای غیر عادی(E)، بدشکلی باله ها (CF)، مرگ و میر (CF,Y). جراحت و هموراژی در پوست و باله ها (Sa,CF,C,Y)	نیاسین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	تحلی آسینی پانکراتیک(Sa)، برآمدگی غیرعادی کره چشم(C)، درماتوز(E)، مرگ و میر (Sa,CF,Y,SB)، رشته های آبششی گرزی شکل(Sa,CF,Y)، هموراژی پوستی(E,C)	پانتوتنیک
هماتوکریت	تاخیر در لخته شدن خون همراه با کم خونی، هموراژی در آبشش ها و چشم ها (Sa)، هموراژی پوستی(CF)	منادیون
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی و کلیوی، محتوای کلاژن مهره ای، تیروزینامیا	لردوزیز، اسکولیوزیز(Sa,CF,Y)پیچ خوردگی رشته های آیششی(Sa)، آسبت(آب آوردگی شکم) (Sa,T)، ملانیسم(Y,T)، هموراژی خارجی و داخلی(Sa,CF,E,Y)، ساییدگی فک پایینی(E)، گرانولوماتوزیز کلیه ای(T).	اسید اسکوربیک
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	بی رنگ شدن پوست(Sa,CF)، ملانیسم(Y)شکنندگی اریتروسیت ها(Sa)، اگزوفتالمی و لوردوزیز(C)، دیستروفی عضلانی(Sa,CF,C)	توکوفرول ها
افزایش وزن بدن، بازدهی غذایی	وقفه در هموستازی کلسیم و کزاز (Sa)، تحلیل کلسیم استخوان ها (CF)	کلسیفرول
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، محتوای لیپید کبد	بیماری کبد چرب(Sa,C)، ملانیسم(Y)، اگزوفتالمی (Sa)، هموراژی کلیوی و روده ای (Sa,CF)، خاکستری شدن روده (E)	کولین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت کولین استراز و ترانس آمیناز	ملانیسم(Sa,Y)، کم خونی همراه با ساییدگی باله ها (Sa)، خاکستری شدن رنگ روده (E)، عدم ترشح موکوس پوستی (C)	اینوزیتول

کفشک : T- کپور: C - دم زرد : Y- مارماهی : E - گربه ماهی : CF - آزادماهیان : Sa - شانک دریایی :SB

به طور مشابه، طی دو واکنش انتقال دهنده کتونی که در مسیر فسفات پنتوز رخ میدهد، TPP در انتقال رادیکال های گلیکوآلدئیدی، مشارکت می کند. TTP نقش مهمی در انتقال عصبی دارد.
کمبود تیامین در مارماهی، کفشک، گربه ماهی و بخصوص در قزل آلا مشاهده شده و بیشترین علائم کمبود مربوط به مشکلات عصبی است که مشابه پستانداران می باشد. با در نظر گرفتن معیار های مربوط به پاسخ، نظیر افزایش در وزن بدن یا فعالیت ترانس کتولاسیک، میزان نیاز ها بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم از جیره غذایی قزل آلای جوان از یک جیره خالص سازی شده برآورد شده است. برای سایر گونه ها نظیر گربه ماهی، کپور و کفشک نیز مقادیر مشابهی توصیه شده است. بنظر نمی رسد که نیازها ارتباطی با پتانسیل مصرف هیدراتهای کربن در گونه های مختلف داشته باشند.

۲-۳-۹) پیریدوکسین (ویتامین B_6)

این ویتامین آنزیم اصلی در متابولیسم اسیدهای آمینه است. با توجه به نام ویتامین B_6 سه ویتامر مشتق شده از پیریدین وجود دارند که از لحاظ عملکرد با یکدیگر متفاوتند . به این معنی که الکل (پیریدوکسن یا پیریدوکسیل) ، آلدئید (پیریدوکسال) یا آمین (پیریدوکسامین) هر سه در سلول های کبدی به صورت کوآنزیم فعال تغییر شکل می دهند از جمله فسفات پیرودوکسال که در بسیاری از سیستم های کاتالیتیک نظیر ترانس آمیناز ها ، ترانس سولفاتازها و ترانس فرازها شرکت می کند. فسفات پیریدوکسال همچنین امکان دکربوکسیلاسیون اسیدهای‌آمینه را فراهم می کند و در ساختن آمین های بیوژنیک به عنوان حد واسط های عصبی (هیستامین، سروتونین یا ۵- هیدروکسی تریپتوفان، تیرامین، دوپامین و غیره) نقش دارد. همچنین به عنوان جایگزینی برای دهیدراتازها در دی آمیناسیون برخی اسیدهای‌آمینه عمل می کند. ویتامین B_6 دارای نقشهای دیگری نیز هست که از جمله شامل سنتز کردن آنزیم های پانکراتیک تا متابولیسم گلیکوژن و حتی فعالیت سیستم ایمنی است.
ماهی ها تمایل زیادی به خوردن گوشت بویژه در اوایل زندگی دارند و بسرعت علائم کمبود پیریدوکسین به شکل مشکلات عصبی (شامل تشنج، شنای غیر عادی و حساسیت فوق العاده) بروز می نمایند که ناشی از کاهش سنتز حدواسط هاست. رشد قزل آلای جوان با افزودن ۲ میلی گرم پیریدوکسین به ازای هر کیلوگرم غذا بهبود می‌یابد که برابر با ۰/۵ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم پروتئین است.

میزان نیاز سایر گونه ها نظیر کفشک، سیم دریایی و گربه ماهی کانالی مشابه قزل آلا بوده و برابر با ۱ تا ۳/۲ میلی گرم بر کیلوگرم غذا می باشد. فعالیت دو نوع از ترانس آمینازهایی که مشترکا اندازه گیری شده، شامل ترانس آمیناز گلوتامات- اگزالواستات (GOT) و ترانس آمیناز پیروات-گلوتامات (GPT) در بافت های مختلف(کبد،عضلات و اریتروسیت ها) به عنوان معیارهای پاسخ در تعیین نیازهای قزل آلا، کفشک و سیم دریایی استفاده می شود. در قزل آلا چنانچه نتایج بر اساس حداکثر فعالیت GOT در عضله سفید و نه بر اساس رشد، حاصل شده باشند، نیازها سه برابر بیشتر برآورد می شوند. براساس یک مقایسه بین گونه ای، بنظر نمی رسد برخلاف آنچه از نقش این ویتامین در متابولیسم پروتئین انتظار میرود، نیازهای پیریدوکسین مربوط به پروتئین های جیره بوده و از طریق آن تامین شود.

۳-۳-۹) بیوتین

بیوتین به عنوان یک کوآنزیم پس از فعال شدن به شکل AMP- بیوتینیل در کربوکسیلاسیون و دکربوکسیلاسیون (انتقال CO_2) شرکت می کند. از آنزیم های اصلی شرکت کننده در این واکنش ها عبارتند از: پیروات کربوکسیلاز، که در متابولیسم گلوکز(گلیکولیز و نئوگلوکوژنز) شرکت می کند، استیل کوآنزیم A – کربوکسیلاز و آنزیم های لیپیدی که در سنتز اسیدهای چرب یا چربیها دخالت دارند، پروپیونیل- کوآنزیم A – کربوکسیلاز، که تغییر شکل پروپیونیل کوآنزیم A حاصل از تجزیه اسیدهای چرب و برخی اسیدهای‌آمینه به متیل مالونیل-کوآنزیم A را کاتالیز می کند و بتا متیل کروتونیل- کوآنزیم A – کربوکسیلاز که در جریان تجزیه شدن لوسین عمل می کند.

علائم ناشی از کمبود بیوتین در چند گونه تشریح شده که به نظر می رسد تعداد بسیار کمی از آنها اختصاصی باشند. علاوه بر این، این علائم به هنگام تغذیه ماهی بر اساس جیره حاوی عناصر طبیعی، به هیچوجه مشاهده نشده است. مقادیر حاصل از جیره های خالص سازی شده، برای آلوین های قزل آلا با توجه به معیار افزایش وزن بدن، میزان ۰/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم از غذا تعیین شده و برای حداکثر فعالیت پیروات کربوکسیلاز در عضلات سفید ۰/۱۴ میلی گرم بیوتین به ازای هر کیلوگرم از غذا لازم است.

٤-۳-۹) اسید فولیک و پلی گلوتامین ها

اسید فولیک به عنوان یک کوآنزیم در واکنش های انتقالی مونوکربن ها ایفای نقش می کند. مولکول اسید فولیک از یک هسته پتریدین متصل به پاراآمینوبنزوئیک اسید (گاهی اوقات به عنوان ویتامین یا وایتامر اسید فولیک در نظر گرفته می شود) تشکیل شده و به این شکل پتروئیک اسید تشکیل می شود. این اسید به یک یا چند مولکول اسید گلوتامیک متصل شده و پلی گلوتامات ها یا فولات ها را در غذا یا بافت ها ایجاد می کند. این مولکول ها به شکل تترا هیدروفولات (THF) در حضور ویتامین B_{12} و $NADPH_2$ فعال می شوند. همانند کوآنزیم آنزیم های پتروپروتئینی، THF در انتقال و تغییر و تبدیلات داخلی گروههای مونوکربنه، متابولیسم هیستیدین و گلایسین و تغییر و تبدیلات داخلی سرین و گلایسین شرکت دارند. سنتز پروتئین با دخالت فورمیل متیونین آغاز می شود که این ترکیب روی یک RNA ناقل حمل می شود. سنتز این RNA در صورت وجود THF صورت می گیرد. این ویتامین در سنتز پورین و بازهای پریمیدین نیز شرکت دارد.

علائم مختلف ناشی از کمبود این ویتامین درچندین گونه ماهی به جز کپور معمولی مشاهده شده است. بیشترین علائمی که در اکثر گونه ها مشاهده شده، شکل خاصی از کم خونی (کم خونی ماکروسیتیک) بودکه معمولا با بی اشتهایی و کاهش وزن بدن مرتبط است. اگرچه غلظت ۰/۳ میلی گرم از این ویتامین بر کیلوگرم جیره خالص سازی شده برای بهترین بازماندگی کافی است، اما غلظت ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم برای حداکثر رشد و ۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم برای اشباع شدن بافت هایی نظیر کلیه و کبد در قزل آلای جوان مورد نیازاست.

بنظر می رسد که در بعضی گونه ها نظیر کپور این نیازها پایین باشدکه به دلیل سنتز این ویتامین ها توسط فلور روده ای است. برای تغذیه آزاد ماهیان یک میلی گرم از این ویتامین به ازای هر کیلو گرم از غذا توصیه شده است. (NRC,1993) .

۵-۳-۹)کوبالامین ها (ویتامین B_{12})

اصطلاح ویتامین B_{12} برای چندین ماکرومولکول خویشاوند با نام کوبالامین ها بکار می‌رود که سیانوبالامین ها معروفترین آنهاست. این مولکولها از یک هسته تترا پیلوریک در مرکز اتم کبالت تشکیل شده که به ۴ اتم نیتروژن و یک گروه نوکلئوئید کاذب اتصال می یابند.

رادیکالهای مختلفی به اتم کبالت می چسبند که مهمترین آنها CN,OH,CH_3, و ۵- دزوکسی آدنوزیل بوده و بترتیب سیانو کوبالامین، هیدروکسوبالامین، متیل کوبالامین وآدنوزیل کوبالامین را تشکیل می دهند. متیل کوبالامین و آدنوزیل کوبالامین، اشکال کوآنزیمی هستند که در دو نوع واکنش فعالند:

a) واکنش های ایزومری کردن: نظیر واکنشهایی که در متابولیسم لوسین یا تبدیل متیل مالونین-کوآنزیم Aبه سوکسینیل کوآنزیم A دخالت دارند که یک متابولیسم کننده در چرخه کربن است.

b) واکنش های انتقال دهنده گروه متیل: که به متیل کوبالامین ها همچون رادیکال های متیل به عنوان ناقل گروههای مونوکربنی نیاز دارند. کوبالامین ها نقش بسیار مهمی در متابولیسم فولات ها ایفا می کنند. بنابراین،کاهش میزان مصرف آنها ،علائم بارزی بهمراه دارد که این علائم مشابه علائم کمبود اسید فولیک است.

ویتامین B_{12} که فقط در بافت جانوری و بعضی موجودات زنده وجود دارد به میزان بسیار کم مورد نیاز است و علائم کمبود صرفا در طولانی مدت ظاهر می شود. بارز ترین نشانه کمبود، بی اشتهایی خطرناک است (کم خونی هایپوکرومیک میکروسیسنیک) که مشاهده آن در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی محتوی خوراکهای حیوانی، غیر ممکن است. نیاز به این حداقل در ماهی های گرمابی نظیر تیلاپیا، گربه ماهی یا کپور بصورت کامل یا تا قسمتی توسط میکرو ارگانیزمهای فلور روده، تامین می شود. بطورکلی، میزان نیاز به ویتامین B_{12} در بین ویتامین ها، در کمترین حد بوده ودر قزل آلا این میزان به ۷ میکروگرم سیانو کوبالامین در هر کیلوگرم از جیره خالص سازی شده می رسد. در مورد سایر گونه ها بجز ماهی دم‌زرد که ظاهراً میزان نیاز آن بیش از قزل آلاست (۵۳ میکروگرم در هر کیلو گرم غذا) هنوز میزان مشخصی تعیین نشده است.

٦-۳-۹) رتینول (ویتامین A)

ویتامین A از مشتقات الکلی است که از کاروتنوئیدها گرفته شده و عمدتاً به عنوان کوآنزیم عمل می‌کند و در مکانیزم های هورمونی مرتبط با فرآیند بینایی نیز دخالت دارد. این مولکول از یک هسته بتا- آیونون متصل به زنجیره ای از واحد های سه تایی ایزوپرونوئیدی که به یک واحد الکلی ختم می شود، تشکیل شده است. این مولکول شبیه نیمی از یک مولکول بتا- کاروتن است.

فعالیت بتا- کاروتن بیشتر از ۵۰ درصد فعالیت رتینول نیست و در ماهی این مقدار در حد پایین تر(کمتر از ۲۰ درصد) کشف شده است. ویتامینA در سه شکل الکل (رتینول)، آلدئید(رتینال) یا اسید(اسید رتنیونیک)وجود دارد .

به علت وجود ۴ پیوند دوگانه در زنجیره کناری،شش ایزومر از ویتامین A ایجاد می شود که فعالترین شکل آن E کامل(در گذشته ترانس کامل می گفتند) بوده که در حال حاضر به شکل مصنوعی تولید میشود. درماهی، بخصوص در ماهیان آب شیرین مولکولی کشف شده که تنها به میزان اندکی با رتینول واقعی(A_1) تفاوت دارد. رتینول۲(A_2) تنها در داشتن یک پیوند دوگانه بیشتر در هسته بتا- آیونون با A_1تفاوت دارد، اما فعالیت هر دو آنها مشابه است.

حضور رتینول در ترکیب رتینین خاکستری و رودوپسین (کرومو پروتئین میله ای) به منظور سازگاری با تاریکی ضروری است. همچنین در ترکیب رنگدانه های وابسته به مخروطهای رتینالی یا آیودوپسین ها نیز وجود دارد که برای مشاهده رنگ اشکال عمل می کنند. در تمامی این رنگدانه ها مولکول ویتامین A به شکل آلدئید(رتینال) است. درک روشنایی از طریق ایزومر شدن و تبدیل به شکل ابتدایی توسط یک جریان عصبی صورت می گیرد و رتینال به عنوان یک کوآنزیم در این واکنش عمل می کند. ویتامین A مدتهاست که به عنوان ویتامین موثر بر رشد شناخته شده است. این ویژگی کمتر مستند شده و از این واقعیت سرچشمه می گیرد که اسید رتینوئیک، مشتق اکسید شده رتینال، در کنترل بینایی موثر نیست اما در عملکردهای متابولیک بسیار مهم شرکت دارد و سلولها دارای گیرنده های این ترکیب هستند. این اسید و مشتقات آن (رتینوئیدها) نظیر هورمونهای استروییدی، از طریق تحریک RNA پیغام بر و سنتز پروتئین مخصوص عمل می کنند. این ترکیبات موجب تحریک تمایز سلولی بخصوص سلولهای قشر سطحی یاخته،ترشح موکوس، پاسخ های ایمنی و کارکرد های تولید مثلی شده و در مقابل سرطان از بدن محافظت می کنند.

کمبود این ویتامین ها در ماهی منجر به کاهش نرخ رشد می شود. جدا از ضایعات بینایی، علائم بخصوص کمتر شناخته شده و کمبود آن مرگ و میر ناشی از بینایی را در پی نداشته است. مقادیر اضافی این ویتامین برای ماهی سمی است و همان گونه که در مهره داران عالی مشاهده شده، منجر به سوختگی می شود. این علائم هنگام استفاده از مقادیر بسیار بالای این ویتامین در شرایط استثنائی دیده شده تاجائیکه استفاده از کبد شیردریایی یا وال در ترکیب غذای مورد استفاده در پرورش ماهی متوقف گردید.

بالا رفتن مقادیر ویتامین A در لاروها هنگام استفاده از روغن کبد ماهی کاد مشاهده گردید. در مطالعه صورت گرفته توسط محققان ژاپنی در سال ۱۹۶۷ در ارتباط با مقادیر مورد نیاز ویتامین A برای تغذیه قزل آلا بر اساس شاخص های مختلف شامل بازماندگی، رشد، شاخص هپاتوسوماتیک و محتوای پروتئین و لیپید کبد، مواردی پیشنهاد گردید. بر اساس این برآوردها، مقدار ۲۵۰۰IU ویتامین A به ازای هر کیلوگرم غذا برای قزل آلا و گربه ماهی کانالی توصیه گردید که این میزان مشابه مقادیری است که برای خوکها و ماکیان ارائه شده است. با این وجود، این مقادیر نیاز به ارزیابی مجدد بر اساس جیره خالص‌سازی شده دارد.

٤-۹ - انتقال و اکسیداسیون – احیا ویتامین های کوآنزیمی

ساختار شیمیایی این ویتامین ها در کادر ۲-۹ ارائه شده است.

۱-٤-۹) ریبو فلاوین (ویتامین B_2)

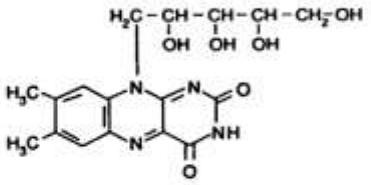
این ویتامین دارای نقشی اساسی در واکنش های اکسیداسیون- احیا است. مشتقات فعال بیولوژیک آن شامل ریبو فلاوین فسفات یا مونونوکلئوتید(FMN) بوده که از طریق اتصال با یک مولکول AMP به شکل فعال ثانویه دی نوکلئوتید آدنین فلاوین(FAD)تبدیل می شوند و همراه با کوآنزیم های احیاکننده (بی هوازی) و اکسید کننده (هوازی) در واکنش های کاتابولیسمی اکسیداسیون –احیا دخالت می کنند. این واکنش ها شامل :

- کاتابولیسم اسید های چرب طی جریان بتا اکسیداسیون
- کاتابولیسم سری D یا L آمینواسیدها؛ دی آمیناسیون آنها توسط L – آمینواکسیداز (با فعالیت پایین) در حضور FMN و یا D – آمینواکسیداز (DAAO) در حضور FAD انجام می شود.
- کاتابولیسم بازهای پورین نظیر آدنین و گوانین؛ اجزاء اسیدهای نوکلئیک بوده و تجزیه آنها توسط گزانتین اکسیداز به FAD نیاز دارد.

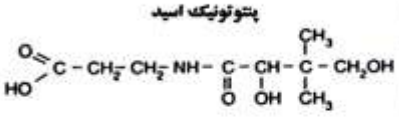
کادر۲-۹) فرمول ویتامین ها

ویتامین های اکسایش - احیا

ریبوفلاوین (B_2)

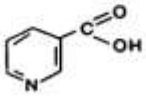


پنتوتونیک اسید

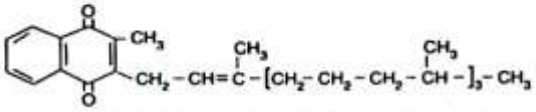


ویتامین K

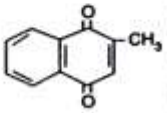
نیاسین (PP)



فیلوکونینون (K_1)



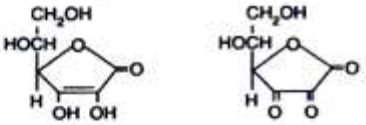
مناديون (K_3)



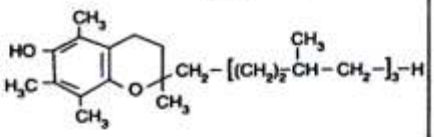
ویتامین های آنتی اکسیدان

ویتامین C

آسکوربیک اسید

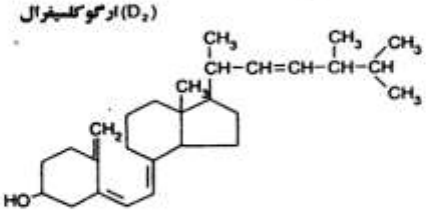


آلفا توکوفرال (E)

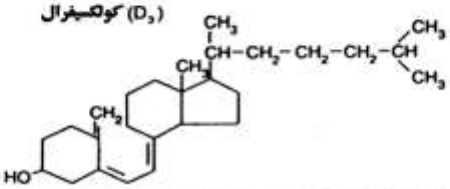


ویتامین های پیش ساز هورمون ها

ارگوکلسیفرال (D_2)

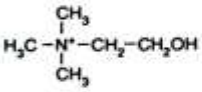


کولکسیفرال (D_3)

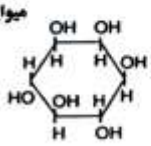


شبه ویتامین ها

کولین



میواینوزیتول



- کاتابولیسم متابولیت های داخل چرخه TCA که در این چرخه ساکسینات دی هیدروژناز که یکی از ۴ واکنش مربوط به احیا شدن توسط FAD می باشد را تسریع می کند، در حالیکه ۳ واکنش باقی مانده درسیستم کوآنزیمی دیگری (شامل نیاسین) انجام می شوند، NAD/NADH توسط FAD در داخل چرخه تنفسی مجدداً اکسید می شود.

همچنین FAD که در احیای گلوتاتیون دخالت می کند، برای حفظ انسجام سلولی گلبول های قرمز خون ضروری است . شایان ذکر است که ریبوفلاوین به صورت FMN ، در تغییر شکل ویتامین هایی نظیر پیرودوکسین به حالت فعال بیولوژیک آن نقش دارد.

علائم مختلف ناشی از کمبود این ویتامین در بین گونه ها بسیار متفاوت است و ضایعات چشمی، خونریزی های مختلف، ملانیسم وغیره از جمله آنها می باشند. مطالعات انجام شده با استفاده از جیره خالص سازی شده مورد تغذیه قزل آلا حداکثر میزان نیاز به این ویتامین را برای رشد حدود ۴ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم غذا برآورد نموده اند. در حالیکه غلظتی معادل ۶ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا به منظور اشباع شدن بافت ها از فلاوین (کبد، کلیه، طحال) یا حداکثر DAAO کبدی مورد نیاز است. یافته های اخیر نشان داده اند که این آنزیم نسبت به ردوکتازگلوتایتون اریتروسیتی (GR) شاخص بهتری از وضعیت ویتامین در قزل آلاست.

۲-٤-۹) نیاسین (ویتامین PP)

مقدار نیاز به این ویتامین نسبت به سایر ویتامین ها بیشتر است و همان طور که قبلا به آن اشاره شد میزان کمی از آن توسط ماهی سنتز می شود. این ویتامین در دو شکل ویتامر وجود دارد : نیکوتینیک اسید، شامل پیریدین- ۳- کربوکسیلیک اسید که شکل آمیدی یا نیکوتینامید این ویتامین است و ویتامر دیگر، پیش ساز دو کوآنزیم فعال شامل نیکوتینامیدآدنین دی نوکلئوتید(NAD) و نیکوتینامید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (NADP) بوده که در واکنش های اکسیداسیون – احیا شرکت می کند. این ویتامینها در بسیاری از هیدراتهای کربن (بیش از ۲۰۰ هیدرات کربن)، به عنوان ناقل هیدروژن در متابولیسم اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه عمل می‌کنند. NAD به عنوان کوآنزیم بسیاری از دهیدروژنازها، طی فرآیند گلیکولیز، تجزیه لیپیدها و چرخه کربن به منظور تولید انرژی به شکل ATP ، به H^+ و $NADH^+$ کاهیده می شود. NADP

از طریق واکنش پنتوز به $NADPH_2$ احیا می شود و در جریان واکنش های مصرف انرژی خالص نظیر بیوسنتز اسیدهای چرب به صورت یک دهنده هیدروژن تبدیل می شود. همچنین این ویتامین به عنوان کوانزیم برای سایر احیاکننده ها (GR سلول های قرمز خونی، احیا کننده دی هیدروفولات فعال کننده اسید فولیک) و هیدرولیز استروئید و متابولیسم فنیل آلانین و غیره نیز عمل می کند.

اخیراً علائم کمبود این ویتامین در ماهی مورد بررسی قرار گرفته و نیازها با استفاده از شاخص میزان رشد در حد بالایی برآورد شده است . مقادیر ۱۰، ۱۴ و ۲۸ میلی گرم این ویتامین به ازای هر کیلوگرم جیره به ترتیب برای قزل آلا، گربه ماهی و کپور برآورد شده است . دلیل بارز نبودن علائم کمبود این ویتامین احتمالاً به سبب فراوانی و پایداری این ویتامین و نیز احتمال سنتز آن از طریق تریپتوفان باشد که میزان آن پائین اما قابل اندازه گیری است. بنظر می رسد که ذخایر کبدی تنها شاخص بیوشیمیایی استفاده شده به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه ای تا به امروز باشند.

۳-٤-۹) اسید پانتوتنیک

بالاترین مقدار برآورد شده برای ویتامین های محلول در آب مربوط به پانتوتنیک اسید است . این ویتامین درمتابولیسم چربی ها نقش اصلی را ایفا می کند و بخشی از ترکیب کوآنزیم A (COA) و پروتئین ناقل آسیل (ACP) را تشکیل میدهد که ناقل رادیکال های اسیل است. از آنجاییکه استیل کوآنزیم A از تجزیه قندهای ساده، اسیدهای چرب و برخی اسیدهای‌آمینه تولید می شود و در چندین مسیر متابولیک نظیر چرخه کربن (سپس چرخه تنفسی، همراه با تولید ATP، CO_2 و H_2O) و بیوسنتز اسیدهای چرب شرکت دارد، دارای نقشی حیاتی در متابولیسم سلولی است. استیل کوآنزیم A از یک اسید چرب سازنده کمپلکس آنزیمی با یک مولکول ACP در مرکز ساخته می شود . این ترکیب به عنوان دهنده گروه آسیل عمل می کند و همچنین از طریق دکربوکسیلاسیون وابسته به بیوتین در شکل گیری مالونیل کوآنزیم A شرکت دارد. ویتامین نیاسین در شکل $NADPH_2$ به همین نسبت ضروری است. کوآنزیم A همچنین در بیوسنتز کلسترول، اسیتیله کردن مولکول های مختلف نظیر کولین، قندهای آمینه شده دخیل در سنتز موکو پلی ساکاریدها و کیتین در سخت پوستان شرکت می کند.

مشتقات دیگری از استیل کوآنزیم A وجود دارند که از کاتابولیسم برخی اسیدهای‌آمینه یا اسیدهای چرب دارای تعداد ناهمگون اتمهای کربن نظیر سوکسینیل کوآنزیم ایجاد می شوند و برای سنتز هسته‌های پورفیرین هموگلوبین‌ها در حضور ویتامین پیریدوکسین، ضروری هستند.

یکی از علائم مشخص کمبود پانتوتنیک اسید، چماقی شکل شدن تیغه های آبششی است که گاهی اوقات در چندین گونه مشاهده شده است. مقدار نیاز به این ویتامین برای قزل آلا، گربه ماهی، باس دریایی و باس دم زرد با توجه به منحنی های رشد و ذخایر کبدی بین ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم به ازای هر گیلوگرم از جیره خالص سازی شده برآورد شده است . مطالعات انجام شده در مورد قزل آلا و گربه ماهی، بر اهمیت برآورد نیازها با استفاده از شاخص های مرتبط با کارکردهای فیزیولوژیک ویتامین ها تاکید دارد.

٤-٤-٩) ویتامین های K

حضور ویتامین K برای انعقاد خون ضروری است و دارای تعداد زیادی ویتامر با منشاهای گیاهی (فیلوکوئینون: K_1)، میکروبی (مناکوئینون: K_2) و مصنوعی (مدادیون : K_3) است. این ویتامین ها مشتقات نفتوکوئین ها بوده که همانند توکوفرول ها دارای یک زنجیره فیتیل جانبی هستند. منادیون متداول ترین ویتامر مصنوعی، دارای زنجیره های فرعی نبوده، اما به منظور فعال کردن مولکول باید به فلور روده ای اضافه شود.

در مهره داران عالی، ویتامین K نقش ویژه ای در انجام مکانیسم بسیار پیچیده انعقاد خون و امکان سنتز چهار عاملی دارد که ماهیتاً پروتئینی هستند. این ویتامین به عنوان یک گروه سنتتیک در کربوکسیلاز اسید گلوتامیک شرکت می کند. نحوه عملکرد این ویتامین به ویتامین های گروه B بسیار شبیه است، همچنین با پروتئین های انتقال دهنده کلسیم همکاری می کند. اثبات مسئله عدم انعقاد خون در نتیجه کمبود ویتامین K در ماهی بسیار دشوار است، مگر اینکه از داروهایی با خاصیت آنتی ویتامین K استفاده شود و ماهی بصورت اختیاری یا اجباری آنها را از محیط جذب کند. تنها یک مورد از کمبود این ویتامین (در گربه ماهی) بدون استفاده از آنتی ویتامین K بدست آمده است. سنتز روده ای فعال که در پستانداران وجود دارد، در ماهی اثبات نشده است. بنظر می رسد که ویتامین K مانند ویتامین D ، نقش کمتری در مهره داران عالی ایفا می کند.

مطالعات نشان داده اند که مقادیر اضافی منیادون می تواند برای آزاد ماهیان سمی باشد. این ویتامین به همراه ویتامین A ، تنها ویتامین هایی هستند که نیازهای آنها مورد بازنگری قرار نگرفته است و همچنان از مقدار ۱۰ میلی گرم ویتامین به ازای هر کیلوگرم از غذا استفاده میشود که توسط NRC در سال ۱۹۸۱ توصیه شده است.

۵- ۹ - آنتی اکسیدان ها

دو مورد از ویتامین ها در این گروه جای می گیرند که در بسیاری از واکنش های اکسیداسیون - احیا شرکت می کنند، اما هیچ گونه نقش کوانزیمی ندارند. فرمول این ویتامین ها در کادر ۲-۹ ارائه شده است.

۱-۵-۹) آسکوربیک و دی آسکوربیک اسید

علائم کمبود ویتامین C در انسان از زمان های خیلی قدیم مشخص شده، اما در مورد بسیاری از حیوانات خشک زی این علائم ناشناخته باقی مانده است . تنها در سال ۱۹۰۷ در آزمایشی پیرامون بچه خوک هندی تغذیه شده با یک جیره حاوی غلات، علائم کمبود آسکوربیک مشخص شد. آسکوربیک اسید جز در بسیاری از گونه هایی که از لحاظ گولونولاکتون اکسیداز (آنزیمی که امکان تبدیل گلوکز به آسکوربیک اسید را فراهم می کند) کمبود دارند، در سایر گونه ها ویتامین واقعی محسوب نمی شود. جرم مولکولی این ویتامین پایین است و شامل یک حلقه لاکتونی با یک واحد ene – diol می باشد که از اکسیداسیون آن یک اسید آسکوربیک دهیدروژنه و دو واحد الکل تولید می شود. نقش ویتامین C در فرآیندهای اکسیداسیون – احیا، از طریق تغییر و تبدیلات داخلی برگشت پذیر بین شکل احیا شده (اسکوربیک اسید) و شکل اکسید شده (آسکوربیک اسید دهیدروژنه) مشخص می شود. این واکنش به وسیله آسکوربات اکسیداز در حضور گلوتاتیون احیا شده و NADPH، کاتالیز می شود. به این ترتیب این دو ترکیب از طریق فعالیت ویتامین C ایجاد می شوند. در بسیاری از واکنش های هیدروژن دار شدن، ویتامین C به عنوان دهنده هیدروژن عمل می کند. رسیدگی کلاژن (هیدروژن دار شدن پرولین و لایزین در پروکلاژن)، سنتز کتکولامین (هیدروژن دار شدن فنیل آلانین و تیروزین و به دنبال آنها دوپامین و نورآدرنالین)، سنتز کارنتین که درحفظ فرآیند اکسیداسیون اسیدهای چرب دخالت دارد و سایر

مسیرهای کاتابولیک نظیر هیدروژن دار شدن فنیل آلانین و تیروزین، به حضور ویتامین C نیاز دارند. در این واکنش ها ویتامین C از آنزیم پارا هیدروکسی فنیل پیروات دی اکسیژناز در برابر موانع حاصله از مقادیر اضافی مواد انرژی زا محافظت می کند. بطورکلی، این ویتامین در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی شرکت می کند که مواردی نظیر خنثی سازی رادیکال های آزاد طی مشارکت با ویتامین E (توقف پراکسیده شدن چربی ها، فصل ۷)، جذب آهن و بطورکلی کنش متقابل با یون های دو ظرفیته یا سه ظرفیته، تولید مثل (سنتز زرده سازی و رشد جنین)، تغییر شکل کلسترول به اسیدهای صفراوی، تجزیه مواد انرژی زای خارجی(آلودگی ها، دارو ها) و توقف سنتز نیتروزامین های سرطان زا از نیتریت ها و غیره و در نهایت تحریک واکنش های ایمنی در دوزهای بسیار پایین، از جمله این فرآیندهاست.

چون ویتامین C بی نهایت ناپایدار و شکننده است، کمبود ناشی از این ویتامین اغلب در جیره های غذایی دستی ماهی مشاهده شده که این امر نشان دهنده مطالعات فراوان انجام شده در مورد ماهی‌هاست. از جمله این علائم، بیماری اسکوربوت ناشی از ایجاد نقص در کامل شدن کلاژن، اسکولیوز، لوردوز و یا هموراژی، در ماهیان آب شیرین مانند قزل آلا، ماهی آزاد، گربه ماهی، کپور، تیلاپیا و مارماهی است. اما این علائم بصورت نامنظم و در ماهیهای بسیار جوان مشاهده می شوند. در کفشک علائم پاتولوژیک متفاوتی مشاهده می شود. سندرم گرانولوماتوس کلیوی که مشخصه آن تخریب مسیر کاتابولیسم تیروزین و تجمع آن در خون و بافت هاست و منجر به کدورت قرنیه و ظاهر شدن نودول های زیر پوستی و بخصوص نودول های کلیوی می شود، از جمله این علائم است. این سندرم به طور تجربی فقط در ماهی کفشک مشاهده شده است، اما بنظر می رسد که در نتیجه کمبود ویتامین C در سایر گونه ها نیز مشاهده شود. بطورکلی، ازاندازه گیری غلظت ویتامین C در کبد و کلیه به منظور تعیین احتمال کمبود این ویتامین استفاده می شود. محتوای کلاژن مهره داران و نسبت پرولین به هیدروپرولین نیز از شاخص های خوب در جهت تشخیص کمبود این ویتامین در قزل آلا و گربه ماهی هستند در حالیکه در ماهی کفشک تیروزین آمین شاخص خوبی برای این منظور است.

چند سال پیش اشکال پایداری این ویتامین شامل آسکوربیل سولفات و بخصوص آسکوربیل فسفات در مراکز فروش عرضه شدند. بسیاری از مطالعات نشان داده اند که میزان دسترسی اشکال فسفاته همیشه بالاتر بوده، اما این وضعیت در مورد اشکال سولفاته صادق نمی باشد. این اشکال جدید امکان برآورد دقیق تر نیاز های ماهی و سخت پوستانی را فراهم می‌کند که تاکنون به میزان اندکی شناسایی شده اند.

برای دستیابی به حداکثر رشد و بقا در قزل آلای جوان، میزان ورود این ویتامین در حد ۵۰ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم جیره غذایی توصیه شده است. نیازها طی بلوغ جنسی و مراحل لاروی و جنینی افزایش می یابد. همچنین اثر دوزهای خیلی بالا از این ویتامین بر پاسخ های مختلف سیستم عصبی هنوز در حال مطالعه می باشد.

۲-۵-۹) توکوفرول ها (ویتامین E)

ویتامین E شامل سری کاملی از ویتامرهای متعلق به خانواده توکوفرول است که مولکول هایی ساخته شده از یک جفت هسته(توکول) و یک زنجیره جانبی(فیتیل) هستند. آلفا توکوفرول بسیار فعال‌تر از سایر اشکال ویتامین E می باشد. این ویتامین فعال تر از سایر ویتامین ها بوده و نقش اصلی را در تمام موجودات زنده ایفا می کند و موجب افزایش پایداری رادیکال های آزاد (رادیکال های توکوفرول) شده و از این طریق واکنش های زنجیره رادیکالی را متوقف می کند. بنابراین، این ویتامین از مولکول های فراوانی از جمله ویتامین A، کاروتنوئیدها، کوآنزیم Q و HUFAs در برابر اکسیداسیون محافظت می کند. اگرچه این ویتامین به دلیل محلول بودن در چربی، تمایل به گسترش در تمام بخش های موجود زنده را دارد، اما با سیستم گلوتاتیون پراکسیداز و ویتامین C بیش از سایرین همکاری می کند.

نقش اصلی این ویتامین در ماهی حفاظت از اسیدهای چرب HUFA سری n-۶ و بخصوص n -۳ است که به فراوانی در فسفولیپیدها یافت می شوند (فصل۷). در نتیجه، توکوفرول برای حفظ انسجام غشاء سلولی ضروری و حیاتی است بطوریکه در حفاظت از لیپیدها در برابر اکسیداسیون و فرآیند جمود نعشی نقش اساسی دارد و موجب تازه ماندن گوشت از طریق کاهش سرعت فرآیند فساد و تجزیه می شود. سایر نقش های این ویتامین شامل دخالت در مکانیسم تجمع پلاک ها(از طریق سنتز پروستاگلندین) و همولیز، تحریک مکانیسم های سیستم ایمنی و حفظ کارکردهای تولید مثلی است.

بنظر می رسد که نقش این ویتامین در حفظ کارکردهای تولید مثلی چشمگیر نیست و حتی در مهره داران عالی اصلا تاثیر ندارد. اما این ویتامین در ماهی و پستانداران بخوبی این نقش را ایفا می کند.

از اینرو نامگذاری توکوفرول در گذشته به عنوان ضد ناباروری به علت فواید بسیار زیادی است که این ویتامین داراست. کمبود ویتامین E در ابتدا موجب فساد عضلانی می شود. همچنین تورم[1]، ترشح لنف تقریبا سبزرنگ، کم خونی، سستی اریتروسیت ها و گاهی اوقات بی رنگ شدن از جمله علائم کمبود ویتامین E می باشد. باروری ماهیان مولد نیز در نتیجه کاهش این ویتامین کم می شود. کمبود این ویتامین در واحدهای پرورشی امری غیر عادی نیست. به علت وجود رابطه بین توکوفرول ها با آسکوربیک اسید و همچنین با HUFAs ، مقدار نیاز به این ویتامین به منظور کسب حداکثر رشد و بقا، حدود ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم غذا برآورد شده است. دانشمندان قصد دارند تاثیر کنش های متقابل بین دو آنتی اکسیدان را تحت شرایط عملی مورد بررسی قرار دهند. آنتی اکسیدان های مصنوعی تا حدی کارکرد مشابهی با توکوفرول‌ها دارند، اما در محیطهای آزمایشگاهی فعال نبوده و فقط از مولکول های حساس قبل از فرآیند جذب محافظت می کنند. در مقابل، α- توکوفرول استات پیش از هیدرولیز شدن توسط استرازی که فرآیند جذب را سرعت می بخشد، در روده فعال نیست. به منظور حفاظت از چربیها در برابر پراکسیده شدن در زمان نگهداری و فروش آنها، میزان دوز مورد نیاز ویتامین E را افزایش می دهند. ظاهراً افزایش دوز توکوفرول بی ضرر است زیرا احتمالا این ویتامین براحتی در تمامی چربیها در بدن ذخیره می شود.

۶-۹ - کلسیفرول (ویتامین D)

این ویتامین که فرمول آن در کادر ۲-۹ ارائه شده است، تنها ویتامینی است که می تواند در بدن جذب شود، اما جذب آن به صورت پیش ساز هورمون است. این ویتامین پیش زمینه ۱و۲۵- دی هیدروکسی کولکلسیفرول ($1,25(OH)_2D_3$) است که برای تنظیم متابولیسم کلسیم – فسفات ضروری است. ویتامین D دارای دو نوع ویتامین غیر فعال شامل ارگوکلسیفرول (D_2) که عمدتا در گیاهان وجود دارد و کولکسیفرول (D_3) می باشد. این مولکول ها استروئید هایی با سه هسته و یک زنجیره جانبی هستند که به دهانه هسته های استرول متصل می شوند و تنها از لحاظ گروه متیل چسبیده به زنجیره جانبی مولکول، با یکدیگر اختلاف دارند. اثرات نسبی این دو مولکول در بین گروههای جانوری بسیار متفاوت است. در ماهی، فعالیت ارگوکلسیفرول سه بار کمتر از کولکسیفرول است.

[1] oedemas

در حیوانات کولکلسیفرول از کلسترول مشتق می شود و چون ویتامین D فقط هنگامیکه نور به اندازه کافی وجود نداشته باشد (سنتز D_3 به اشعه ماورائ بنفش نیاز دارد) فعال می شود، اشتقاق کولکلسیفرول از کلسترول اغلب در محیطهای آبی انجام میشود که نور براحتی نفوذ نمی کند. ۱و۲۵ دی هیدروکسی کولکسیفرول، کلسیم را تنظیم و حتی در مهره داران عالی تعادل کلسیم – فسفات را از طریق مشارکت با پاراتورمون، هوموستازی می کند. این هورمون در سه زمینه فعالیت دارد که شامل جذب روده ای (انتروسیت ها دریافت کننده این هورمون هستند)، مصرف کلسیم استخوان ها و جذب مجدد آنها در کلیه می باشد. در صورت فقدان اشعه ماورا بنفش، کمبود ویتامین D منجر به تجزیه کلسیم اسکلت شده که می تواند منجر به راشیتیسم و همچنین ایجاد اشکال در انقباض عضلانی گردد. بسیاری از کارکردهای ویتامین D نیز همانند ویتامین A، هنوز مشخص نشده اما دخالت در رشد، تمایز سلولی و سیستم ایمنی از جمله این نقش هاست .

در ماهی، کمبود ویتامین D موجب تجزیه کلسیم می شود، اما هرگز راشیتیسم یا نرمی استخوان در هیچیک از گونه ها حتی در محیط آزمایشگاهی، مشاهده نشده است که نشان دهنده نقش کمتر ویتامین D در ماهی است. ماهی قادر به جذب کلسیم آب از طریق آبشش هاست که این امر می تواند دلیلی برای توجیه علت پایین بودن نیازهای ویتامین D باشد. کمبود ویتامین D موجب کندی رشد، گرفتگی عضلات و تخریب هوموستازی تعادل کلسیم-فسفات می شود. در مورد قزل آلا، مقدار نیاز به ویتامین D بسیار بالاست، تاجائیکه به IU ۲۴۰۰ از ویتامین D_3 به ازای هر کیلوگم از جیره خالص سازی شده می رسد. این در حالیست که مقادیر توصیه شده برای ماکیان IU ۲۰۰ و خوک ها IU ۲۲۰ بر کیلوگرم از جیره خالص سازی شده می باشد. به منظور توجیه علت بالا بودن نیاز های برآورد شده این ویتامین در مقایسه با نقش اندک آن در ماهی نیاز به تحقیقات جدیدتری است.

۷-۹ - شبه ویتامین ها و عوامل موثر بر رشد

فرمول این ترکیبات در کادر ۲-۹ آمده است.

۱-۷-۹) کولین

کولین، ترکیب چهارتایی آمونیوم شامل تری متیل آمین است. این ویتامین همچنین می تواند از اتانول آمین (که از اسید آمینه سرین ساخته می شود) و متیونین باشد که به عنوان دهنده گروه متیل ساخته می‌شود. در این واکنش حضور اسید فولیک برای انتقال گروههای متیل ضروری است. سنتز کولین از تغییر شکل اتانول آمین چسبنده به فسفولیپیدها انجام می شود.

کولین امکان انتقال پیام های عصبی را توسط فیبرهای کولینرژیک (نقش فیزیولوژیک استیل آمین) فراهم می کند، همچنین بخشی از ترکیب فسفاتیدیل کولین را بوجود می آورد. نقش لیپوتروفیک(چربی دوستی) کولین به علت فراوانی فسفولیپیدهای موجود در غشا و لیپوپروتئین ها است. همچنین کولین موجود در غذا از طریق افزایش سطح اکسید شدن بتائین و ایجادگروه دهنده متیل، امکان صرفه جویی در مصرف متیونین را فراهم می سازد.

کمبود کولین نقش لیپوتروفیک آن را اثبات کرده و موجب تجمع تری آسیل گلیسیرول ها در کبد و تخریب فرآیند متابولیسم لیپیدها می شود. سایر علائم چندان خاص نیستند. در صورت وجود مقادیر اضافی متیونین یا بتائین، کمبود کولین بمراتب کمتر احساس می شود که نشان دهنده امکان سنتز آن است. با توجه به گونه های مختلف، سطوح مختلفی از ۴۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا برای گربه ماهی و ۱۰۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا برای قزل آلا توصیه شده است. باید توجه نمود که ماهیت هیگروسکوپیک کولین می تواند ناپایداری سایر ویتامین ها را در ترکیب های مشابه افزایش دهد.

۲-۷-۹) اینوزیتول

این مولکول که یک هگزا الکل حلقوی است، می تواند به اشکال ایزومری مختلف وجود داشته باشد که تنها یکی از این ایزومرها، مزو یا میو اینوزیتول توسط ماهی مصرف می شود. اینوزیتول به عنوان سازنده فسفاتیدیل اینوزیتول عمل میکند که یک فسفولیپید است و می توان آن را به عنوان شکل فعال این شبه ویتامین در نظر گرفت و بر اساس این نقش ساختاری، اینوزیتول مانند کولین یک عامل لیپوتروفیک محسوب می شود. فسفاتیدیل اینوزیتول همچنین در دریافت و درک سیگنال های ناشی از فرآیندهای متابولیک خاص از طریق تولید پیام برهای ثانویه (IP_3) دخالت می کند.

این شبه ویتامین براحتی در اغلب مهره داران عالی سنتز شده و مدتهاست که به عنوان ویتامین در بندپایان از جمله سخت پوستان شناخته شده است. اینوزیتول تنها ویتامینی است که دارای خاصیت انرژی زایی است(یعنی همانند یک هیدرات‌کربن تجزیه می شود).

میزان سنتز کولین در روده کپور ماهی کم و به طور ناقص انجام می شود، در حالیکه در گربه ماهی سنتز آن به اندازه کافی و در کبد و روده صورت می گیرد. ماهیت ویتامینی اینوزیتول هنوز در ماهی به اثبات نرسیده است. علائم کمبود اینوزیتول همانند کولین ناشی از نقش لیپوتروفیک آن بوده و موجب کاهش سنتز فسفولیپیدها همراه با تجمع لیپیدهای خنثی می شود. میزان نیاز اینوزیتول ۳۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم غذا در مورد قزل آلا برآورد شده است که حاصل مطالعاتی با پایه علمی ضعیفی است و از این طریق غلظت های اینوزیتول در جیره های مکمل سازی نشد، برآورد شده است. در مورد سایر گونه ها نظیر کپور و دم زرد مقادیر برآورد شده بر اساس افزایش وزن بدن یا ذخائر کبدی ، ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم جیره می باشد. اطلاعات بسیارکمی در این زمینه وجود داشته و چون اینوزیتول با قیمت بالایی تولید می شود، تعیین دقیق نیاز به این شبه ویتامین بسیار پر اهمیت خواهد بود.

اینوزیتول در گیاهان به وفور یافت می شود، اما غیر فعال و به شکل فیتات است(فصل ۱۹). از جمله حشره‌کش هایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند، لیندان یا آنتاگونیست اینوزیتول بوده و بنابراین، یک آنتی ویتامین محسوب می شود.

۳-۷-۹) عوامل موثر بر رشد

بنظر می رسد که ترکیبات دیگری نیز وجود دارند که سنتز آنها تحت شرایط خاصی در حیوانات بصورت ناقص انجام می شود. این عوامل به عنوان عوامل موثر بر رشد شناخته شده اند که اوروتیک اسید (B_{13})، یوبیکوئینون، پیرولوکوئینولین کوئینون، اسید لیپوئیک، کارنیتین و غیره از جمله این عوامل هستند. حتی برخی ویتامرها (پارا- آمینو- بنزوئیک اسید یا PAB، فولیک اسید) یا ترکیباتی که به میزان اندکی شناسایی شده اند نظیر پانگامیک اسید یا ویتامین B_{12} نیز جزء این عوامل دسته بندی می شوند. این عوامل بندرت در ماهی مطالعه شده اند. بنظر می رسد که کارنیتین تحت شرایط خاصی تحریک کننده رشد در باس دریایی باشد که در وعده های غذایی حیوانات بوفور یافت می شود.

۸-۹ - نیاز ها و تامین آنها

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، با استفاده از جیره های خالص سازی شده، نیازهای آزاد ماهیان به ویتامین ها بدقت شناسایی شده است. داده های پراکنده ای در رابطه با سایر گونه ها نظیر کپور، مارماهی و گربه ماهی وجود دارد و در مورد اغلب ماهیان دریایی اطلاعاتی در دست نمی باشد. از اینرو در سایر موارد، متخصصان تغذیه و سازندگان غذا از استانداردهای تعیین شده برای آزاد ماهیان (ضمیمه C) استفاده می کنند. گرچه اختلافات بین گونه ای چندان چشمگیر بنظر نمی رسد، اما با توجه به استنائاتی نظیر نیاز به ویتامین D_3، تعیین نیازها به مطالعات زیادی احتیاج دارد.

با توجه به عواملی نظیر کاهش ارزش غذایی، ناپایداری و قابلیت دسترسی، می توان با استفاده از معادله زیر مشکلات عملی تامین نیازها را محاسبه نمود:

$$R_{\text{کل}} = R_{\text{نگهداری}} + R_{\text{رشد}} + R_{\text{تولید مثل}} + I_{\text{سایر مواد مغذی}} + I_{\text{محیط اطراف}}$$

$$S = [\, R_{\text{کل}} + L_{\text{در طی مراحل ساخت (سازنده)}} + L_{\text{ذخیره سازی}} + f_{\text{(تراکم پرورش)}} \,] \times \frac{1}{A}$$

R = نیاز ها

L = تلفات

I = کنش متقابل

S = استاندارد(میزان توصیه شده)

F( ) = فاکتور عملکردی

A = قابلیت دسترسی

در عمل همیشه دامنه گسترده ای از حدود اطمینان بکار می رود. ورود مکمل های ویتامینی اغلب دو برابر میزان نیاز ها در نظر گرفته می شود و ویتامین های موجود در مواد خام محاسبه نمی‌شوند. به این ترتیب، این اقدامات احتیاطی پیامدهای ناشی از ناقص بودن آگاهی های ما در این زمینه را کاهش می دهد.

۹-۹ - خلاصه

به طور خلاصه در زمینه ویتامین ها تفاوت ناچیزی بین مهره داران عالی و ماهی ها وجود دارد. بی تردید، شکل دیگر رتینول که ویتامین A_2 نامیده می شود، ظاهرا فقط در ماهی وجود دارد، اما کارآیی شکل نرمال آن نیز بالاست. همچنین ماهی ها به دو شبه ویتامین نیز نیاز دارد. این دو شبه ویتامین شامل کولین (مورد نیاز پرندگان) و اینوزیتول (دارای نقشی مشابه در ماهی ها و بی مهره گان) می باشند. ویتامین کلسیفرول و ویتامین K نقش کمتری در ماهی نسبت به مهره داران عالی دارند، اما در مقابل، ویتامین E و C از اهمیت بیشتری حداقل از نظر کاربردی، برخوردارند. تعیین نیازهای کمی که هنوز بخوبی در مورد بسیاری از گونه ها شناخته نشده اند به مطالعاتی نیاز دارد که باید در اولویت قرار گیرد.

«فصل ۱۰»

مواد معدنی

ماهی ها نیز مانند حیوانات خشک زی به مواد معدنی نیاز دارند. مواد معدنی یا مینرال ها، اجزء سازنده بافت های ویژه (عمدتا ساختارهای اسکلتی) و یا مولکول هایی هستند که به شکل کوفاکتور(عامل کمکی آنزیم ها) در تعادل یونی داخل و خارج سلولی و تنظیم عملکرد غدد درون ریز نقش دارند. تا به امروز ۷ ماکرومینرال و ۱۵ عنصر به عنوان ماده معدنی شناخته شده اند که نقش فیزیولوژیک ویژه ای در اکثرحیوانات ایفا می کنند. اما در مورد ماهی ها وسخت پوستان، تنها ۱۱ ماده معدنی ضروری تلقی می‌شوند(جدول۱-۱۰).

دانش بشر در زمینه مواد معدنی مغذی مورد نیاز حیوانات آبزی به میزان قابل توجهی ناقص و پراکنده است. از آنجائیکه بطورکلی کارکرد ماکرومینرال ها و عناصر ریز مغذی کمیاب[1] از یک نقش ساختاری(سازنده بافت) تا یک نقش کاتالیتیک(فعالیت آنزیمی) متغیر است، یک همگونی نسبی بین مقادیر موجود دربافت ها و نیازهای کمی وجود دارد. علاوه براین، در این مورد هیچ نوع ارتباطی بین غلظت مواد معدنی و نیازها، به صورتی که برای سایر مواد مغذی نظیر آمینواسیدهای ضروری وجود دارد، کشف نشده است.

[1] oligo-elements

۱-۱۰ – ویژگی‌های تغذیه ای مواد معدنی

۱-۱-۱۰) کلیات

مکانیسم جذب روده ای با توجه به عنصر شرکت کننده در آن مکانیسم متفاوت است. این مکانیسم ها شامل انتقال فعال و انتشار غیر فعال همراه با مداخله لیگاندها یا بدون مداخله آنهاست. بر این اساس، آهن موجود در جیره غذایی از طریق اتصال به پروتئین موجود در موکوس روده (پیوند ترانسفرین- فرین) جذب می شود. با این وجود بنظر می رسد جذب آهن از طریق آبشش‌ها نیز امکانپذیر باشد. برای سایر عناصر(روی و مس) نیز مکانیسم جذب مشابهی وجود دارد اما نحوه عملکرد مسیرهای جذب از طریق آبشش و روده کاملاً شناخته نشده اند. مهمتر اینکه نحوه تنظیم این مکانیسم ها در اعضای مختلف بدن نسبت به مقدار این عناصر در جیره غذایی و میزان غلظت آنها درآب، هم در ماهیان آب شیرین و هم ماهیان دریایی عملا ناشناخته باقی مانده است.

موضوع مهم اینکه به علت نقش بارز عناصر کمیاب در تنظیم هوموستازی، در صورت وجود کمبود در این عناصر حتی در حد ناچیز، جذب آنها افزایش یافته و افزایش ناچیز این عناصر بیش از حد مطلوب، عواقب نامطلوبی بهمراه خواهد داشت(شکل ۱-۹). بنابراین، در تعیین مقادیر نیاز به مواد معدنی باید دقت بالایی داشت. علاوه براین، مشکلات مربوط به قابلیت دسترسی، به همان اندازه که به حیوان و وضعیت فیزیولوژیک آن مربوط است، به نحوه تامین این عناصر و واکنش هایی که بین عناصر و سایر مواد روی می دهند نیز وابسته است. نحوه دفع این عناصر متفاوت بوده و از طریق کلیه ها، آبشش ها، صفرا، فضولات یا حتی از طریق پوست انجام می شود. این عناصر در صورت رسیدن به غلظت زیاد موجب بروز مسمومیت می شوند. تجمع عناصر معدنی از طریق جیره غذایی و آب در بدن صورت می گیرد. بر خلاف مطالعات اندکی که در مورد نیازهای مواد معدنی انجام شده ، در زمینه فلزات سنگین سمی درمحیطهای آبی مطالعات بسیاری وجود دارد.

۲-۱-۱۰) تعامل بین محیط زیست، موجودات آبزی و احتیاجات غذایی

در محیط آبی تامین مواد غذایی در ارتباط مستقیم با ظرفیت جذب (از طریق آبشش ها،پوست و دهان) از محیط اطراف است.

جدول ۱-۱۰) ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب که در تغذیه ماهی نقش دارند.

عناصر کمیاب	ماکرومینرال
* آهن(Fe)	* کلسیم(Ca)
* روی(Zn)	* فسفر(P)
* منگنز(Mn)	* پتاسیم(K)
* کبالت(Co)	* منیزیم(Mg)
* مس(Cu)	سدیم(Na)
* ید(I)	کلر(Cl)
* سلنیم(Se)	** سولفور(S)
فلوئور(F)	
نیکل(Ni)	
وانادیم(V)	
سیلیکون(Si)	
قلع(Sn)	
کرم(Cr)	
آلومینیوم(Al)	

* عناصری که نیاز به آنهادر ماهی به اثبات رسیده است.

** عنصری که به طور کلی به علت پایین بودن فوق العاده قابلیت دسترسی، به عنوان ماده آلی در نظر گرفته می شود.

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، حیوانات آبزی تنها موجودات زنده ای هستند که علاوه بر غذایی که از آن تغذیه می کنند، قادر به جذب برخی مینرال ها (سدیم،کلر،پتاسیم و کلسیم) و عناصرضروری و کمیاب (عمدتا آهن، روی، منگنز، منیزیم، مس، ید، کبالت) از محیط اطراف می باشند.

در ماهیان آب شیرین، محیط اطراف نسبت به داخل بدن بسیار هیپوتونیک است. در این ماهیان، به منظور حفظ نمک داخل بدن هنگام تغییر فشار اسمزی، جذب آب از طریق پوست همراه با دفع مقادیر زیادی اوره رقیق شده صورت می گیرد (در حدود ۱۰۰ میلی لیتر به ازای کیلوگرم در روز). کمبود سدیم نیز از طریق افزایش کارآیی پمپ سدیم و آبشش ها جبران می شود.

غلظت مواد معدنی محلول اغلب پایین و بسیار متغیر است. بنابراین، محتوای مواد معدنی جیره غذایی نقش مهمی در این زمینه ایفا می کنند(شکل ۱-۱۰).

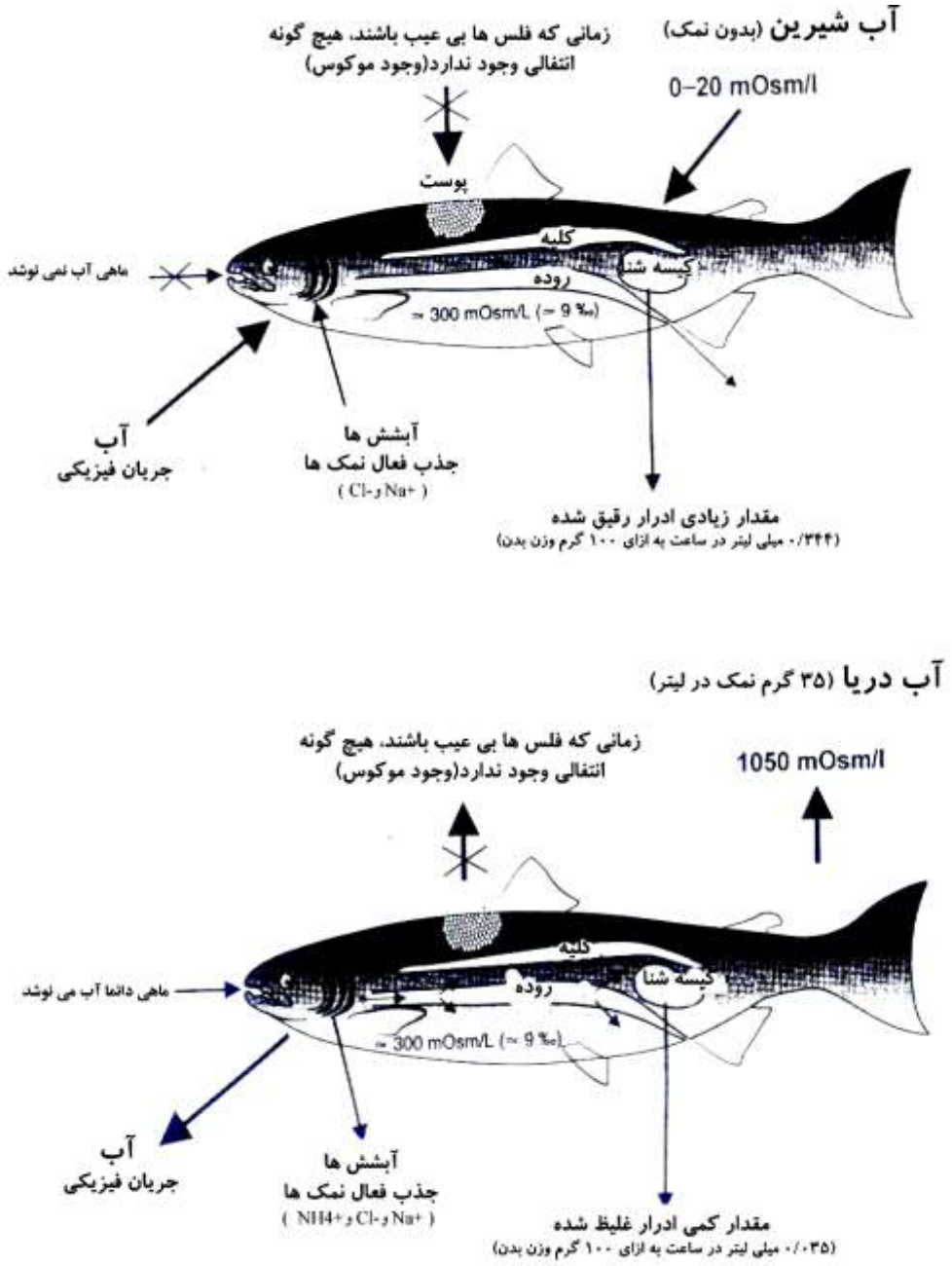
در آب شور، محیط خارج بدن ماهیان نسبت به محیط داخلی هایپرتونیک است و به منظور حفظ تعادل اسمزی، ماهی مقادیر زیادی آب غنی از نمک ها و یون ها را می نوشد و یون های اضافی از طریق کلیه‌ها (ادرار بسیارغلیظ)، آبشش ها (سدیم و کلرین ها) و روده (یون های دو ظرفیتی) دفع می کنند (شکل ۱-۱۰). چون غلظت مواد معدنی محلول در آب شور بیشتر و اغلب ثابت تر از آب شیرین است و همچنین ماهی مجبور به نوشیدن مداوم آب به منظور حفظ تعادل اسمزی است، احتمالا در این محیط ها میزان جذب مواد معدنی از محیط اطراف بسیار بیشتر خواهد بود. هرچند این احتمال درست بنظر می رسد، اما مطالعات آزمایشگاهی کمی در جهت تایید آن صورت گرفته است.

تحت این شرایط، تعیین نیازها کار بسیار دشواری است. بطورکلی، مواد معدنی جزئی از جیره غذایی هستند که در صورت فقدان میزان کافی از آنها درآب، این جیره ها امکان دسترسی به میزان اپتیمم این مواد را برای حیوان فراهم می کنند. ازآنجاییکه اغلب اوقات مشکل ناکافی بودن مواد معدنی موجود در آب وجود دارد، ضروری است که برای تعیین نیازها، به روابط پاسخ بر اساس دوز مصرفی رسم شده در نمودار اشاره شود(شکل ۲-۱۰).

۲-۱۰- مواد معدنی

۱-۲-۱۰) کلسیم

کلسیم برای رشد و توسعه استخوان، حفظ تعادل اسمزی، فعالیت عضلانی و عملکرد سیستم عصبی ضروری است. در انعقاد خون و تنظیم ترشح هورمون ها (کلسیتونین،پرولاکتین، کتکولامین ها، پاراتیروئید و غیره) نیز دخالت دارد. کمبود کلسیم در غذا بندرت موجب کاهش رشد در ماهی می شود. در واقع اسکلت ماهیان استخوانی در مقایسه با اسکلت حیوانات خشکی هم اندازه با ماهی،کوچکتر است. علاوه براین، بیش از ۵۰ تا ۶۰ درصد نیازهای ماهی از طریق آب قابل تامین است. در محیطهای آب شیرین، نیاز غذایی کلسیم نسبت به غلظت آن (بر اساس سختی آب) متغیر است. در ماهیان دریایی، نیز ظرفیت جذب و متعاقب آن نیاز به کلسیم متفاوت است. در جریان رشد اولیه، کمبود کلسیم منجر به ایجاد نقص و بدشکلی در جمجمه و مهره ها می شود.

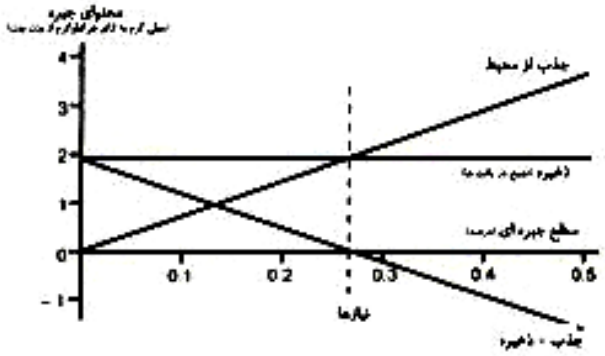


شکل ۱-۱۰) تبادلات یونی در قزل آلا، یک ماهی یوری هالین در آب شیرین و آب شور (Boeuf,1987)

جدول ۲-۱۰) منابع ماکرومینرال ها، نقش و علائم کمبود آنها در ماهی

علائم کمبود	کنش متقابل	نقش	منابع	ماکرو مینرال
کاهش رشد سست بودن اسکلت و فلس ها	ویتامین D فسفر، روی و منیزیم	رشد استخوان انعقاد خون کوفاکتور برای آنزیم ها انتقال پیام های عصبی	آب مواد خام با منشا حیوانی نمک های غیرآلی	**کلسیم**
کاهش رشد ایجاد نقص در شکل جمجمه و مهره ها کانی زدایی کاهش فسفر خون،هماتوکریت کاهش فسفات قلیایی در سرم کاهش گلیکوژن کبدی	کلسیم، منیزیم و منگنز نیاسین ویتامین B_1 ویتامین B_6	رشد استخوانی متابولیسم انرژی جزء سازنده سلول و غشا جزء سازنده کوآنزیم : $NADP^+$، تیامین،پیروفسفاتاز پیریدوکسال فسفات ،کوآنزیم A	مواد خام با منشا گیاهی و حیوانی نمک های غیرآلی (مونو یا بی کلسیک فسفاتاز)	**فسفر**
فساد عضلانی بدشکلی مهره ها کاهش تجمع منیزیم در بافت ها کمبود کلسیم بی اشتهایی، بی قراری کاهش حجم مایع برون سلولی کاهش رشد کاهش در فعالیت SOD آب مروارید	پروتئین ها کلسیم، فسفر	رشد انسجام عضله تنفس،متابولیسم انرژی کوفاکتور برای آنزیم ها متابولیسم تیروئید	آب(-) مواد خام با منشا حیوانی و گیاهی نمک های غیر آلی	**منیزیم**
کاهش در رشد تشنج و بی قراری	سدیم	تنظیم آنزیمی :$Na^+ - k^+ - ATPase$ فسفوفروکتوکیناز تنظیم اسمزی موازنه تعادل یون های داخل سلولی انقباض عضلانی انتقال پیام عصبی	آب(+) مواد خام با منشا گیاهی	**پتاسیم**
——	کلسیم، کلر	موازن تعادل یون های خارج سلولی تنظیم اسمزی تنظیم آنزیمی	آب(-) مواد خام با منشا حیوانی	**سدیم**

منبع اصلی (+) ، منبع ثانویه (-)



شکل۲-۱۰) روابط بین پتاسیم موجود در جیره و ذخیره آن در گربه ماهی کانالی. نیازها با توجه به عدم جذب مواد معدنی از آب رسم شده اند (EL Naggar and Wilson, 1992)

تحت شراط خاص (مانند گرسنه ماندن برای مدت طولانی و بلوغ جنسی که به طورهمزمان در ماهیان آزاد و در جریان مهاجرت به رودخانه ها مشاهده می شود)، کمبود کلسیم بخصوص در فلس ها قابل مشاهده است. گونه های بدون فلس هنگام مواجهه با کمبود مواد معدنی از ذخائر اسکلتی خود استفاده می کنند. با این وجود، علائم مربوط به اسکوربوت واقعی در آنها مشاهده نشده است.

مهمترین منابع غذایی حاوی کلسیم، منابعی با منشا حیوانی (مانند آرد ماهی) است. حداکثر غلظت کلسیم درماهی در اسکلت (بیش از ۳۰ درصد) و فلس ها (بیش از ۸۰ درصد) است. بطورکلی، کلسیم موجود در فلس ها ذخایر ناپایداری هستند. غلظت کلسیم فیله ماهی از ۲ تا ۵ درصد وزن تر متغیر است. کنش متقابل کلسیم با سایر مواد غذایی(از جمله ویتامین D، منیزیم و روی) مشخص شده است. هر چند نقش ویتامین D در ماهی بسیار محدود است(فصل۹).

۲-۲-۱۰) فسفر

فسفر نظیر کلسیم در بافت استخوانی و به شکل هیدروکسی آپاتیت وجود دارد. اسکلت داخلی ماهی از ۱۵ درصد فسفر تشکیل شده است. اما بیش از یک سوم از کل فسفر موجود در بدن ماهی در بافت های نرم (فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک، ترکیبات غنی از انرژی و غیره) تجمع یافته است. این عنصر در ساختار سلولی و غشا شرکت می کند و برای انجام واکنش های فسفوریلاسیون ضروری است. در متابولیسم انرژی،کربوهیدرات، لیپید و نیتروژن نقشی اساسی را ایفا می کنند. میزان فسفر فیله ماهی بین ۰/۲ تا ۰/۸ درصد می باشد.

کمبود فسفر موجب کاهش رشد استخوانی و بدن می شود.غلظت مواد معدنی در ستون مهره ها به میزان زیاد تحت تاثیر ذخیره فسفر است. از علائم دیگر کمبود فسفر، تجمع بیش از حد چربی و افزایش فعالیت برخی آنزیم ها (نظیر آلکالین فسفاتاز و آنزیم های شرکت کننده در گلوکونئوژنز) می باشد.

ماهی قادر نیست نیاز به فسفر را از طریق جذب از محیط توسط آبشش ها و پوست تامین کند. اگرچه جذب از محیط اطراف درآزادماهیان به اثبات رسیده است، اما میزان جذب پایین بوده و صرفا بخش کمی از نیازها را تامین می کند. بنابراین، میزان فسفر موجود در جیره غذایی حیاتی است. از بین ماکرو مینرالها، فسفر یکی از مواد معدنی غذایی موجود در جیره است که باید بزرگترین بخش از نیازها را پوشش دهد (بیشترین نیاز به مواد معدنی به فسفر اختصاص دارد). میزان نیاز به فسفر در گونه های مختلف آبزی پروری بین ۰/۵ تا ۰/۹ درصد جیره متغیر است. بر خلاف حیوانات خشک زی که احتمال تعیین نسبت ایده آل کلسیم به فسفر با دقت زیادی صورت می گیرد، در آبزیان هیچ گونه اطلاعاتی در این زمینه وجود ندارد و در شرایطی که مقادیر اضافی فسفر وجود داشته باشد، نسبت $\frac{ca}{p} = 1$ توصیه می شود. این نسبت تا حدی متناسب با نوسانات کیفیت آب است که می تواند نیازهای کلسیم را تحت تاثیر قرار دهد و تا حدی متناسب با نوسانات موجود در قابلیت دسترسی به فسفر جیره غذایی می باشد.

یکی از مشکلات مرتبط با فسفر در پرورش ماهی، رسیدن به یک نسبت ایده آل است تا همزمان با اینکه از به وجود آمدن کاتابولیت های غنی از فسفر جلوگیری شود، امکان تامین نیازها را نیز فراهم کند. مقادیر اضافی فسفر باعث یوتریفیکاسیون محیطهای طبیعی و کاهش کیفیت آب می شود. در نتیجه، تعیین نیازهای غذایی عنصر فسفر نسبت به سایر عناصر توجه بیشتری را بخود جلب کرده است.

منابع گیاهی (به استثنای مخمرها) از نظر فسفر با منشا فیتیکی[1]، غنی هستند که برای ماهی در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد قابلیت دسترسی دارند. اسید فیتیک (اینوزیتول هگزا فسفریک اسید) می تواند از طریق اتصال به یون های zn^2 و fe^{2+} یا ca^{2+} ، جذب روده ای را کاهش داده و به این صورت نقش کانی زدا[2] را ایفا کند (فصل ۱۹). میزان دسترسی به فسفر با منشا فیتیکی را می توان از طریق اضافه کردن فیتازها برای مثال، فیتازهایی با منشا میکروبی، به جیره غذایی افزایش داد. بنظر می رسد که سخت پوستان قادر به مصرف فسفرهای فیتیکی باشند، هرچند آنزیم بخصوصی در این رابطه کشف نشده است. بطورکلی، قابل حل‌ترین منابع فسفر غیرآلی (مونو یا دی کلسیم فسفات) نسبت به نمک هایی با حلالیت کمتر نظیر تری کلسیم فسفات از قابلیت دسترسی بیشتری برخوردارند.

اهمیت مواد معدنی در بین گونه های فاقد معده و دارای معده، متفاوت است. فقدان معده به عنوان ناحیه‌ای با pH اسیدی حلالیت نمک هایی نظیر دی کلسیم فسفات را کاهش می دهد و در نتیجه میزان دسترسی آن در آزاد ماهیان که دارای معده هستند نسبت به ماهیان فاقد معده نظیر کپور، بسیار بیشتر است(جدول B.۳ ، ضمیمه B).

شناسایی اثرات احتمالی ناشی از رهاسازی مازاد فسفر مزارع آبزی پروری در محیطهای آبی نشان‌دهنده دستیابی به استانداردهای دقیق برای تعیین حداکثر میزان فسفر در تغذیه ماهیان پرورشی است. با در نظر گرفتن اهمیت تعیین میزان مناسب فسفر موجود برای رشد و همچنین متابولیسم و بهبود نسبت های غذا به رشد، استفاده از اصطلاح نیازهای مطلق (مقادیر ضروری به منظور رشد به ازای واحد وزن بدن) نسبت به اصطلاح سطوح تغذیه ای، معقولانه تر خواهد بود. تکیه بر مطالعات و دانش دقیق در زمینه نیازهای تغذیه‌ای و قابلیت دسترسی عنصر فسفر در ترکیبات غذایی ضروری بنظر می رسد. زمانیکه از ورود مقادیر اضافی عناصر یا به شکل آلی یاغیرآلی به هر نحوی جلوگیری شود، میزان عناصر موجود در جیره غذایی می تواند نیازها را تامین کنند. اضافه کردن آنزیم هایی نظیر فیتازها تنها در صورتی به صرفه خواهند بود که هزینه تامین این آنزیم ها در جیره های بسیار غنی از نظر منشا گیاهی، ارزان و اقتصادی باشد.

---

[1] phyticphosphorus
[2] deminerraliser

۳-۲-۱۰) منیزیم

غلظت منیزیم در فیله ماهی در حدود ۲۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم می باشد. این فلز یک عنصر سازنده مهم در بافت های استخوانی محسوب می شود. فرآیند متابولیسم این عنصر مشابه عنصر کلسیم است. منیزیم به عنوان عامل کمکی(کوفاکتور) در واکنش های آنزیمی مرتبط با فسفر(پیرووات کیناز، فسفوکیناز، فسفاتاز، ATP آز وابسته به منیزیم و غیره) عمل کرده و در تنظیم اسمزی، سنتز پروتئین و رشد دخالت دارد.

کمبود منیزیم علائمی نظیر کاهش رشد، بی اشتهایی، بدشکلی اسکلتی، رسوب کلسیم در کلیه و سختی عضلانی را بهمراه دارد. نیاز به کلسیم در ماهیان آب شیرین نسبتا پایین است(۰/۰۵ تا ۱ درصد) و در این محیط ماهی می تواند نیازهایش را از طریق آب شیرین که حاوی ۱ تا ۳ میلی گرم بر لیتر منیزیم است، برآورده سازد. چون جیره های غنی از پروتئین به میزان بیشتری منیزیم نیاز دارند، باید بین پروتئین های جیره و این عنصر ارتباطی وجود داشته باشد. دسترسی به منیزیم با استفاده از جیره های غذایی حاوی ترکیبات گیاهی بسیار قابل توجه می باشد.

غنی‌سازی با نمک های غیر آلی تنها در مورد جیره های خالص سازی شده ضروری است. مقدار منیزیم و قابلیت دسترسی به آن در پودرهای ماهی بسیار متغیر است. در ماهیان آزاد تغذیه شده با جیره های غنی شده با نمک های غیرآلی ($MgCL_2$) میزان دسترسی به منیزیم بیش از ۷۵ درصد است.

٤-۲-۱۰) سدیم ـ کلرین و پتاسیم

این عناصر در شکل یونی خود مسئول حفظ تعادل درون سلولی(k^+) و برون سلولی (Cl^-,Na^+) هستند. Na^+-k^+ ATPase در تنظیم اسمزی دخالت دارد. نقش کلرید ها بسیار مشخص است. یون کلرید در فرآیند هضم ماهیان فاقد معده اهمیت حیاتی دارد. بطورکلی، محیطهای آبی از نظر یون‌های Na^+ و Cl^- غنی بوده و تامین نیاز سدیم و کلرین از طریق جیره های غذایی ضروری بنظر نمی رسد. اما اثرات مثبت ورود مقادیر زیادی کلرید سدیم (بین ۴ تا ۱۰ درصد جیره غذایی) بر سازگاری فیزیولوژیک آزادماهیان در زمان انتقال به دریا اثبات شده است. تامین پتاسیم از طریق جیره غذایی بخصوص در جیره های خالص، ضروری است. کمبود پتاسیم باعث بی اشتهایی، تشنج و بی قراری ماهی می شود که می تواند تلفات زیادی در پی داشته باشد.

مقایسه نیاز چندین گونه ماهیان آب شیرین به این عنصر نشان دهنده نیاز گسترده به این عنصر (۰/۳ تا ۱/۲ درصد) است که احتمالا در ارتباط با غلظت پتاسیم در محیط زیست است.

۳-۱۰- عناصر کمیاب

مقادیر نیاز به ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب در مورد برخی گونه ها در جدول ۳-۱۰ و همچنین نقش اصلی، علائم کمبود و منابع تامین کننده برخی عناصر ریزمغذی کمیاب در جدول ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۰) نیازهای غذایی ماکرو مینرال ها(درصد وزن خشک) و عناصر کمیاب(ppm) برخی از گونه ها

	(درصد)				ppm						
	P	Ca	Mg	K	Zn	Mn	Co	Cu	I	Fe	Se
**ماهی آزاد اقیانوس اطلس	۰/۶					۲۰		٦		٦۰	
ماهی آزاد اقیانوس آرام	۰/۶			۰/۸	R***	R***			۰/٦		R***
گربه ماهی کانالی	۰/٤٥	* ۰/٤٥	۰/۰٤	۰/۲٦	۲۰	۲/٤		٥		۳۰	۰/۲٥
کپور معمولی	۰/٦٥	۰/۳	۰/۰٥		۲٥	۱۳	۰/۱۰	۳		۱٥۰	
تیلاپیا	۰/۹	* ۰/٦٥	۰/٦		۱۰	۱۲		۳/٥			
باس کانالی	۰/۸٦				۲۰						
قزل آلا	۰/٥-۰/۸	-۰/۲	۰/۰٥		۱٥-۲۰	۱۲		۳			۰/۱٥-۰/۲٤
مارماهی	۰/۳	۰/۰۳	۰/۱٤							۱۷۰	
سیم دریایی قرمز		۰/۳٤								۱٥۰	

* آب فاقد کلسیم است.

** در ماهیان آب شیرین و آب شور

*** عناصر ضروری (مورد نیاز) بدون تعیین نیازها

جدول ۱۰-٤) عناصر ریزمغذی کمیاب، نقش، نحوه کارکرد و علائم کمبود آنها در ماهی

علائم کمبود	اثر متقابل	نقش	منابع	عناصر کمیاب
کم خونی(همراه با کاهش هماتوکریت) کبد زرد جمع شدگی بافت ها اکسیداسیون لیپیدها	مس، کبالت، منگنز و روی اسید فیتیک PUFA	پروتئین ها: هموگلوبین، میوگلوبین، سیتوکروم، تنفس، انعقاد آنزیم ها : پراکسیدازها، کاتالازها	مواد خام با منشا حیوانی (پودر خون) آب(-) سیترات $FeCl_2FeSO_4$	آهن
کاهش رشد آب مروارید حساسیت به تزریق	ویتامین C روی، سلنیم و آهن	آنزیم ها(Cuproenzyms) سیتوکروم اکسیداز،SOD ، تیروزیناز انتقال دهنده الکترون و اکسیژن هموسیانین(سخت پوستان)	آب (+) $CuSO_4$ اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی	! *مس
کاهش رشد آب مروارید، نانیسم هموراژی خارجی، کاهش هماوری	اسید فیتیک کلسیم و فسفر	آنزیم ها : دهیدروژناز، پپتیداز، آلدولاز، دیسموتاز	اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی آب(-) $ZnSO_4$	روی
کاهش رشد اسکلت غیر عادی کاهش فعالیت آنزیم ها کاهش هماوری	کلسیم و فسفر اسید فیتیک	عامل کمکی آنزیم ها	آب اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی $MnSO_4$	منگنز
پراکسداسیون لیپیدها کاهش مقاومت بدن در برابر عوامل بیماریزا کااهش فعالیت آنزیم ها	PUFA ویتامین E	جلوگیری از اکسداسیون خود به خودی لیپیدها کوفاکتور SOD و گلوتاتیون پراکسیداز	آب پودر ماهی Na_2SeO_3	سلنیم
ـــــ		هورمون های تیروئید	آب(+)	ید

منبع اصلی (+) ، منبع ثانویه (-)

* مسمومیت : > ۷۰۰ g / غذا kg و ۰/۸-۱ gr /آب lit

ممنوعیت مصرف کنونی در اتحادیه اروپا :!

۱-۳-۱۰) آهن

عنصر آهن جهت سنتز هموگلوبین ضروری است و در تعداد زیادی از واکنش های مربوط به اکسیداسیون و احیا (کاتالاز،سیتوکروم اکسیداز، پراکسیداز) شرکت می کند. کمبود آهن موجب کم‌خونی همراه با کاهش هموگلوبین و هماتوکریت و میزان غلظت آهن در خون می شود. ماهی قادر به جذب آهن حل شده در آب است. مقدار نیاز به آهن در برخی گونه ها شناخته شده است(۱۵۰ تا ۳۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره). وجود مقدار زیادی آهن در جیره غذایی موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش حساسیت و آسیب‌پذیری اسیدهای چرب چند غیراشباعی می شود. بنابراین، هنگام استفاده از جیره های غذایی غنی از نظر چربی، باید به مقدار آهن ورودی از طریق جیره بیشتر توجه شود. سخت‌پوستان فاقد هموگلوبین بوده و در مقایسه با ماهیان باله دار، نیاز بیشتری به آهن دارند همچنین در برابر مقادیر اضافی آن نیز حساسترند. مواد خام با منشا حیوانی بویژه پودر خون از نظر آهن غنی هستند اما بر اساس مقررات اتحادیه اروپا استفاده از این عنصر در غذای ماهی مجاز نیست. سیترات می تواند به میزان زیادی نیازهای غذایی به این عنصر را تامین کند. ویتامین C قابلیت دسترسی آهن را تحت‌تاثیر قرار می دهد. یون آهن فرو (Fe^{2+}) بیش از آهن فریک (Fe^{3+}) در pH خنثی جذب می شود و ویتامین C امکان احیای نمکهای فریک به نمک های آهن فرو را از در دیواره روده فراهم می کند.

۲-۳-۱۰) مس

مس فرآیند جذب سایر عناصر نظیر آهن و روی را تسهیل می کند و همانند آهن در انتقال الکترون شرکت می کند. علاوه براین، فعالیت بسیاری از آنزیم ها(مس- روی - سوپر اکسیداز دسموتاز یا SOD ، کاتالاز، تیروزیناز و غیره) به مس وابسته اند. از سویی، انتقال در پلاسما به شکل متالوپروتئین و سرولئوپلاسمین انجام می شود.

کمبود مس موجب کاهش SOD و فعالیت سیتوکروم اکسیداز و گاهی اوقات آب مروارید می شود. ماهی در برابر کمبود کلسیم در جیره غذایی نسبت به افزایش غلظت آن درمحیط اطراف، تحمل بیشتری دارد. ماهی به راحتی مس محلول را از محیط جذب می کند و این امر در صورت وجود مقادیر زیادی مس در محیط موجب مسمومیت می شود.

غلظت سولفات مس بیش از ۰/۸ میلی گرم بر لیتر درآب منجر به مسمومیت خونی در بسیاری از گونه‌ها می‌شود. بنابراین، بنظر می رسد در صورت استفاده از سولفات مس به منظور ضدعفونی آب (جلبک زدایی- باکتری زدایی) ، اضافه کردن مس به جیره غذایی تا ۶۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم از جیره اثرات مضری بر قزل آلا بهمراه نداشته باشد.

مقدار نیاز به این عنصر ۳ تا ۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذاست. در سخت پوستان، مس عنصر اصلی و سازنده پروتئین هایی نظیر هموسیانین یا سیانودین است که نقشی مشابه هموگلوبین در انتقال اکسیژن در خون دارند. بنابراین، ظاهراً نیاز آنها به مس بیش از ماهی هاست. در مورد تعیین میزان این احتیاجات مطالعات کمی انجام شده است.

۳-۳-۱۰) روی

عنصر روی در بسیاری از سیستم های آنزیمی فعال در مصرف مواد غذایی، به عنوان کوآنزیم عمل می کند. بنابراین، فعالیت آلدولازها، پپتیدازها و فسفاتازهایی که در هضم مداخله می کنند، وابسته به عنصر روی است. اهمیت روی، سلنیم ومنگنز جهت حفاظت در برابر اتواکسیداسیون (از طریق SOD) در آزاد ماهیان به اثبات رسیده است.

کمبود روی منجر به آب مروارید، کاهش رشد، کاهش طول و پایین آمدن فعالیت SOD و فسفاتازها می‌شود. جذب روی محلول که عمدتا از طریق آبشش ها صورت می گیرد، پایین است. تامین روی از طریق جیره غذایی، حداقل در ماهیان آب شیرین امری حیاتی است. در این ماهیان سطح نیازها بین ۱۵ تا ۳۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم می باشد.

میزان دسترسی به روی متغیر است و به عوامل مرتبط با جیره غذایی بستگی دارد. جذب روی از روده به میزان قابل توجهی به وجود کلسیم و فسفر در محیط بستگی دارد. حضور فسفر به شکل هیدروکسی آپاتیت (آرد ماهی) یا فیتات‌ها (آرد دانه های روغنی، غلات و محصولات جانبی) دسترسی به روی را کاهش می دهند. بیشترین قابلیت دسترسی در بین نمکهای غیرآلی ، مربوط به نیترات یا سولفات روی است.

٤-۳-۱۰) منگنز

منگنز به عنوان کوآنزیم برخی از آنزیم‌ها (پیروات کربوکسیلاز، لیپاز، SOD) و به عنوان عامل کمکی یا کوفاکتور در بسیاری از سیستم های آنزیمی درگیر در متابولیسم هیدراتهای کربن، چربیها و نیتروژن عمل می کند.

کمبود منگنز موجب کاهش نرخ رشد، کاهش طول، بدشکلی اسکلتی و بروز نقص دراستخوان می شود. جذب منگنز از طریق آب ناچیز است. نیاز به این عنصر با توجه به شرایط پرورش وگونه‌ها، بین ۱۲ تا ۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک غذایی است. برای گربه ماهی، سطح کمی از نیاز (۲/۴ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم) در نظر گرفته شده است. مواد خام با منشأ حیوانی از نظر منگنز بسیار غنی‌اند، هرچند میزان دسترسی به آنها بسیار متغیر است. از بین نمکهای غیرآلی، اشکال سولفات یا کلرید منگنز بیشترین دسترسی زیستی را دارند.

۵-۳-۱۰) سلنیم

عنصر سلنیم یکی از سازندگان اصلی آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز است، اما نقش اصلی آن محافظت ازغشاهای لیپیدی در برابر اتواکسیداسیون است. اثر سینرژیسم بین سلنیم و ویتامین E روی رشد عضلانی در ماهی به اثبات رسیده است.

کمبود سلنیم موجب کاهش نرخ رشد و بخصوص کاهش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز (GSH) در کبد و پلاسما می شود، همچنین باعث کاهش واکنش های اکسیداسیون چربیها در محیطهای طبیعی می گردد. این آنزیم احیای پراکسید هیدروژن یا سایر پراکسید هیدروژن های آلی (ROOH) را تسریع می کند و تجمع پراکسید در محیطهای درون سلولی را کاهش میدهدکه اثرات بسیار خطرناکی بر غشاهای سلولی دارد (فصل۷).

نیاز غذایی به این عنصر بین ۰/۱۵ تا ۰/۴ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی است. جذب سلنیم محلول از طریق آب نیز صورت می گیرد. زمانی که غلظت سلنیم در آب بسیار کم باشد، علائم کمبود آن در ماهی مشهودتر است. گاهی اوقات آردهای ماهی حاوی غلظت های بالایی از سلنیم هستند، اما این غلظت‌ها بسیار متغیرند.

به منظور جلوگیری از اتواکسیداسیون، گنجاندن سلنیم در جیره ها بخصوص جیره های غنی از چربی، به شکل سلنیت سدیم صورت می گیرد. چنانچه سلنیم به میزان ۱۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا وارد بدن شود منجر به مسمومیت غذایی می شود.

٦-۳-۱۰) ید

عنصر ید به عنوان جزء اصلی سازنده هورمون های تیروئید شناخته شده است (تیروکسین T_4 و تری یدوتیرونین یا T_3). محیط زیست آبی منبع اصلی تامین کننده ید در ماهیان آب شیرین و ماهیان دریایی است. اگرچه نیاز به ید به صورت کمی تعیین نشده است، اما بنظر می رسد که تامین ۱ تا ۵ میلی گرم در هر کیلوگرم از جیره غذایی برای عملکرد صحیح سیستمهای هورمونی ضروری است. مکمل های یددار (۴/۵ میلی گرم در هر کیلوگرم از غذا) در محافظت ماهی آزاد اقیانوس آرام در برابر بیماریهای باکتریایی نظیر بیماری باکتریایی کلیه موثرند. بطور کلی، آردهای ماهی غنی از ید هستند. در جیره های خالص، استفاده از مکمل های حاوی یدید پتاسیم ضروری است.

۷-۳-۱۰) سایر عناصر کمیاب(ضروری)

اطلاعات بسیار کمی در زمینه سایر عناصر ضروری وجود دارد. بنظر می رسد کمبود آلومینیم موجب بروز اختلال در رشد مارماهی می شود. اثرات مفید ناشی از ورود فلوراید (۴ تا ۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم) در ماهی آزاد اقیانوس آرام، اثبات شده است. نقش تغذیه ای کروم، مولیبدن، وانادیم یا سیلیکون در ماهیان بخوبی بررسی نشده است.

٤-١٠ - خلاصه

از نظر تئوری، مواد معدنی از عجیب ترین موضوعات تغذیه ماهی بحساب می آیند بطوریکه ماهی میتواند آنها را از آب و جیره غذایی دریافت کند. سهم نسبی هر یک از منابع مذکور بخوبی شناخته نشده است. هرچند نقش فیزیولوژیک و غذایی ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب در ماهی مشابه جانوران عالی است، اما آگاهی از مکانیسم های مرتبط، احتمال اختلاف بین گونه های آب شیرین و گونه های دریایی را روشن می کند. اطلاعات موجود نیز نشان می دهند که در مفهوم گسترده نیازهای کمی این دو گروه مشابه یکدیگرند. به هر حال داده های موجود از نظر احتیاجات کمی بسیار محدود بوده و در واقع در خصوص مواد معدنی و نقش آنها در تغذیه آبزیان اطلاعات چندانی در دست نیست.

از نظر اقتصادی، در نگاه اول چنین بنظر می رسد که هزینه منظور نمودن مواد معدنی در غذای ماهی، به استثنای فسفر بسیار محدود است. اما مواد خاصی که در حال حاضر در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند از نظر محتوای مواد معدنی بسیار متنوعند. برای محاسبه اهمیت مواد معدنی بر روی فیزیولوژی و متابولیسم عمومی و همچنین واکنش آنها با سایر مواد غذایی، بسط و توسعه روش های تعیین‌کننده احتیاجات غذایی، با توجه به ترکیب محیط آبی ضروری است.

«فصل ۱۱»

کاروتنوئیدها و تجمع آنها در بافت

کاروتنوئیدها رنگدانه های محلول در چربی هستند که رنگ آنها بین زرد تا قرمز است. این ترکیبات در تمام رده های گیاهی و جانوری گسترش یافته و از دهه ۱۹۵۰ توجه دانشمندان را بخود جلب نموده اند. تاکنون نزدیک به ۶۰۰ نوع کاروتنوئید طبیعی شناسایی شده است. این مواد در مفهوم کلاسیک در دسته مواد مغذی قرار نمی گیرند اما جزء موادی هستند که حیوانات قادر به ساخت آنها نمی باشند. بطورکلی کاروتنوئیدها به عنوان مواد ضروری تلقی نمی شوند اما به رغم اینکه هنوز بخوبی مشخص نشده که نقش کدامیک از رنگدانه ها چشمگیرتر است، در بی‌مهرگان و مهره داران نقش های مختلفی را ایفا می کنند.
به علت اهمیت اقتصادی رنگدانه ها در آزادماهیان و میگوهای پنئیده (به میزان کمتر در کپورماهیان)، اکثر مطالعات انجام شده پیرامون حیوانات آبزی، در مورد این گونه‌ها صورت گرفته و رنگ صورتی گوشت آزاد ماهیان یا پوسته سخت میگو به عنوان شاخص کیفی مورد بررسی قرار می گیرد. عامل وجود رنگ در این گونه ها، رنگدانه های کاروتنوئید موجود در جیره‌های غذایی است که مهمترین آنها دو نوع از کتوکاروتنوئید ها تحت عنوان کانتاگزانتین و آستاگزانتین است. ماهی ها بر خلاف سخت پوستان قادر به ساخت این رنگدانه‌ها از کاروتنوئیدهای ساده تر نیستند. در طبیعت کاروتنوئیدها توسط طعمه های طبیعی تامین می‌شوند اما در آبزی پروری متراکم تامین این مواد از طریق غذا صورت می گیرد.

هدف عمده از مطالعات انجام شده روی کاروتنوئید های سخت‌پوستان، نشان دادن واکنش های بیوشیمیایی تغییر و تبدیلات داخلی این رنگدانه هاست. به این ترتیب، می توان به روابط بین کاروتنوئیدها و رنگها به ویژه در آزادماهیان دست یافت و خواننده را به سمت مطالعات مستند در مراجع مختلف در رابطه با سایر جنبه های متابولیسم کاروتنوئیدها هدایت کرد.

۱-۱۱- قابلیت رنگ آمیزی[1] بافت ها توسط رنگدانه های کاروتنوئیدی

مهمترین جنبه کاروتنوئیدها از نظر پرورش‌دهندگان ماهی و سازندگان خوراک، کارایی رنگ‌آمیزی بافتی ناشی از این ترکیبات است. این ویژگی بواسطه ساختار، رنگ ویژه، قابلیت هضم، تغییر و تبدیلات متابولیک و میل ترکیبی ویژه آنها نسبت به یک بافت بخصوص، تعیین می شود.

۱-۱-۱۱) ساختار

کاروتنوئیدها ترکیبات پلی انیکی[2] هستند که توسط مجموعه ای از پیوندهای دوگانه جفت شده، مشخص می شوند (شکل۱-۱۱). مولکول های آنها از ۸ زنجیره ایزوپرنیک ساخته شده که به صورت قرینه در اطراف یک پیوند دوگانه مرکزی مرتب شده و یک تتراترپن را تشکیل می دهند(واحد ترپن شامل ۱۰ مولکول کربن است بنابراین تتراترپن شامل ۴۰ مولکول کربن خواهد بود). تعداد پیوندهای دوگانه از ۷ تا ۱۵ متغیر است که تعداد آنها در کاروتنوئیدهای ماهی معمولا ۱۱ می باشد. به علت وجود این ساختار شیمیایی ویژه، احتمال وجود تعداد زیادی از ایزومرهای هندسی استروئیدی وجود دارد که بیشترین تعداد مربوط به ایزومرهای E کامل (با نام قدیمی ترانس کامل) است. با این حال، تجزیه وتحلیل ها نشان داده است که اشکال Z-E (با نام قدیمی سیس- ترانس) به تعداد قابل توجهی وجود دارند. عامل ناپایداری این رنگدانه ها نیز وجود تعداد زیادی پیوندهای دوگانه است. کاروتنوئیدها براحتی تخریب شده و در دماهای بالا یا افزایش شدت نور بی‌رنگ می شوند. متداولترین انواع کاروتنوئیدها در بین آزادماهیان به شرح ذیل می باشند(شکل۱-۱۱):

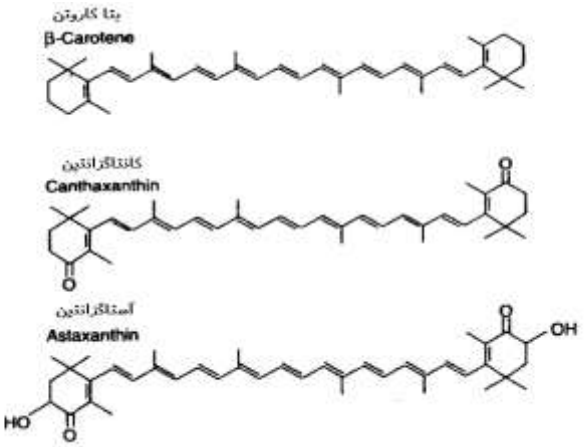
---

[1] pigmentation
[2] polyenic

ـ بتا کاروتن(β,β-carotene). این کاروتنوئید از متداولترین مواد طبیعی است و شامل دو واحد یون تک قطبی در دو انتهای ساختار آن است.

- کانتاگزانتین (β,β-carotene-4,4′-dione). در ساختار این رنگدانه ۲ گروه کتون در موقعیت های ۴ و ۴ قرار دارند.

ـ آستاگزانتین (3,3′-dihydroxy-β,β-carotene-4,4′-dione). این رنگدانه قرمز در ساختار خود ۲ گروه هیدروکسیل در موقعیت های ۳و۳ و دو گروه کتون در موقعیت های ۴و۴ دارد. این ترکیب مهمترین رنگدانه در آزادماهیان و بسیاری از سخت پوستان است و به هر دو شکل آزاد و استری شده (مونو یا دی استر) وجود دارد.



شکل ۱-۱۱) ساختار شیمیایی برخی کاروتنوئیدهای آبزیان

بطورکلی سایر رنگدانه ها بندرت مورد شناسایی قرار گرفته اند. تعدادی از آنها به عنوان گروههای حدواسط مهم در متابولیسم رنگدانه عمل می کنند. می توان چنین فرض نمود که در موارد خاص غلظت پایین رنگدانه ها یا حتی فقدان ظاهری آنها ناشی از سرعت بالای تغییرات در آنهاست. اشکال آزاد آستاگزانتین وکانتاگزانتین که به صورت صنعتی ساخته می شوند، در حال حاضر در آبزی پروری متراکم مورد استفاده قرار می گیرند.

۲-۱-۱۱) رنگهای ویژه

رنگ کاروتنوئید بواسطه کروموفوری که از حداقل ۷ پیوند دوگانه تشکیل شده ایجاد می شود. این رنگدانه ها معمولا به رنگ زرد تا قرمزند. اگرچه بتا-کاروتن نارنجی است اما کانتاگزانتین کروموفور طویلتری داشته بنابراین طول موج بالاتری از نور را جذب کرده و رنگ صورتی را ایجاد می کند. کروموفورهای آستاگزانتین نیز مشابه کانتاگزانتین است. منابع طبیعی کاروتنوئیدها همیشه شامل مخلوطی از رنگدانه‌های مختلف با تراکم متفاوت است. بنابراین رنگ آنها به نسبت حضور کاروتنوئیدهای مختلف بستگی دارد.

۳-۱-۱۱) قابلیت هضم یا قابلیت دسترسی

رنگدانه های کاروتنوئیدی پس از خورده شدن می توانند جذب یا تبدیل شده یا به صورت دست نخورده از طریق مدفوع از بدن خارج شوند. مواد حاصل از تبدیل آنها نیز دفع یا مجددا به وسیله موکوس روده جذب می شوند. ذکر این نکته ضروری است که کانتاگزانتین در قزل‌آلا تغییرشکل نمی دهد.

از آنجاییکه کاروتنوئیدها از ترکیبات محلول در چربی هستند، جذب آنها در ارتباط با جذب چربی ها بوده و قابلیت هضم آنها تحت تاثیر محتوای چربی جیره غذایی قرار دارد. از اینرو آستاگزانتین موجود در روغن ماهی از قابلیت هضم بالاتری(۸۵ تا ۹۰ درصد) نسبت به آستاگزانتین موجود در آرد میگو (۷۵ تا ۸۰ درصد) برخوردار است. قابلیت هضم عمدتا به شکل و ماهیت کاروتنوئیدها بستگی دارد. بنابراین قابلیت هضم آستاگزانتین از ۱۰ تا ۶۰ درصد متغیر بوده و بعضی مواقع قابلیت هضم آن با توجه به منشا، به ۲۰ تا ۳۰ درصد می رسد. قابلیت هضم آستاگزانتین در فرم استری شده بیش از شکل آزاد آن است اما بنظر می رسد که آزادماهیان آستاگزانتین دی پالمات را به میزان اندک مورد استفاده قرار میدهند. قابلیت هضم بهتر فرم استری شده مورد بحث و اختلاف است. آستاگزانتین به سه شکل دی استر، مونو استر و آزاد موجود است که دو فرم مونو استر و دی استر در دستگاه گوارش هیدرولیز شده و تجزیه مدفوع نسبت بالای فرم آزاد آن را نشان می دهد. به همین دلیل تصور می شود که استرها زمانیکه صرفا به شکل مصنوعی ساخته می شوند بهتر جذب می گردند. اما اندازه گیری دقیق قابلیت هضم کاروتنوئیدها نظیر هر نوع ماده غذایی، به علت فرآیند تجزیه در دستگاه گوارش امکانپذیر نیست.

روش دیگر مطالعه قابلیت دسترسی کاروتنوئیدها اندازه گیری میزان رنگدانه های موجود در خون ماهی است.کانتاگزانتین سه ساعت پس از مصرف جیره آزمایشی در سرم خون یافت می شود و ۲۴ ساعت پس از خوردن غذا،غلظت آن به حداکثر می رسد. این مدت زمان در مورد آستاگزانتین کاهش مییابد(شکل۲a-۱۱). در صورت میزان مصرف یکسان، غلظت آستاگزانتین سرم خون بیشتر از کانتاگزانتین (حدود ۲ تا ۳ برابر) خواهد بود. غلظت کاروتنوئید در خون در کمتر از سه روز پس از انتقال کامل مکمل های کاروتنوئیدی کاهش می یابد و میزان کاهش آستاگزانتین و کانتاگزانتین یکسان خواهد بود(۲b-۱۱). با این وجود علت اختلاف در ظرفیت جذب کاروتنوئیدها در آزادماهیان هنوز بخوبی بررسی نشده است.

٤-۱-۱۱) تبدیل متابولیک

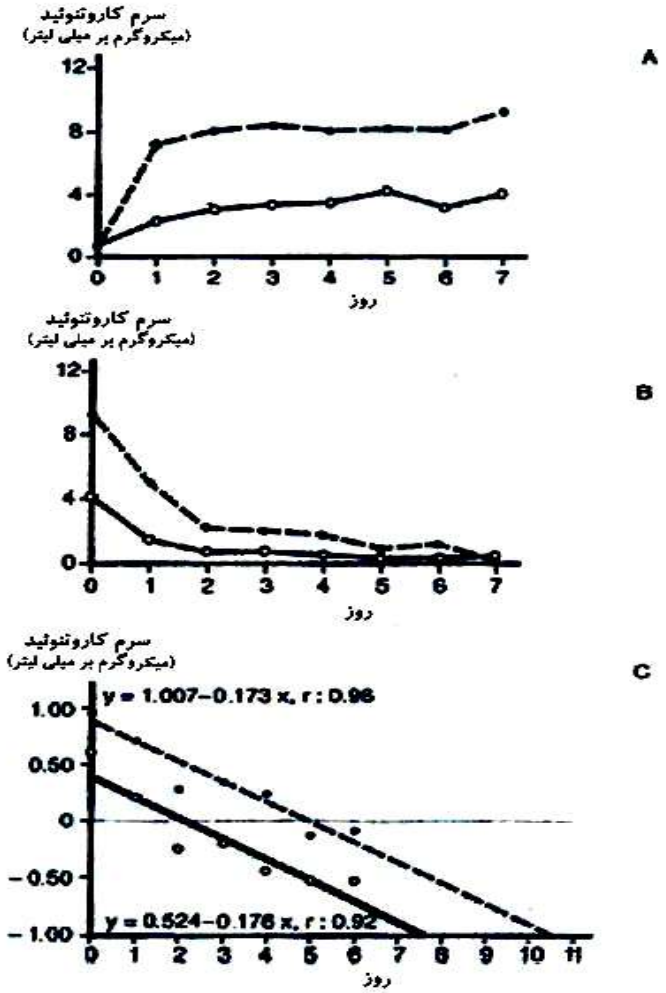
بر اساس قابلیت حیوانات آبزی به منظور متابولیسم رنگدانه های مختلف کاروتنوئیدی به آستاگزانتین که رنگدانه غالب آنهاست، تقسیم‌بندی ذیل پیشنهاد شده است:

- حیواناتی که لوتئین یا زی اگزانتین (به غیر از بتا- کاروتن) را به آستاگزانتین تبدیل می کنند(کپورماهیان)
- حیواناتی که آستاگزانتین را از بتا-کاروتن می سازند (تقریبا همه سخت پوستان)
- حیواناتی که قادر به انجام هیچ تبدیلی نیستند (آزادماهیان)

مهمترین مسیر متابولیکی، تجزیه اکسایشی زنجیره پیوندهای دوگانه از قبیل تجزیه بیولوژیکی بتا- کاروتن به ویتامین A است.

۵-۱-۱۱) میل ترکیبی ویژه در بافت‌ها

میل ترکیبی ویژه در رابطه با قابلیت هرکاروتنوئید نسبت به تجمع در یک بافت بخصوص (پوست، عضله، اسکلت خارجی، غدد گوارشی) است. تعدادی از کاروتنوئیدها از قبیل مایکوزانتوفیل ها یا زانتوفیل های گلیکوزیل در عضله قزل آلا تجمع نمی یابند. سایر کاروتنوئیدها همچون سیتراناگزانتین به میزان بسیار محدود به عنوان رنگدانه توسط آزادماهیان مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۲-۱۱) **A : الگوی تغییر محتوای سرم رنگدانه کاروتنوئید در قزل آلا: کانتاگزانتین(- -) یا آستاگزانتین(---)** **B : پس ار توقف مصرف رنگدانه C : خطوط رگرسیون لگاریتمی** (**Choubert *et al.*, 1994**)

به هرحال، این ویژگی نتیجه فرآیندهای مختلفی است که در نهایت موجب تثبیت رنگدانه می شوند. میل ترکیبی ویژه کاروتنوئیدها به عواملی از قبیل قابلیت دسترسی کاروتنوئیدها از طریق ذرات غذایی و قابلیت هضم آنها (که قبلا به آن اشاره شد)، غلظت آن در جیره، مدت زمان ذخیره آن و توانایی موجود زنده در تبدیل یا تجمع رنگدانه ها در بافت بستگی دارد.

۲-۱۱ - شاخص های ارزیابی قابلیت رنگ آمیزی بافتی

قابلیت رنگ‌آمیزی بافتی کاروتنوئیدها به عنوان افزایش نسبت تجمع تعریف شده است که به منظور ارزیابی آن، از شاخص های مختلفی شامل آنالیز شیمیایی غلظت کاروتنوئید در خون یا عضله، تعیین رنگ عضله و تجزیه و تحلیل حسی استفاده می شود.

۱-۲-۱۱) آنالیز شیمیایی

کاروتنوئیدها در حضور گرما، نور، اکسیژن، پراکسیدها، اسیدها و در موارد خاصی در مقابل آلکالین ها ناپایدارند و طی آنالیز شیمیایی توجه به این عوامل ضروری است. آنالیز کاروتنوئیدها فرآیند وقت گیری است که پس از استخراج و جداسازی آنها توسط کروماتوگرافی (کروماتوگرافی لایه نازک یا کروماتوگرافی با بازدهی بالا(HPLC)) صورت می گیرد و تراکم هر رنگدانه از طریق حداکثر طول موجی که جذب می شود) برآورد می شود.

۲-۲-۱۱) ارزیابی کالریمتریک

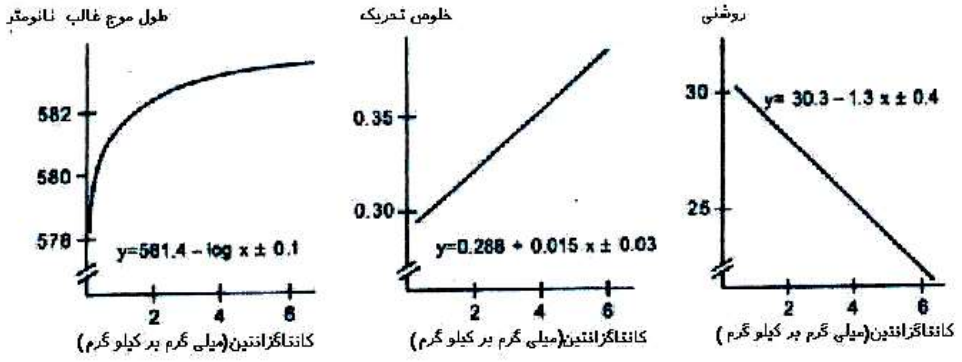
تعیین رنگ شامل تعیین سه خصوصیت است:

- سایه رنگ (طول موج غالب)، که انتخاب در محدوده رنگ را امکانپذیر می سازد.
- کروما (یا درجه خلوص تحریک)، که بیان کننده نسبت ترکیب رنگ معین با رنگ سفید است. چشم انسان رنگ کروما را با سایه رنگ ترکیب کرده و تصویر منحصر بفردی از رنگ را ایجاد می کند.
- روشنایی که شدت درخشش رنگ ها(روشن یا تاریک)را مشخص می کند.

این اندازه گیری های فیزیکی انتقال سریع رنگ (طول موج غالب) را از زرد تا نارنجی با توجه به افزایش میزان کانتاگزانتین در عضله نشان می دهد(شکل۳-۱۱). بنابراین رنگ قزل آلا به رغم مصرف دائمی به حد ماکزیممی تمایل دارد که به رغم مصرف دائمی رنگدانه ها، از حد مشخصی فراتر نخواهد رفت. زمانیکه که غلظت کانتاگزانتین در عضله بالا رود، فراوانی رنگدانه افزایش یافته و روشنی کاهش و رنگ تیره تر می شود. خصوصیات رنگ عضله قزل آلا تحت‌تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد: سایه رنگ حاصل از وضعیت شیمیایی کاروتنوئیدها، کروما حاصل از غلظت کاروتنوئیدها و روشنایی ناشی از وضعیت فیزیکی عضله (آسیب دیده یا سالم). توجه به این نکته ضروری است که تحت شرایط خاص(مثل غلظتهای بالا) افزودن کاروتنوئیدها به جیره لزوما منجر به بهبود رنگ نمی گردد.

۳-۲-۱۱) آنالیزحسی

هر چند آنالیز شیمیایی غلظت کاروتنوئید و اندازه گیری فیزیکی رنگ عضله روشهای کاربردی و قابل تعمیمی هستند اما استفاده از آنها وقت گیر، پرهزینه و پیچیده است. علاوه براین، تنها یک جنبه از تجمع رنگدانه ها در بافت ها (غلظت یا رنگ هریک ازکاروتنوئیدهای مورد مطالعه) را در نظر می گیرد و امکان جداسازی و تشخیص نقش هر یک از آنها را هنگام حضور کاروتنوئیدهای مختلف ممکن نمی سازد.



شکل ۳-۱۱) ارتباط بین تراکم کانتاگزانتین(میلی گرم بر کیلوگرم) و خصوصیات رنگ در عضله قزل آلا
(Choubert , 1982)

از روشهای ذهنی با کاربرد علمی ساده‌تر نیز به منظور ارزیابی قابلیت تجمع رنگدانه های کاروتنوئید در بافت ها استفاده می شود. این روشها بر پایه مقایسه چشمی استوار بوده و مقایسه هر یک با دیگری (تست درجه بندی) یا نسبت به یک رنگ استاندارد صورت می گیرد. رنگ استاندارد می تواند شامل موارد ذیل باشد:

ـ اطلس رنگی (برای مثال سیستم رنگ طبیعی[1])

ـ محدوده رنگی که از سیستم رنگ طبیعی مشتق شده ولی اغلب بر بخشی از رنگ ها تمرکز می‌یابد (برای مثال، محدوده تعیین شده در مورد آزاد ماهیانی که آستاگزانتین مصرف کرده‌اند).

ـ مقیاس رنگی اختیاری که از ۱ (بدون رنگ) تا X متغیر است، با توجه به اینکه X با توجه به درجه‌بندی می تواند ۸، ۱۰ یا حتی ۱۸ باشد.

این روش ها قابل تعمیم نبوده و نقطه ضعف های خاصی دارند، بدون شک برجسته ترین نقطه ضعف آنها در ارتباط با مبانی اصلی این روش ها در چگونگی مقایسه رنگدانه های طبیعی با جوهرهای چاپی است. چون درجه بندی اختیاری از یک تولید کننده به تولیدکننده دیگر متغیر است و امکان مقایسه نمونه های تهیه شده در مکان های مختلف وجود ندارد. تست درجه بندی امکان مقایسه نمونه های جمع آوری شده در زمان های مختلف را نیز فراهم نمی کند.

۳-۱۱ - عوامل مؤثر بر رنگ‌آمیزی بافتی

سهم نسبی کاروتنوئیدهای موجود در اندام ها یا بافت ها و اشکال مختلف آنها متغیر بوده و به عوامل مختلف وابسته است. تثبیت کاروتنوئیدها تحت تاثیر سه عامل عمده : جیره غذایی، حیوان و عوامل زیست‌محیطی قرار دارد.

۱-۳-۱۱) عوامل تغذیه ای

۱-۱-۳-۱۱) منابع کاروتنوئید

منابع زیادی از رنگدانه ها وجود دارند که شامل مواد خام (بویژه مخمرها، الگها و کریل ها)، محصولات جنبی صنایع غذایی(ضایعات خرچنگ یا میگو) و ترکیبات مخصوص(آرد میگو) می باشند.

[1]Natural Color System(NCS)

مزیت مواد خام و ضایعات صنایع غذایی در این است که به میزان زیاد در دسترس بوده و نسبتا ارزانند. همچنین منبع قابل توجهی از پروتئین را تشکیل می دهند. مصرف این دسته از منابع کاروتنوئیدی، رنگ آمیزی بافتی را افزایش می دهند. با این وجود استفاده از این مواد مشکلاتی بهمراه دارد که از آن جمله ناپایداری بسیار زیاد محتویات رنگدانه ها و گاهی اوقات وجود مقادیر زیادی از مواد کم ارزش غذایی همچون کربنات کلسیم (بیش از ۳۰ درصد محصولات فرعی حاصل از سخت‌پوستان) یا سلول هایی با دیواره غیر قابل هضم(فیبر حاصل از جلبکها و مخمرها)، می باشد. فرآیندهای تکنولوژیک حذف کننده این ترکیبات اغلب اثرات مضری بر پایداری کاروتنوئیدها دارند. از اینرو تلاش می شود تا رنگدانه ها را قبل از ورود آنها به غذا از مواد خام استخراج کرده و به همان صورت یا پس از حل کردن در روغن گیاهی یا حیوانی فاقد کاروتنوئید، در غذای ماهی گنجانده می شوند. عصاره های گرفته شده از خرچنگ دراز آب شیرین، خرچنگ و سایر سخت پوستان، همچنین گیاهانی از فبیل پاپریکا(نوعی فلفل قرمز)، گلهای شاه بلوط و گل جعفری فرانسوی(*Tagetes* sp.) به این صورت مورد استفاده قرار می گیرند. تجمع رنگدانه ها در بافت های مصرف کننده این ترکیبات بسیار غیریکنواخت است.

اگر چه غنی سازی جیره غذایی با استفاده از رنگدانه های مصنوعی هزینه غذا را تا حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش می دهد اما سنتز شیمیایی کانتاگزانتین وآستاگزانتین بدون استفاده از مواد خام غنی از کاروتنوئیدها صورت می گیرد. علاوه بر این، میزان استفاده از این ترکیبات تابع قوانین مطلق و مشخص هر کشوری است. در اتحادیه اروپا کانتاگزانتین و آستاگزانتین در ضمیمه I فهرست شده اند (بر اساس دستور های 87/552/EEC, 88/228/EEC). میزان دوز پیشنهادی جهت مصرف کانتاگزانتین ۸۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم غذا و برای آستاگزانتین ۱۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذاست.

۲-۱-۳-۱۱) ساختار کاروتنوئید

ترکیب ایزومرهای آستاگزانتین در عضله نشان دهنده ترکیب جیره مصرفی است. آستاگزانتین موجود در عضله آزاد ماهیان وحشی و پرورشی ساختار مشابهی ندارد. در هر حالت، مصرف ایزومرهای نوری آستاگزانتین (3S,3'S)-,(3R,3'S)-,(3R,3'R) یا ترکیبی مشابه آنچه که در گوشت آزادماهیان وحشی یافت می شود(۱:۲:۱) منجر به اپیمریزاسیون این رنگدانه نمی شود.

۳-۱-۳-۱۱) پایداری کاروتنوئیدها

پایداری کاروتنوئید موجود در غذای ماهی ناچیز و کمتر از حد لازم است بنابراین، در نظر گرفتن احتیاط لازم بخصوص در برابر اکسیداسیون که اصولا موجب تخریب آنها می شود ضروری است. به همین منظور،حفاظت از رنگدانه های مصنوعی یا از طریق پوشش دار کردن آنها توسط ژلاتین یا از طریق انتشار ذرات آنها در یک ماده هیدرات کربنی صورت می گیرد. همچنین اگر غذا بلافاصله پس از ساخت تحت شرایط جوی خنثی نگهداری شود، خطر اکسیداسیون به میزان زیادی کاهش می یابد. افزودن آنتی اکسیدان ها (فصل ۱۸) نیز پایداری کاروتنوئیدها را در خصوص اکسیداسیون افزایش می دهد.

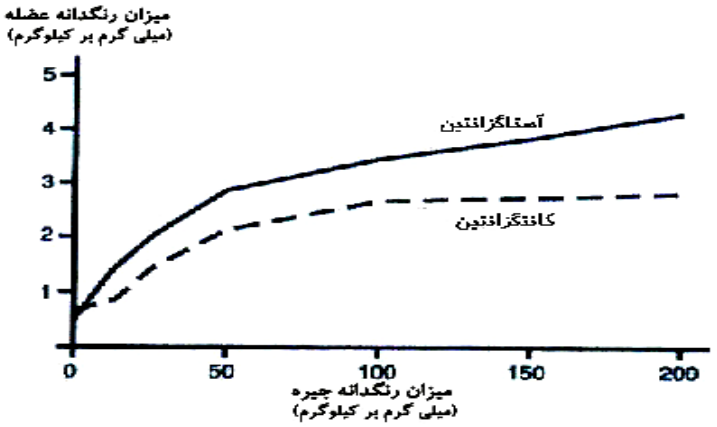
بخش قابل توجهی از رنگدانه های کاروتنوئیدی (حدود ۲۰ درصد در مورد کانتاگزانتین) بر اثر پلت کردن غذا (فصل ۲۱) از بین می روند. در این رابطه عواملی نظیر افزایش دما و ساییدگی لایه پوششی هنگام عبور غذا از منافذ خروجی دستگاه پلت زن نسبت به فشار وارد شده به غذا، تاثیر بیشتری دارند. آسیب وارد شده به پلت ها تخریب کاروتنوئید ها را در نتیجه افزایش سطح تماس در برابر هوا تسریع کرده همچنین موجب افزایش میزان تخریب طی نگهداری غذا می شود. حمل و نقل نامطلوب و جذب رطوبت نیز موجب صدمه زدن به پلت ها و در نتیجه کاهش کیفیت محتوای کاروتنوئیدی آنها می شود.

٤-۱-۳-۱۱) کمیت رنگدانه

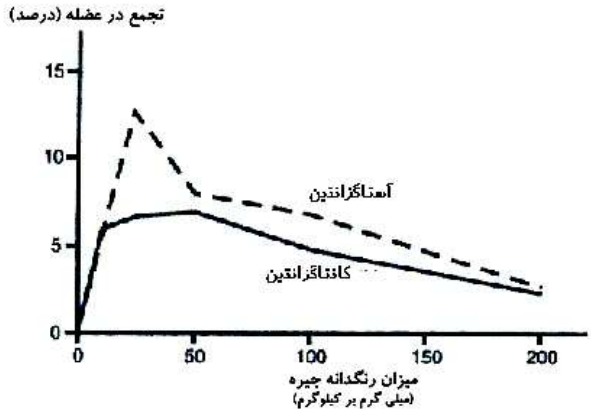
تاثیر مقدار رنگدانه کاروتنوئیدی خورده شده توسط ماهی در تجمع رنگدانه ها در داخل بافت ها کاملا مشخص شده است. هنگام زیاد بودن کاروتنوئید مصرفی، تثبیت کاروتنوئیدها در ماهیچه افزایش می‌یابد(شکل ۴-۱۱). با این وجود، مصرف بیش از حد اثری دربرنخواهد داشت. سطح مشخص مصرف کانتاگزانتین نزدیک به ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم غذاست که می تواند با اشباع شدن پتانسیل جذب مطابقت داشته باشد. علاوه بر این، میزان تثبیت کانتاگزانتین کمتر از آستاگزانتین است که این اختلاف ناشی از جذب بهتر آستاگزانتین می باشد. در قزل آلا ، تنها هنگامیکه ماهی ۴ تا ۵ میلی گرم کانتاگزانتین را در هر کیلوگرم از ماهیچه تثبیت کند، شیب منحنی تغییر می کند. این شیب نشان دهنده کانتاگزانتین تثبیت شده در همه عضله ماهی می باشد. ولی به علت تخریب کاروتنوئیدها طی مراحل ذخیره سازی و آماده سازی نهایی، بهتر است که غلظت ۵ تا ۶ میلی گرم از کاروتنوئید به ازاء هر کیلوگرم در نظر گرفته شود.

برای اینکه عضله ای حاوی ۸۰ میلی گرم کاروتنوئید به ازاء هر کیلو گرم از غـذایی کـه توزیـع مـی شـود داشته باشیم، مدت زمان توزیع رنگدانه در حدود ۲ تا ۳ هفته طول خواهد کشید. با این حال، امروزه نیازهـا و تمایل به مصرف کاروتنوئیدها افزایش یافتـه و بعیـد نیسـت کـه جیـره هـایی حـاوی ۸ تـا ۱۲ میلـی گـرم کاروتنوئید به ازاء هر کیلوگرم عضله تنظیم شوند. تامین نیازهای کاروتنوئیدی از این طریق مستلزم عرضـه بیشتر جیره ها خواهد بود.

ضریب تجمع یا ذخیره کاروتنوئید بصورت نسبت کاروتنوئید مصرفی ذخیره شـده در عضـله یـا کـل بـدن حیوان، مشخص می شود. این ضریب با افزایش میزان غذای خورده شده کاهش می یابد (شکل۵-۱۱). در این شکل نسبت به مصرف دوزهای پایین در ارتباط با جیره حاوی ۵۰ میلی گـرم کانتـاگزانتین بـه ازاء هـر کیلـوگرم غـذا، حـداکثر ۶/۹ درصـد افـزایش در ذخیـره کانتـاگزانتین و جیـره حـاوی ۲۵ میلـی گـرم از آستاگزانتین به ازاء هر کیلـوگرم از غـذا، حـداکثر ۱۲/۵ درصـد افـزایش در ذخیـره آسـتاگزانتین مشـاهده می‌شود. متوسط ضریب تجمع آستاگزانتین ۱/۳ برابر کانتاگزانتین است که بخشی از آن به علـت اخـتلاف در قابلیت هضم آنهاست.



شکل ٤-۱۱) رابطه بین سطوح رنگدانه جیره و کاروتنوئید عضله (Choubert and Storebakken, 1989)

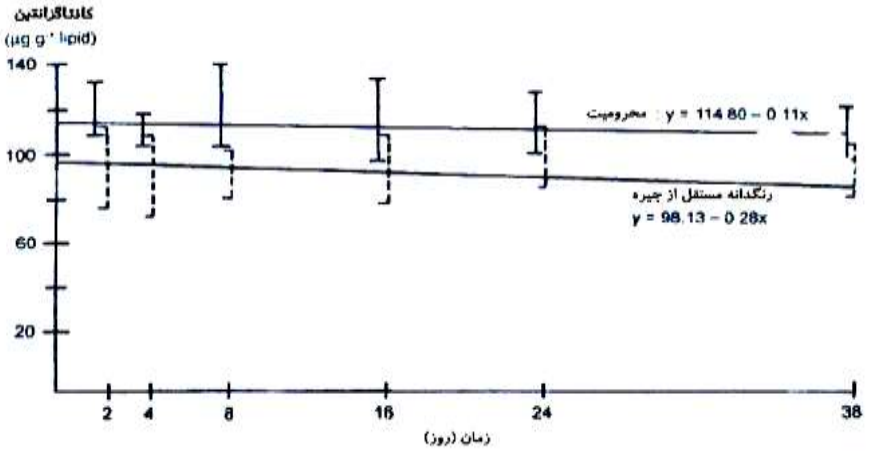


شکل ۵-۱۱) تجمع رنگدانه های کاروتنوئیدی در عضله قزل آلا نسبت به مقدار کتوکاروتنوئیدهای جیره (Choubert and Storebakken, 1989)

در صورتیکه تامین کانتاگزانتین در جیره ماهی قزل آلا متوقف شود، تجمع رنگدانه ها در بافت ماهی تحت تاثیر قرار می گیرد(شکل۶-۱۱). البته این پدیده در ماهیان سیر، مشخص تر از ماهیان گرسنه خواهد بود. این مسئله بیانگر این مطلب است که توزیع مجدد کانتاگزانتین از بافتی به بافت دیگر به دلیل نیمه عمر طولانی بافت عضلانی نسبت به سایر اندام ها می باشد.

۵-۱-۳-۱۱) چربی جیره

به علت محلول بودن کاروتنوئیدها در چربی، اضافه نمودن چربی به غذا قابلیت هضم رنگدانه ها را بالا برده و موجب افزایش تجمع رنگدانه ها در بافت می شود. در آزادماهیان، چربی موجود در عضله یا بافت پوستی تا حدودی ماهیت و میزان چربی جیره را نشان می دهد. احتمالا تاثیر مستقیم چربی ها در حلالیت و پایداری کاروتنوئیدها تنها یک جنبه از موضوع است. اثرات غیر مستقیم چربی ها شامل رقابت بین کاروتنوئید و ویتامین A به منظور اتصال به مولکول هایی است که کاروتنوئیدها را درخون و احتمالا از بین غشاها عبور می دهند.



شکل ٦-١١) اثر گرسنگی یا جیره های فاقد رنگدانه بر میزان کانتاگزانتین عضله قزل آلا پیش از تجمع رنگدانه کانتاگزانتین در آن(Choubert,1985)

تاثیر چربی ها در تجمع رنگدانه ها در بافت های قزل آلا هنوز بخوبی روشن نشده است اما بنظر می رسد که حل کردن کانتاگزانتین در اولئیک اسید نسبت به سایر اسیدهای چرب، تجمع آن را در عضله قزل آلا افزایش می دهد.در مقابل، غلظت آستاگزانتین عضله تحت تاثیر منبع چربی های جیره غذایی (روغن ذرت یا روغن ماهی) قرار ندارد.

۲-۳-۱۱) تغییرات مرتبط با حیوان

جذب و تثبیت رنگدانه های کاروتنوئیدی به میزان قابل توجهی به جنس،گونه و حتی نژاد ماهی، وابسته است. ازینرو، در بین جمعیتی از قزل آلا، ضریب تنوع تجمع رنگدانه ها در عضله معمولا در ماهیانی که از نظر جنسی بالغ نیستند، نزدیک به ۳۰ درصد است. این تنوع طی بلوغ جنسی بشدت افزایش می یابد.

۱-۲-۳-۱۱) وزن بدن و سن

قزل آلاهای با وزن کمتر از ۱۵۰ گرم بدون در نظر گرفتن ذخیره جیره، مقدار اندکی کانتاگزانتین را در عضله های خود تثبیت می کنند. ظرفیت آزاد ماهیان نسبت به تثبیت کاروتنوئید بیشتر در ارتباط با سن و وضعیت فیزیولوژیک آنهاست و کمتر تحت تاثیر وزن بدن و مقدار کاروتنوئید جیره قرار می گیرد.

۲-۲-۳-۱۱) بافت ها

با توجه به بافت مورد بررسی (پوست یا عضله)، رنگدانه ها به شکل های مختلف تثبیت می شوند. در پوست آزادماهیان، آستاگزانتین در فرم استری شده یافت می شود در حالیکه در عضله به شکل آزاد ولی متصل به پروتئین ها وجود دارد. طبق یک فرضیه ابتدایی، اشکال آزاد آستاگزانتین از اشکال استری شده موجود در عناصر، تولید و بدون هیچ تغییری در پوست ذخیره می شوند. در واقع بر خلاف گونه های خاصی از جمله ماهی قرمز، آزادماهیان کاروتنوئیدهای خورده شده را به همان شکل اولیه خود تثبیت می‌کنند. گرچه در سوف (*Cymatogaster aggregata*) آستاگزانتین پس از هیدرولیز اشکال استری آن، مجددا در دیواره روده استری شده و سپس به پوست انتقال می یابد.

غلظت کاروتنوئیدها در پوست آزادماهیان بیش از عضلات آنها است (در حدود ۱۰ برابر) که این تفاوت به نقش کاروتنوئیدها در پدیده های نوری مربوط می شود. اگر چه عملکرد دقیق کاروتنوئیدها در ماهی هنوز بخوبی شناخته نشده اما از بسیاری مشاهدات می توان چنین استنباط نمود که این رنگدانه ها نقش مهمی در محافظت سلول ها در برابر اثرات مخرب نور مرئی بر عهده داشته و موجب تعدیل یا کاهش شدت نور موجود می شوند و حداکثر دارای ۹ پیوند دوگانه در مولکول خود هستند. این حالت در تمام کاروتنوئیدهای موجود در پوست قزل آلا وجود دارد. کاروتنوئیدها در گیاهان، آلگها یا باکتری ها و گونه های بیشماری از حیوانات از جمله انسان به عنوان موانع بالقوه ای در برابر تخریب سلولی ناشی از قرار گرفتن در معرض نور با شدت بالا، شناخته شده اند (فعالیت حفاظتی در برابر نور).

در سخت پوستان کاروتنوئیدها عمدتاً در اشکال پیچیده ای وجود دارند که از بین آنها کاروتنوپروتئینها بخوبی شناسایی شده اند. این ترکیبات پیچیده محلول در آب با توجه به ماهیت گروه پروستاتیک خود تنوع رنگی گسترده ای را ایجاد می کنند.

۳-۲-۳-۱۱) بلوغ جنسی

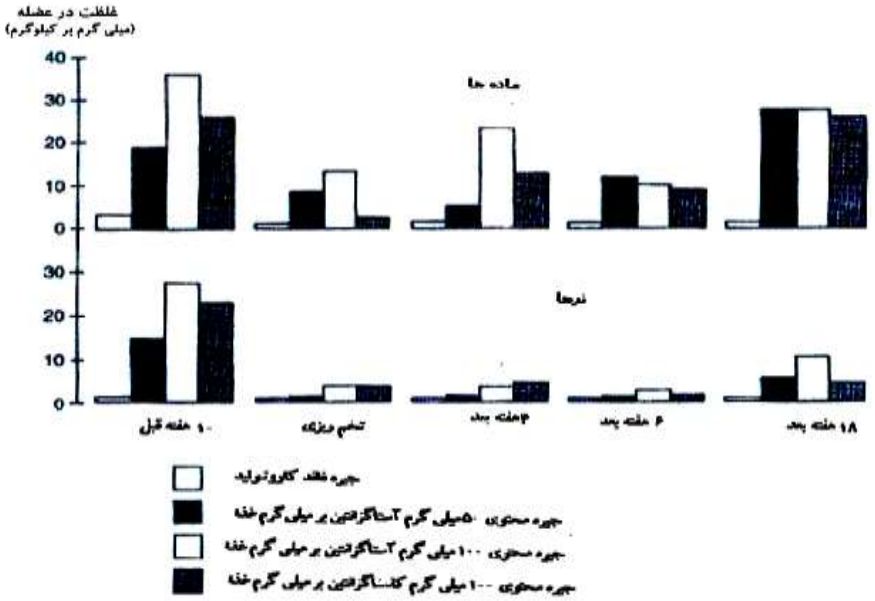
همزمان با بلوغ جنسی در آزادماهیان، کاروتنوئیدهای موجود در عضله به حرکت درآمده و به صورت انتخابی در نرها به پوست و در ماده ها به تخمدان ها انتقال می یابند. البته این پدیده در ماهیان وحشی مشاهده شده که در زمان مهاجرت در رودخانه، فعالانه تغذیه خود را کاهش داده یا متوقف می سازند. این فرآیند در قزل آلای پرورشی تا ۲ تا ۳ هفته قبل از تخم ریزی اندکی متفاوت است. تجمع رنگدانه ها در عضله قزل آلا همزمان با بلوغ جنسی به وسیله کاروتنوئیدهای جیره افزایش می یابد. اگرچه مقادیر مطلق کانتاگزانتین به مقدار مساوی بین عضله و تخمدان ها گسترش می یابد اما تراکم رنگدانه ها در تخمدان ها بالاتر از عضله است. همزمان با بلوغ جنسی، تراکم کاروتنوئیدها در عضله به میزان قابل توجهی در هر دو جنس کاهش می یابد. ۴ ماه پس از تخم ریزی، غلظت کاروتنوئید در عضله ماده ها باز به میزان پیش از تخم ریزی می رسد (شکل ۷-۱۱)، در حالیکه نرها ۱۸ هفته پس از خروج اسپرم، فقط یک سوم از تراکم اولیه رنگدانه ها در عضله را مجدداً بدست می آورند. در مورد این اختلاف، توجه به این نکته ضروری است که دوره اسپرم دهی نسبت به تخم ریزی بیشتر است. بنابراین چنانچه تغذیه ماهی با جیره غنی‌شده با کاروتنوئیدها بلافاصله پس از تولید مثل تا هنگام مرحله استراحت جنسی مجدد انجام شود، اثر چندانی مشاهده نمی شود.

٤-۲-۳-۱۱) عوامل ژنتیکی

آزادماهیان دریافت کننده کاروتنوئیدهای جیره، تنوع بیشتری در رنگ آمیزی گوشت از خود نشان می‌دهند. در حال حاضر در مورد این اختلافات هیچ توجیه متابولیک وجود ندارد و تنوع رنگ آنها می‌تواند ناشی از تنوع ژنتیکی بین خانواده ها و به احتمال بیشتر تنوع ژنتیکی بین افراد باشد.

۵-۲-۳-۱۱) پدیده پوست اندازی در سخت پوستان

در سخت پوستان، پوست اندازی منجر به از بین رفتن مقدار قابل توجهی از رنگدانه های کاروتنوئیدی می شود. رنگدانه های موجود در پوشش جدید منشأ اپیدرمی نداشته و توسط همولنف و از هپاتوپانکراس تامین می شوند. انتقال مشخص و غیر قابل برگشت رنگدانه های کاراپاس در حد فاصل مراحل D_1 و D_2 انجام می شود.



شکل ۷-۱۱) اثر طول دوره تولید مثلی بر مقدار کاروتنوئید در عضله قزل آلای نر و ماده
(Choubert and blance, 1993)

۳-۳-۱۱) عوامل زیست محیطی

زندگی ماهی و سخت پوستان تحت تاثیر عوامل مختلف زیست محیطی بوده و از اینرو جداکردن اثر عوامل مختلف از یکدیگر کار دشواری است. اگرچه دمای آب به شکلی قابل توجه رشد و متابولیسم ماهی را تحت تاثیر قرار می دهد اما ظاهراً اثری بر تجمع رنگدانه ها در بافت های قزل آلای پرورش یافته در ۷ یا ۱۷ درجه سانتیگراد ندارد. علاوه بر این ، بنظر می رسد که شوری اثری بر تجمع رنگدانه ها در بافت های گونه های مشابه ندارد. اثر نور قبلا توضیح داده شد.

٤-۱۱ - سایر نقش های کاروتنوئیدها در حیوانات

تولید رنگ یکی از نقش های کاروتنوئیدهاست. نقش دیگر این مولکول ها به عنوان پیش سازی برای ویتامین A است که در حدود ده درصد از کاروتنوئیدهای طبیعی به عنوان پیش ساز ویتامین A عمل می‌کنند، این حالت بخصوص در پستانداران چشمگیرتر از بی مهرگان و مهره داران پست می باشد. هرچند اکووالانس ویتامین A در کاروتنوئیدهای شناخته شده در بین گونه های جانوری بسیار متغیر است اما ظاهراً این اختلاف در ماهی ها زیاد نیست (فصل ۹).

برخی از کاروتنوئیدها از طریق فعالیت حفاظتی در برابر رادیکال های آزاد، در تنظیم پاسخ های ایمنی دخالت دارند که این نقش هنوز در ماهی ها به اثبات نرسیده است.

کاروتنوئیدها در پدیده های فیزیکی از قبیل رشد و تولید مثل نیز شرکت می کنند. چگونگی عملکرد این گروه شیمیایی رنگدانه ها در رشد شناخته نشده اما احتمالاً در ارتباط با خصوصیت آنها به عنوان پیش ساز بودن ویتامین A باشد. شرکت کاروتنوئیدها در تولید مثل ماهی (نظیر پستانداران) در مراحل مختلفی از قبیل بلوغ اووسیت ها، لقاح تخمک ها، تنفس تخم و رشد جنین، مشخص شده است اما این مسئله هنوز بطور کامل به اثبات نرسیده است.

۵-۱۱- خلاصه

بطورکلی، تجمع رنگدانه ها در بافت های آزادماهیان عمدتاً به حفظ و تثبیت رنگدانه های کاروتنوئیدی وابسته است. به منظور بهبود قابلیت ابقای کاروتنوئیدها باید عواملی از قبیل جذب، تثبیت و متابولیسم این رنگدانه ها در نظر گرفته شوند. این عوامل با توجه به گونه‌ها متعدد بوده و طی چرخه زندگی تغییر می‌کنند. تاکنون فقط جنبه تجمع رنگدانه ها در بافت ها و روابط متقابل بین کاروتنوئیدها و ویتامین A مورد بررسی قرار گرفته است. اما ازآنجاییکه کاروتنوئیدها در تولید مثل، رشد و به میزان کمتر در محافظت در برابر بیماری ها دخالت می کنند، هدف تحقیقات و مطالعات امروزه باید با هدف درک بهتر سایر جنبه های عملکرد تغذیه‌ای کاروتنوئیدها باشد.

«فصل ۱۲»

روند تکامل رشد و فیزیولوژی گوارش در لارو ماهی ها

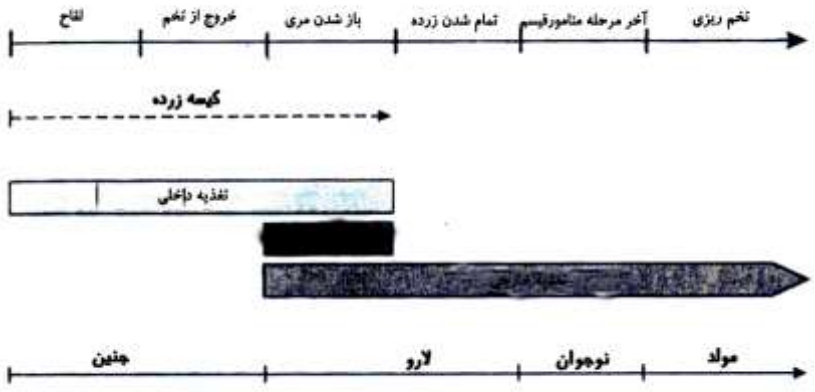
اصطلاح لارو بیانگر مرحله ای از زندگی ماهی از زمان شروع تغذیه بیرونی تا تبدیل شدن به یک ماهی کامل می باشد(شکل۱-۱۲). مرحله لاروی پس از مرحله جنینی و قبل از مرحله جوانی قرار می گیرد و معادل دوره انتقال مستمر مورفولوژیک و فیزیولوژیک در ماهی است. لارو ویژگی های مشترکی از قبیل اندازه خیلی کوچک ، نرخ بالای رشد ویژه و تمایز ناقص برخی اندام ها، با جنین دارد با این تفاوت که لارو قادر به شکار و خوردن طعمه است.

۱-۱۲- رشد پیش‌لاروی

از آنجاییکه رشد و توسعه جنینی خصوصیات ویژه ای از مرحله لاروی، بویژه اندازه و اولین تغذیه لاروها را تحت تاثیر قرار می دهد بنابراین، شایسته است این مرحله مورد بررسی و ملاحظه قرار گیرد.

۱-۱-۱۲) استفاده از ذخائر کیسه زرده

تکامل جنینی ابتدا در فضای کوریون تخم صورت گرفته و پس از آن جنین به نام نوزاد حامل کیسه زرده نامیده می شود. در این زمان کیسه زرده به شکل یک برآمدگی شکمی قابل ملاحظه است و هنگامیکه جنین قدرت شنا و تحرک پیدا می کند به نام جنین آزاد خوانده می شود.



شکل ۱-۱۲) مراحل رشد و چگونگی تغذیه در طول زندگی ماهی

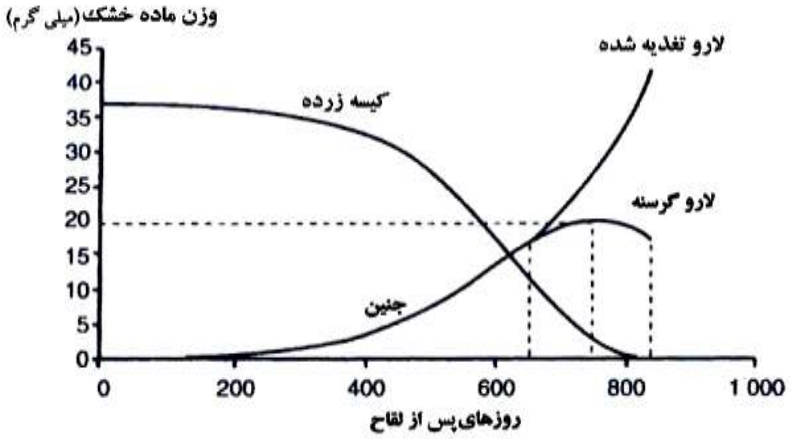
از نظر تغذیه ای، رشد و نگهداری جنین با استفاده از ذخائر کیسه زرده تامین می شود اما وجود سایر منابع تامین غذا در حال بررسی است. فرضیه موجود مبنی بر توجیه رشد لارو ماهی لپتوسفال از طریق جذب مواد آلی از محیط، جهت بیان رشد برخی دیگر از لاروها از جمله لارو مارماهی نیز مدنظر قرار گرفته است. این لاروها همزمان با مرحله مهاجرت خود بسیار فعال هستند بنحویکه طول آنها افزایش یافته و به صد برابر قطر تخم می رسند، بدون اینکه هیچ گونه رفتار طعمه خواری در آنها مشاهده شود.

ظرفیت جذب اسیدهای‌آمینه در مراحل جنینی و لاروی کپور و ماهی سفید از طریق انتقال از بافت پوششی با استفاده از روش حمام دادن به اثبات رسیده است. در این آزمایشها سنتز پروتئین با استفاده از اسیدآمینه نشانداری که در آب حل شده بود صورت گرفت. این در حالیست که امکان تقویت لارو با استفاده از حمام های تغذیه ای بندرت مورد بررسی قرار گرفته و ملاحظه شده که تحت شرایط طبیعی پرورش بجز ذخائر زرده، سایر منابع قابل صرف نظر است.

ذخائر اولیه محدود بوده و با در نظر گرفتن اندازه کوچک تخم بیشتر گونه ها، این ذخائر صرفا امکان ایجاد موجود کوچکی را فراهم می کنند. علاوه براین، در این زمینه اختلافات گسترده ای بین انواع گونه‌های ماهی وجود دارد(جدول۱-۱۲). جنین کفشک در مراحل ابتدایی دارای نقش ذخیره کننده است که هشت بار کمتر از کپور و ۴۸۰۰ بار کمتر از ماهی آزاد چینوک می باشد.

جدول ۱-۱۲) مقدار اولیه زرده (میلی گرم ماده خشک) و حداکثر وزن لاروهای گرسنه (میلی گرم ماده خشک) در برخی گونه ها

گونه ها	مقدار اولیه زرده	حداکثر وزن لاروهای گرسنه
ماهی آزاد چینوک	۱٦٤	۱۱۲ (٦ C°)
		۱۰٤ (۸ C°)
		۹۸ (۱۰ C°)
		۸۰ (۱۲ C°)
ماهی قرل آلای خالدار	۳۸	۱۹
هالیبوت	۱/٤	۰/۷۵
گربه ماهی آفریقایی	۰/٤	۰/ ۳۰
کپور	۰/۲۳	۰/۱۲
کفشک	۰/۰٤	۰/۰۲



شکل ۲-۱۲) تغییر در وزن خشک زرده (میلی گرم) و وزن بدن قزل آلای قهوه ای
(Escaffre and Bergot, 1990)

در گونه های مختلف تغذیه نشده، وزن ماده خشک زرده و توده زنده (جنین یا لارو) به شکلی مشابه تغییر می کند(شکل ۲-۱۲). شاخص های معادلات مربوط به منحنی ها نیز با توجه به نوع گونه، مقدار اولیه زرده و دما تغییر می کنند.

تفریخ همزمان با دوره رشد نیمه تصاعدی، پس از لقاح صورت می گیرد. وزن جنین هنگام تفریخ برای یک گونه مشخص ثابت نیست و به دمای انکوباسیون بستگی دارد. باز شدن مری پس از نقطه شکست منحنی وزن بدن جنین و پس از رسیدن لارو گرسنه به حداکثر وزن اتفاق می افتد. در این مرحله همچنان نیازهای نگهداری از طریق زرده برآورده می شود. پس از این مرحله، بیوماس کاهش و در نهایت زرده ناپدید می شود. ترکیب ماده خشک موجود در جنین و زرده طی دوره جذب مجدد به میزان اندکی تغییر کرده و منحنی آن مشابه منحنی وزن بدن است که مقدار انرژی جنین و زرده را نشان می دهند. علاوه براین، در یک دمای مشخص، مصرف اکسیژن جنین یا لارو در واحد زمان نسبت مستقیم با وزن بدن داشته و مانند ماهیان جوان با توان ۰/۷ تا ۰/۸ وزن بدن افزایش نمی یابد. بنابراین، تغییر ترکیب ماده خشک موجود در جنین و زرده همان تغییر وزن جنینی است. پس از تفریخ، مصرف اکسیژن بواسطه عوامل خارجی از قبیل میزان روشنایی تشدید می شود که نرخ حرکت و شنای لارو را افزایش می دهد.

در گونه هایی که مقادیر اولیه زرده و دمای انکوباسیون آنها تفاوت زیادی با یکدیگر دارند، حداکثر ماده خشک لاروهای تغذیه نشده بین ۵۰ تا ۷۰ درصد مقدار اولیه زرده است. این نسبت، بالا و ثابت بوده و پیش‌بینی حداکثر اندازه لاروهای تغذیه نشده و لاروهای قادر به تغذیه (کمتر از اندازه لاروهای تغذیه نشده ولی نزدیک به آن) را از مقادیر اولیه زرده امکان‌پذیر می سازد. در قزل آلا، اندازه آلوین های تولید شده از یک ماهی ماده در مرحله مشخصی از رشد با اندازه تخم رابطه مستقیم دارد. معمولا تفریخ تخم ها همزمان و مستقل از اندازه آنها صورت می گیرد، منتها آلوین های حاصل از بزرگترین تخم ها هنگام گرسنگی، کمی دیرتر به حداکثر وزن خود می رسند. آلوین های بزرگ دارای سلول هایی با اندازه یکسان در کبد هستند ولی این سلول ها دو برابر بزرگتر از سلول های موجود در آلوین های با نصف اندازه آلوین بزرگ است. اگر غذادهی به تاخیر بیفتد، آلوین های بزرگ دیرتر از آلوین های کوچک به مرحله ۵۰ درصد مرگ و میر می رسند.

بسیاری از مشکلات پرورش دهندگان در ارتباط با اندازه کوچک لارو بوده و از اینرو، انتخاب تخمهایی با مقادیر زیاد زرده مزایایی بهمراه دارد.

هنگام کوچک بودن فضای پری ویتلین، حجم زرده معادل حجم تخم بوده و اندازه این تخم ها به عنوان شاخصی جهت گزینش آنها در نظر گرفته می شود. اندازه تخم در بین ماده های یک گونه مشخص، متفاوت است. به طورکلی، تخم‌های تولید شده در اولین دوره تخم ریزی (سال اول تخم ریزی در گونه‌هایی با چرخه سالانه یا اولین فصل تخم ریزی در گروه مولد) از دوره های بعدی تخم ریزی کوچکتر است، همچنین اندازه تخم در ماده های خیلی پیر و در آخرین فصل تخم ریزی نیز کوچکتر خواهد بود.

در رابطه با مقدار اولیه زرده، بهینه سازی فرآورده حاصل از تبدیل زرده به جنین مفید به نظر می‌رسد که به معنی نسبت بین حداکثر وزن جنین تغذیه شده و وزن زرده اولیه است. این نسبت به عوامل خارجی به ویژه دما بستگی دارد. تخم های ماهی آزاد چینوک که در دمای ۶، ۸، ۱۰ یا ۱۲ درجه سانتیگراد تفریخ می شوند، آلوین هایی تولید می کنند که حداکثر وزن آنها در اولین تغذیه در دماهای پایین تر بیشتر بوده و اختلاف در وزن آلوین به ۴۰ درصد بین دماهای ۶ و ۱۲ درجه سانتیگراد می رسد. در مورد یک گونه مشخص و در شرایط نرمال، دمایی که نرخ رشد جنین در آن دما حداکثر و در سایر دماها پایین تر است، دمایی است که مصرف زرده در سطح بیشینه بوده و موجب به حداکثر رسیدن وزن لارو می شود.

۲-۱-۱۲) استفاده از گویچه چربی

علاوه بر زرده که عمدتا از پروتئین ها تشکیل می شود، ذخائر ویتلین در برخی گونه ها (باس دریایی، سیم دریایی و کفشک) شامل گویچه چربی نیز است. این ذره در سایر گونه ها از قبیل کپور و هالیبوت وجود ندارد. در ماهی سفید تعداد زیادی گویچه های کوچک چربی بتدریج و همزمان با تفریخ در هم ادغام شده و یک ذره بزرگ مجزا را در لارو تشکیل می دهند.

جذب گویچه چربی کندتر از زرده بوده و اغلب بخش قابل توجهی از گویچه چربی هنگام مصرف کامل زرده باقی می ماند. این گویچه از چربی های غیر قطبی (تری اسیل گلیسیرول ها و موم ها در برخی گونه‌های دریایی) ساخته شده و فاقد پروتئین است. بنابراین، در ماهیان تغذیه نشده ای که زرده آنها تمام شده، ذره چربی قادر به ساخت بافت های جدید نمی باشد. در مقابل، به عنوان ذخیره انرژی عمل نموده و انرژی مورد نیاز برای شنا را تامین می کند، احتمالا کاتابولیسم اکسایشی پروتئین ها را محدود می سازد.

قابل توجه است که در ماهی سفید در زمان شروع مرگ و میر لاروی ماهی سفید، هنوز بسیاری از لاروها حاوی ذره چربی مصرف نشده هستند. برخی محققان معتقدند گویچه چربی که نسبت به سایر بخش های بدن چگالی کمتری دارد، به عنوان شناور عمل می کند و تعادل در شنا را در لاروهایی امکان‌پذیر می‌سازد که هنوز از کیسه شنا برخوردار نیستند.

۲-۱۲ - انتقال از مرحله تغذیه داخلی به خارجی

۱-۲-۱۲) تمایز دستگاه گوارش

پایان مرحله جنینی همزمان با باز شدن مری و پس از باز شدن مخرج است. مطالعات مختلف بخصوص در ماهی کفشک و گربه ماهی آفریقایی نشان داده اند که در این مرحله سلول های جذب‌کننده قشر سطحی روده در لارو مشابه انتروسیت های حیوانات بزرگتر عمل می کنند. از لحظه ورود اولین ذره غذایی، بخش جلویی روده را که شامل انتروسیت های جذب کننده چربی هستند، می توان از بخش عقبی که جذب مولکول های بزرگ پروتئین در آن صورت می گیرد، تشخیص داد. در کپور بخش انتهایی بصورت مشخص از قسمت عقبی روده متمایز بوده و قادر به جذب مولکول های بزرگ پروتئین نیست. این تمایز به صورت بخش های تخصص یافته و براساس بافت شناسی انتروسیت ها، دقیقا همان چیزی است که در ماهیان بزرگتر دیده می شود(فصل ۴).

اجزای داخل سلولی سلول های کبدی و پانکراس نیز همانند ماهیان جوان است. حضور آنزیم های پانکراس حتی پیش از باز شدن مری در سلول های آسینار پانکراس قابل شناسایی است. کل اطلاعات بافت شناسی نشانگر وجود ساختارهای کارآمدی است که امکان هضم و جذب چربی ها در بخش های قدامی روده را فراهم می سازند. فعالیت تریپسین در پانکراس و دیواره روده قابل تشخیص بوده و نشاندهنده امکان تجزیه پروتئین ها و جذب مواد حاصل از تجزیه در بخش قدامی روده است. علاوه براین، جذب بصورت پینوسیتوسیز و تجزیه درون سلولی مولکول های بزرگ پروتئین توسط آنزیم های سیتوسولیک در بخش خلفی روده قابل مشاهده است. استفاده از نشاسته ژلاتینی در سطوح هضم (وجود فعالیت آمیلاز) و سطوح متابولیک (ایجاد هیپرتروفی در کبد با افزودن نشاسته به جیره) نیز در کپور به اثبات رسیده است.

بجز فقدان معده، اختلافات قابل توجهی بین سیستم گوارشی لاروها و ماهیان جوان وجود دارد که ارتباطی به بافت شناسی و عملکرد آن نداشته و به مورفولوژی عمومی سیستم گوارشی مربوط می‌شود. در لاروها، روده نسبت به کل بدن خیلی کوتاه بوده و اغلب به شکل لوله ساده، مستقیم و بدون خمیدگی (زوائد پیلوریک) موجود در ماهیان بزرگ است. لایه غضروفی[1] نازک است. موکوس موجود در درون چین های روده ای ماهیان جوان، ترشح نمی شود. در ابتدا کبد و پانکراس هر کدام دارای یک لوب مجزا هستند در حالیکه در ماهیان جوان گونه های مختلف بویژه کپورماهیان، این دو عضو در امتداد چین های روده ای کاملا به یکدیگر وصل می شوند. همچنین پانکراس جوانترین لاروها، فاقد سلول های چربی در بین سلول های آسینار است.

۲-۲-۱۲) اثر تاخیر بر تغذیه

زرده ای که هنگام باز شدن مری باقی می ماند، امکان رشد اندک لارو را حتی در صورت فقدان غذا فراهم می کند. با شروع اولین تغذیه نرخ رشد ویژه لارو کاهش می یابد و پس از رسیدن به وزن حداکثر، منفی می شود. دسترسی به غذای خارجی به لارو این امکان را می دهد که نرخ ویژه رشد را حفظ کند که حداقل برابر با رشد تصاعدی است. در یک سن مشخص، آلوین قزل‌آلاهایی که زودتر تغذیه شده اند وزن بیشتری نسبت به آلوین هایی دارند که دیرتر غذادهی شده‌اند، هرچند گروه دوم از نظر شروع تغذیه به همان نرخ رشد ویژه گروه اول می رسند (شکل۳-۱۲). پس از حد مشخصی از گرسنگی که «نقطه غیر قابل برگشت» نامیده می شود، حیوان ضعیف شده و حتی در صورت وجود غذا هم قادر به تغذیه ارادی نیست و خواهد مرد. کوچکترین لاروها حساس ترین آنها نسبت به گرسنگی می باشند. لاروهای بزرگی که در آب سرد زندگی می کنند پیش از تحمل اثرات شدید ناشی از گرسنگی، چندین روز(حتی چندین هفته در مورد آزادماهیانی با تخم های بزرگ) را به پیدا کردن طعمه و یاد گرفتن شکار می گذرانند. در مقابل، لاروهای خیلی کوچک که در دماهای بالا زندگی می کنند موقعیت سخت و دشواری دارند. طول دوره رشد آنها که بر حسب روز یا دوره نوری بیان می شود، کوتاه بوده و آنها فرصت زمانی کمی دارند تا تحت شرایط مناسب تغذیه شوند، بویژه اگر جزءگونه های شب فعال باشند.

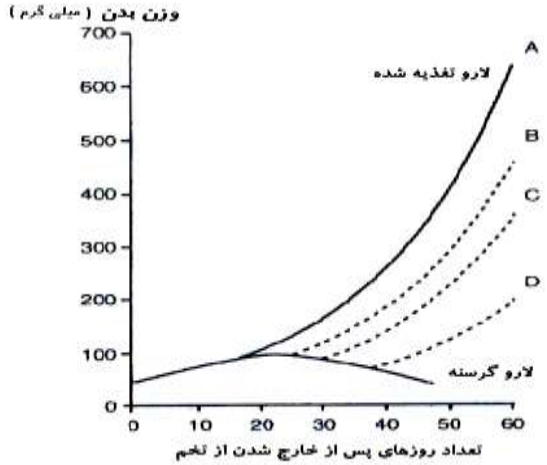
[1] musculosoma

روده و کبد از اندام هایی هستند که بسرعت تحت تاثیر کمبود غذا قرار می گیرند. به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه ای لاروها که به معنی ارزیابی میزان گرسنگی و کافی بودن غذای آنهاست، از برخی شاخص های بیوشیمیایی (نسبت RNA به DNA، ترکیب اسید چرب و سطح فعالیت آنزیم ها) یا بافت‌شناسی (ضخامت قشر سطحی روده، حجم هپاتوسیت ها، اندازه هسته هپاتوسیت ها) استفاده می شود.

۳-۱۲ - مراحل تکامل لاروی

۱-۳-۱۲) ویژگی‌های رشد و تکامل

لاروهایی که بخوبی تغذیه شده اند نسبت به ماهیان بزرگتر با شرایط مشابه، از نرخ رشد بالاتری برخوردارند. این شاخص به دما بستگی دارد. برای مثال نرخ رشد در برخی از گربه ماهیان آفریقایی که در ۲۷ تا ۲۹ درجه سانتیگراد پرورش می یابند، به بیش از ۶۰ درصد در روز افزایش می یابد.



شکل ۳-۱۲) تغییر وزن بدن قزل آلای تغذیه شده از زمان بازشدن مری (منحنی A)، ماهیانی که دیرتر تغذیه شده اند (منحنی B , C , D) یا ماهیان گرسنه (Escaffre and Bergot, 1990)

کپوری که با آرتمیا تغذیه می شود، در اولین روزهای تغذیه در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد به نرخ رشد ۴۰ تا ۵۰ درصد در روز می رسد. با استفاده از جیره های غذایی دستی، برای چند هفته نرخ رشد در حد ۲۰ تا ۲۵ درصد باقی می ماند تا ماهی ها به وزن یک گرم برسند، این در حالی است که نرخ رشد انواع بزرگتر ناچیز است. لاروها از یک قانون عمومی پیروی می کنند که مطابق با آن، نرخ ویژه رشد همراه با افزایش اندازه حیوان به شکلی اجتناب ناپذیر کاهش می یابد.

افزایش وزن بدن لارو با تغییرات چشمگیری در مورفولوژی، آناتومی و فیزیولوژی آنها همراه است. بدن لارو کپور همانند بسیاری از گونه های ماهیان، به طور نسبی کمتر دراز و کشیده و بیشتر توپر می شود. عمق و ضخامت بدن سریع تر از طول افزایش می یابد که از این طریق می توان نسبت های مشخص کننده ماهیان جوان را به صورت ذیل محاسبه نمود:

log (وزن) = a + b log (طول)

در لاروها مقدار b بین ۴ و ۵ است در حالیکه در ماهیان بزرگتر از یک گرم نزدیک به ۳ می باشد. بخش های خارجی بدن (مانند پوزه، ناحیه دمی) سریع تر از بخش مرکزی رشد می کنند. باله ها طی مرحله لاروی متمایز می شوند. این تغییرات در ارتباط با تغییر در نحوه شنا است و به عنوان نوعی سازگاری با قوانین هیدرودینامیک حاکم بر محیط قلمداد می شوند. در لاروهای کوچک که بکندی جابجا می شوند، نیروی ویسکوزیته تاثیر قابل توجهی دارد، در حالیکه ماهیان بزرگتر با شنای سریعتر تحت تاثیر نیروهای اینرسی قرار می گیرند. رشد نسبی (با توجه به مقادیر مختلف ضریب b در معادله بالا) نسبت به بافت ها و اندام های مختلف لاروها تعیین می شود. افزایش حجم سیستم عصبی و بافت چشم که در ابتدا نسبتا بخوبی رشد کرده اند کندتر از بافت ماهیچه ای است. کبد فوق العاده سریع رشد میکند. سطح تبادلات تنفسی طی دوره رشد لاروی به مقدار زیادی افزایش یافته و رشته های آبششی متمایز و تنفس پوستی کاهش می یابد (ناپدید شدن عضله قرمز سطحی جنینی). سطح موکوس روده به سبب افزایش طول روده نسبت به طول ماهی و توسعه چین های واقع در قسمت داخلی روده، افزایش می یابد. تمایز معده در گونه های دارای معده اغلب دیرتر صورت می گیرد و نشان‌دهنده پایان مرحله لاروی است.

با این وجود، مرحله جوانی در مقایسه با مرحله لاروی که باز شدن مری به عنوان شروع این مرحله است، با یک رویداد منحصر بفرد مشخص نمی شود. علاوه بر شکل عمومی، از شاخص هایی مانند تجمع رنگدانه ها در بافت ها، تمایز باله و ظاهر شدن فلس ها به منظور تعیین مرحله جوانی استفاده می شود.

در برخی گونه ها نظیر ماهی پهن (جدول ۲-۱۲)، اختلاف بین ظاهر متقارن لارو در اولین تغذیه و جوان نامتقارن قابل توجه است و از اصطلاح « متامورفیسم» برای بیان گذر از یک مرحله و ورود به مرحله دیگر استفاده می شود(شکل۴-۱۲). در مورد سایر گونه ها که تخم آنها حاوی مقدار زیادی زرده است، ماهی با شروع مرحله تغذیه خارجی ویژگی های مرحله جوانی را نشان داده و در واقع در این گونه ها مرحله لاروی وجود ندارد. ماهی آزاد و ماهی قزل آلا حد واسط گونه های ذکر شده اند و هنگامیکه اولین وعده غذایی خورده شد، معده لارو آنها شروع به فعالیت می کند اما هنوز از نظر مورفولوژی از مرحله جوانی قابل تشخیص نیست. ماهی ها در این مرحله « آلوین » نامیده می شوند.

جدول۲-۱۲) مراحل تکامل لاروی کفشک (Segner *et al*., 1994)

رویداد	طول لارو
باز شدن مری	٤
اتمام ذخیره زرده	٥
ظهور کیسه شنا	٥/٥
ظهور تیغه های آبششی	٦
انحنا در نوتوکورد	٨
شروع عدم تقارن	١٨
جذب مجدد کیسه شنا و خاتمه مهاجرت چشمی	٢٦

شکل ٤-۱۲) مراحل تکامل لاروی کفشک (segner *et al*., 1994)

۲-۳-۱۲) سیستم های آنزیمی

۱-۲-۳-۱۲) تغییر در فعالیت آنزیمی طی مراحل تکامل

در لارو باس‌دریایی وقتی برای اولین بار دهان باز می شود، حتی بدون غذادهی، افزایش شدیدی در فعالیت آنزیم های پانکراس از قبیل آمیلاز، تریپسین وکموتریپسین مشاهده می شود. آنزیم های روده ای سیتوزول (مانند لوسین پپتیداز و آمیلاز) و پرزهای روده ای(ترانس پپتیداز و γ - گلوتامین، مالتازو آلکالین فسفاتاز) نیز پیش از باز شدن دهان به میزان اندک وجود دارند.

در مطالعات انجام شده پیرامون لاروهای باس دریایی، تمامی آنزیم‌ها بجز پپسین، پروفیل فعالیت ویژه مشابهی را در شکل نموداری (فعالیت آنزیمی مرتبط با میزان پروتئین ها) و در طول مراحل تکامل نشان می دهند (شکل۵-۱۲) که شامل افزایش سریع فعالیت و حفظ آن تا روز دوازدهم و سپس افت فعالیت تا روز بیست و سوم و ثابت بودن آن تا روز چهلم خواهد بود.افت فعالیت ارتباطی با کاهش کلی ظرفیت هضم لارو نداشته و ناشی از ترشح آنزیم های جدید و کاهش نسبی اهمیت آنزیم های اولیه است. پپسین پس از روز بیست و پنجم قابل اندازه گیری است. فعالیت های ویژه اندازه گیری شده در انتروسیت پرزهای روده ای به شکلی منظم در کل مراحل تکامل افزایش می یابد و نشان دهنده افزایش پتانسیل هضم موکوس روده همزمان با زیاد شدن میکروپرزهاست.

وجود آنزیم های سیتوزولیک در انتروسیت ها از طریق روش های ایمنی شناسی و شیمی بافت مشخص شده و امروزه برخی از آنها اندازه گیری شده است. فعالیت ویژه این آنزیم‌ها در طول مراحل تکامل لاروی در سیتوزول و در جهت مخالف آنها در پرزهای روده تغییر می کند (شکل۶-۱۲).

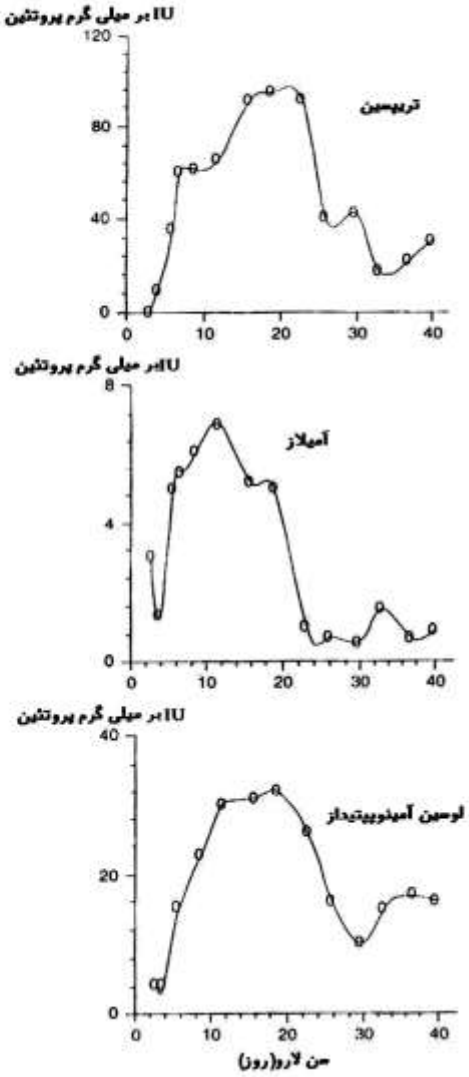
۲-۲-۳-۱۲) تنظیم فعالیت آنزیمی

از زمان شروع تغذیه، لارو ماهی قادر به تنظیم فعالیت آنزیمی خود در پاسخ به ترکیب بیوشیمیایی غذاست. بنابراین، در لارو باس‌دریایی مشخص شده که تغذیه با جیره غذایی حاوی ۱۲ درصد نشاسته حتی در مرحله انتقال از کیسه زرده به تغذیه خارجی منجر به افزایش فعالیت آمیلاز می شود. در صورت حضور اسیدهای‌آمینه آزاد در جیره غذایی، فعالیت تریپسین نیز به صورتی مشابه افزایش می یابد. همچنین هنگامیکه جیره غذای مصرفی حاوی مولکول های فسفره شده از قبیل فسفو پروتئین ها باشد، میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی نیز افزایش خواهد یافت.

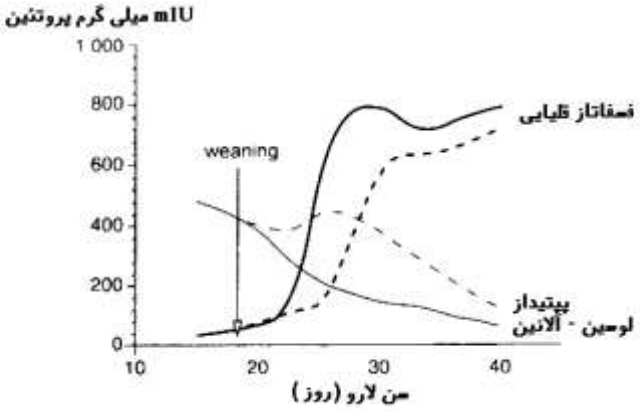
محرک های دیگری نیز ترشح آنزیم های پانکراس را تحت تاثیر قرار می دهند. در لارو هرینگ ترشح تریپسین در پاسخ به محرک های مکانیکی مانند ورم دستگاه گوارش به اثبات رسیده است.

آزمایش های جایگزینی غذای مصنوعی به جای غذای زنده روی لارو ماهیان دریایی تا مدت زیادی با شکست مواجه می شد که علت آن توانایی اندک ماهیان در ساخت و ترشح آنزیم های هضم‌کننده غذای مصنوعی، بیان شد در حالیکه غذای زنده به طور مستقیم یا غیر مستقیم، مکمل های آنزیمی مورد نیاز را جهت هضم غذا فراهم می‌کند.

یافته های اخیر که ظرفیت بالای لارو را به منظور سنتز آنزیم های گوارشی اثبات می کنند، این فرضیه را بی‌اعتبار می کند. علاوه بر این، بنظر می رسد که آنزیم های تامین شده توسط غذای زنده، ناچیز و قابل چشم پوشی است. دستگاه گوارش لارو باس دریایی ۲۰ روزه، در هر مرتبه قادر به هضم پنج عدد آرتمیاست که معادل دو درصد فعالیت تریپسین اندازه گیری شده در لارو می باشد. از سویی، استفاده از آنزیم ها در جیره غذایی نتیجه کاملا قطعی در بر ندارد. این آزمایشها فقط در لارو سیم دریایی که با جیره غذایی مصنوعی غنی شده با آنزیم های پانکراس تغذیه شده بود، نتیجه مثبتی در پی داشت که نیز از موارد استثنا محسوب می گردد.



شکل۵-۱۲) تغییر در فعالیت ویژه برخی آنزیم های گوارشی در لارو ماهیان دریـایی در طـول مراحـل تکامل IU واحد بین المللی اندازه گیری فعالیت آنزیم ، mIU : واحد میلی



شکل۶-۱۲) تغییر در فعالیت ویژه آنزیم های انتروسیت در طول مراحل تکامل لارو ماهی: افزایش آنزیم سیتوزولیک، لوسین- آلانین پپتیداز در حیوانات تغذیه شده با طعمه زنده (ـــ) و حیواناتی که با جیره های ترکیبی تغذیه شده اند (- -)

در مطالعات دیگری مشاهده شده است که حضور پپسین پس از شکل گیری معده، عامل تعیین‌کننده ای در توجیه استفاده مناسب لارو ماهی از غذاهای مصنوعی نیست. لارو کپور (گونه فاقد معده) از زمان باز شدن دهان قادر به تغذیه با غذاهای مصنوعی است.

۳-۲-۳-۱۲) اثر جایگزینی غذای زنده با جیره های غذایی دستی

در تمامی ماهیان هرچه رژیم غذایی از غذای زنده به غذای مصنوعی زودتر انجام شود، تاثیر بیشتری در به تاخیر انداختن رشد حیوان بدنبال دارد. در مقابل، بازماندگی لارو را به شکلی ناچیز تحت تاثیر قرار میدهد مگر اینکه این جایگزینی به صورت زودهنگام، برای مثال، پیش از روز پانزدهم در لارو باس دریایی انجام گیرد.

طی اولین هفته پس از جایگزینی، افزایش ناگهانی در فعالیت ویژه تمامی آنزیم ها قابل مشاهده است که این افزایش ناشی از بکارگرفتن کلیه قابلیت های آنزیمی لارو به منظور ایجاد بازدهی تغذیه‌ای بهتر است.

این مقادیر مجدداً به میزانی بازمی‌گردند که در لاروهای تغذیه شده با غذای زنده وجود داشته است. اما این بازگشت به حالت عادی در لاروهای باس دریایی که تغییر در رژیم غذایی آنها پیش از روز بیستم صورت گرفته، مشاهده نمی شود. اگرچه لاروها به طور موثری از ذرات ریز غذایی تغذیه می کنند اما پروفیل آنزیمی آنها همچنان نزدیک به مقادیری است که طی گرسنگی یا سوء تغذیه آنها مشاهده میشود. این تغییر پروفیل آنزیمی ناشی از عدم توسعه کامل عملکرد هضم در لاروست. در اکثر گونه ها، ظهور عملکردهای ویژه هضم طی مراحل تکامل لاروی و بر اساس توالی ژنتیکی صورت می گیرد و تنها پس از گذشت سه هفته، دستگاه گوارش به صورت کاملاً تکامل یافته ظاهر می شود. در باس دریایی، جایگزینی غذای مصنوعی در روز دهم، ترشح آنزیم های پانکراس را تحت تاثیر قرار می دهد حتی با وجودی که این آنزیم ها به میزان کافی ساخته می شوند. همچنین در روده، جایگزینی زود هنگام غذای مصنوعی ظهور آنزیم های تولیدی توسط پرزهای روده ای را دچار اشکال کرده در حالیکه آنزیم‌های سیتوزولیک را در سطوح بالا حفظ می نماید. به این ترتیب، حیوان هضم لاروی خود را حفظ کرده و پیدایش شکل تکامل یافته گوارش به تاخیر افتاده یا حذف می شود. بنابراین، جایگزینی غذایی که به میزان ناچیز با لاروهای جوان سازگار شده است (تا قبل از هفته سوم) می‌تواند کلیات رشد و تکامل حیوان را در معرض خطر قرار دهد(شکل۶-۱۲).

٤-۲-۳-۱۲) سازگاری غذا با ویژگی های گوارشی لاروها

شاخص سازگاری مناسب یک غذا با لارو، عدم تغییر در ظهور سیستم طبیعی کارکردهای مختلف هضم است.آزمایشهای اخیر نشان می دهند که اضافه کردن ۱۰ درصدی اسیدهای‌آمینه آزاد به غذای مصنوعی، ترشح آنزیم های پانکراس را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. همچنین گنجاندن ۱۲ درصد پروتئین هیدرولیز شده به غذا موجب کاهش تاخیر در ظهورآنزیم های پرزهای روده ای می شود. بنابراین، تغییر بخشی از ذخیره پروتئینی جیره غذایی منجر به تکامل مطلوب تر کارکردهای هضم در لارو و در نتیجه افزایش وزن بدن (تا۶۰ درصد) و افزایش بازماندگی (تا ۳۰ درصد) در مقایسه با لاروهایی می شود که جایگزینی غذای آنها با استفاده از جیره های حاوی پروتئین طبیعی صورت می گیرد. این احتمال نیز وجود دارد که نوع ذخائر چربی و هیدرات‌کربن روند تکامل کارکردهای هضم را تحت تاثیر قرار دهد.

نتایج بدست آمده طی چند سال گذشته نشان می دهند که هنگام فرمولاسیون غـذا، در نظـر گـرفتن میـزان قابلیت موجـود زنـده در مصـرف غـذای مصـنوعی بـه همـان انـدازه خصوصـیات گوارشـی آن از اهمیـت برخوردار است. بواسطه نتایج جدید امکان تغذیه اولیه لارو باس دریایی با غذای مصنوعی و بدون اسـتفاده از غذای زنده، قابل تایید است.

٤-۱۲ - خصوصیات ماهیان جوان

در مراکز پرورش لارو هر واحد به صورت یـک گـروه در نظـر گرفتـه مـی شـود کـه معمـولا از جمعیـت بزرگی شامل $۱۰^{۴}$ تا $۱۰^{۶}$ عدد تشکیل شده و در تانک های مشابه تقسیم و طی چنـد هفتـه بـا غـذای مشـابه تغذیه می شوند. از اهداف تولید ماهیان جوان، تولید گروههای همزاد اسـت کـه ماهیـان ناهنجـار را شـامل نمی شود.

۱-٤-۱۲) همگنی گروههای همزاد

ضریب تنوع وزن لاروهایی که از دسته هـای مولـدین یکسـان تولیـد شـده و تحـت شـرایط مشـابه تفـریخ می‌شوند در مراحل ابتدایی پایین بوده و معمولا کمتر از ۱۵ درصد است. این ضـریب در مـورد قـزل آلا و کپور پرورشی تا ۳۰ درصد افزایش می یابد. کیفیت پایین غذا موجب افزایش ضـریب تنـوع مـی شـود. در ابتدا ضریب عدم تجانس وزن معمولا صفر یا انـدکی منفـی اسـت. در صـورتیکه تعـدادی از لاروهـا رشـد نکنند، این ضریب کاهش یافته اما در ادامه با گذشت زمـان افـزایش مـی یابـد کـه بخشـی از ایـن افـزایش مربوط به مرگ و میر کوچکترین لاروها و بخشی مربوط بـه نـرخ رشـد تعـدادی از ماهیهـا، بـالاتر از حـد متوسط جمعیت است. بروز این وضعیت اغلب همراه با پدیده کانیبالیسم یا همنوع خواری است. این رفتـار غیر طبیعی به سبب شرایط بد پرورشی و بویژه کمبود غذا یا سازگاری پایین با غذاست.

۲-٤-۱۲) ناهنجاری‌های مراحل تکامل

در واحد های پرورش در جریان رشد ماهی ها ناهنجاری های متعددی ایجاد می شـوند. در حیـات وحـش این ناهنجاری ها جز در محیطهای خیلی آلوده مشاهده نمی شود(البته این بدان معنی نیست که در طبیعـت این ناهنجاری ها وجود ندارند).

بواسطه مرگ و میر افراد مبتلا، جدی‌ترین ناهنجاری ها از گروه همزاد حذف می شوند. در مقابل، در صورت بالاتر بودن میزان همنوع‌خواری نسبت به طعمه خواری، ناهنجاری ها که عمدتا غیر کشنده هستند در واحد های پرورشی باقی می مانند. سه عامل به عنوان دلایل ایجاد ناهنجاری ها شناخته شده اند که اولین آن، عامل فیزیکی- شیمیایی است. بنابراین، با تمیز کردن آبهای سطحی صرفا به منظور حذف لایه نازک سطحی می توان از پرنشدن کیسه شنا از هوا در سیم دریایی و باس دریایی به عنوان یک ناهنجاری، جلوگیری نمود. عدم هواگیری کیسه شنا منجر به بروز بیماری لردوزیس در سوف ماهیان می شود. همچنین مشخص شده که پرورش تحت شرایط دمایی غیرمناسب، موجب آسیب غیر قابل برگشت افراد باقیمانده بویژه در شرایط جنینی می شود. دومین عامل ایجاد کننده ناهنجاری ها کمبود های غذایی است. گرسنگی نه تنها دستگاه گوارش بلکه مورفولوژی ظاهری را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. بزرگ شدن سر و گود افتادن چشم ها از جمله این موارد است. بنظر می رسد که ناهنجاری های موجود در تجمع رنگدانه‌ها در بافت ماهیان عمدتا ناشی از کیفیت پایین آرتمیاهای مصرفی به عنوان غذاست، هر چند هنوز مواد غذایی ایجاد کننده این حالت به طور کامل شناسایی نشده اند. کمبود فسفولیپیدها منجر به بروز اسکلیوز در ماهی آیو می شود. کمبود ویتامین C در لارو کپور نیز موجب تغییر شکل آبشش ها و تخریب باله دمی می شود. ورود بیش از حد ویتامین A فشردگی مهره ها در فلاندر ژاپنی را بدنبال دارد. آخرین عامل، عفونتهای میکروبی هستند. ویروس عامل هایپرپلازی بافت پوششی فلاندر ژاپنی در این دسته قرار می گیرد. ویبریون های بیماریزا منجر به نکروز روده ای و عضله‌ای می شوند. باکتری های دیگری از قبیل *Flexibacter ovolyticus* کوریون تخم را تخریب و تفریخ زود هنگام جنین های معیوب را بدنبال دارد.

۵-۱۲- خلاصه

مطالعه روند تکامل ماهی طی دوره لاروی تا مدتها مورد توجه بیولوژیست‌ها بوده است. روش های فیزیولوژیک امروزی چشم‌انداز نوینی بر مشکلات تغذیه ای گشوده است که پیش از این با روش های تجربی حل می شد بنحویکه یافته های اخیر عملکرد متخصصان تغذیه را در توسعه و معرفی جیره های سازگار با اولین مراحل زندگی لاروی تسهیل کرده است.

« فصل ۱۳»

تغذیه لارو ماهی با غذای زنده

به عنوان نتیجه حاصل از انتوژنی لارو ماهیان، باید پیش از شکل‌گیری کامل دستگاه گوارش آنها، تغذیه فعال داشته باشند(فصل ۱۲). بر اساس اطلاعات حاصله، تغذیه اغلب گونه های دریایی توسط غذاهای فرموله شده دستی به منظور توسعه مراحل اولیه لاروی مناسب نیست. از اینرو ضروری است، این لاروها را از زمان شروع تغذیه (لارو ۰/۲ تا ۰/۴ میلی گرم، با توجه به گونه) تا مرحله پست لاروی (بیش از ۵۰ میلی‌گرم) با غذای زنده تغذیه نمود تا زمانیکه بتوانند با غذای دستی سازگار شوند (این دوره را تحت عنوان «دوره تغییر رژیم غذایی» می نامند). طول این دوره کوتاه(یک تا دو ماه) بوده اما لاروها از رشد سریع برخوردارند. وضعیت و اندازه دهان لاروها در تعیین اندازه ذرات مصرفی توسط آنها موثر است. از زمان باز شدن دهان، اندازه ذرات برابر ۲۰۰ میلی گرم است که تا پایان دوره پرورش به چند میلی گرم میرسد.

لارو بطور طبیعی از فیتوپلانکتون ها تغذیه می کند. ساده ترین روش همراه با کمترین هزینه ممکن، ایجاد محیط بسته و کنترل شده به منظور کمک به تولید فیتوپلانکتون های اولیه ومتعاقب آن زئوپلانکتون ها، پیش از معرفی لارو به محیط پرورشی است. این محیطها را می توان به منظور پرورش ارگانیسم های زنده در تراکم پایین مورد استفاده قرار داد. موفقیت آبزی پروری سنتی ماهیان آب شیرین مرهون توسعه این

روش است. کاربرد این روش در سیستم های مردابی بسیار محدود بوده و گسترش تولید ماهیان دریایی در درجه اول بر روش های پرورش متراکم لارو متکی است.

در پرورش متراکم، ایجاد یک زنجیره غذایی از طریق تولید آلگهای تک سلولی، به منظور تغذیه حیوانات فیلترکننده مورد نیاز است که خود آنها نیز به عنوان غذا برای لارو در نظر گرفته می شوند. البته انجام مطالعات زیاد به منظور نیل به موفقیت در تولید ضروری است. همگام با تغذیه لارو، تغذیه توسط غذای زنده نیز مورد مطالعه قرار گرفته است که در این رابطه هزینه تولید بالا بوده و تنها چند گونه محدود در این رابطه انتخاب شده، ضمن آنکه کیفیت ذاتی غذای زنده در نظر گرفته نشده است. با بررسی ارزش غذایی غذای زنده، تلاشهای زیادی جهت توسعه کاربرد آن انجام گرفته است. علاوه براین، واحدهای پرورش متراکم در محیطی متشکل از مقدار زیادی مواد آلی مناسب برای تکثیر باکتریایی طراحی می‌شوند. این باکتری ها خطر بیشتری را ایجاد می کنند بنابراین لازم است که شاخص های کیفی محیط باکتریایی طعمه همزمان با ارزش غذایی آن مورد توجه قرار گیرد.

این فصل، روش های تولید، ارزش غذایی این تولیدات و روش های مورد استفاده به منظور بهبود آنها و نیز جنبه های کمی غذادهی را با توجه به گونه های محدود در دسترس، تشریح می کند. در نهایت باکتری های مرتبط با این واحدهای پرورش، همچنین اثرات آنها بر لارو و روشهای کنترل آنها مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۱-۱۳ - غذای زنده مورد استفاده در آبزی پروری دریایی

اولین سطح از زنجیره غذایی، شامل موجودات زنده تک سلولی است که متفاوت از فیتوپلانکتون های طبیعی از جمله مخمرها یا باکتری ها هستند. این ارگانیسم ها را به صورت زنده، لیوفیلیزه یا خشک شده به صورت اسپری[1] به طور مستقیم و یا برای تغذیه حیوانات طعمه خوار (در سطح دوم زنجیره غذایی) مورد استفاده قرار می دهند. همانند ارگانیسم های سطح اول زنجیره غذایی، ارگانیسمهای سطح دوم نیز الزاما متعلق به زئوپلانکتون های دریایی نبوده و بطور کلی صافی خوارانی را شامل میشوندکه می توانند براحتی از ذرات ریز ساکن تغذیه نمایند.

[1] Spray-dried

۱-۱-۱۳) ارگانیسم های تک سلولی

ارزش بالای این ارگانیسم ها به علت تراکم بالای پروتئین هایی با کیفیت مطلوب (۵۰ تا ۸۰ درصد از وزن خشک) در آنهاست. آنها همچنین غنی از اسیدهای نوکلئیک و ویتامین ها هستند. تولید برخی از آنها به صورت صنعتی صرفه جویی قابل توجهی را در هزینه های کلان تولید بدنبال دارد.

۱-۱-۱-۱۳- مخمرها

انواع تجاری فراوانی از مخمرها بصورت زنده یا خشک شده به صورت اسپری وجود دارند که به عنوان منبع غذایی برای فیلتر کننده های تغذیه کننده از غذای زنده مورد استفاده قرار می گیرند. مخمر نان (*Saccharomyces cerevisiae*) بصورت زنده، گسترده ترین غذای مورد استفاده جهت تولید روتیفرهاست. در ژاپن، به منظور غنی سازی این مخمرها با اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز ماهیان دریایی، آنها را در محیطی متشکل از روغن کبد ماهی مرکب با شیوه بخصوصی پرورش می دهند. مخمرهای خشک شده به صورت اسپری منبع پروتئینی خوبی را برای رشد آرتمیا فراهم می کنند. در این رابطه مخمرهای دریایی نیز می توانند مفید باشند که اگرچه مقدار اسیدهای چرب ضروری آنها بالاتر از مخمر نان است اما برای رفع نیاز لارو ماهیان دریایی کافی نیست از اینرو کاربرد آنها توسعه نیافته است.

۲-۱-۱-۱۳) جلبک ها

در حال حاضر، کلرلای آب شیرین[1] مهمترین گونه جلبکی تولید شده در مقیاس صنعتی (برای مصارف انسانی) است که به شکل قابل توجهی در آبزی پروری به شکل زنده یا خشک شده بصورت اسپری مورد استفاده قرار می گیرد. چون وجود جلبک های تک سلولی جهت حفظ ذخائر روتیفرها و شروع تولید انبوه ضروری است، قیمت آنها گران بوده و اغلب هچری ها به صورت خصوصی آن را پرورش می دهند. گونه های مورد استفاده در پرورش شامل *Pavlova lutheri* (۴ میکرومتر) و *Plathymonas suecica* (۱۰ میکرو متر) می باشند. پرورش جلبک از نظر تاسیسات اصلی و هم نیروی انسانی گران و پرهزینه است. به منظور نگهداری ذخائر به صورت تک گونه ای (نه الزاما بدون باکتری) پرورش جلبک در یک محیط استریل انجام می شود.

[1] freshwater chlorella

کنترل نور، درجه حرارت، تزریق CO_2 و تامین مواد معدنی و ویتامین های خاص ضروری است. جلبکها از نظر ترکیب بیوشیمیایی مرتبط با شرایط رشد بسیار متنوعند، اما با کنترل شدید شرایط پرورش می توان ترکیب شیمیایی و در نتیجه ارزش غذایی آنها را تا حد معینی تنظیم نمود. در صورت مساعد بودن شرایط اقلیمی، از طریق پرورش در استخرهای بزرگ و روباز امکان تولید انبوه با هزینه کمتر فراهم می شود. اما این روش مخاطره‌آمیز همیشه برای تامین نیازهای یک مرکز هچری مناسب نمی‌باشدکه تامین روزانه غذای زنده آن ضروری است.

۲-۱-۱۳) ارگانیزم های زنده حیوانی

غذای زنده حیوانی مورد استفاده در تغذیه لارو ماهیان عمدتاً شامل بی مهرگان می باشد. در هچری ها، این ارگانیزم ها از طریق جمعیت های نگهداری شده (روتیفرها، کپه پودها) یا از طریق سیست آرتمیا جمع آوری شده از باتلاق های شور تولید می شوند. منابع جایگزین دیگر شامل برداشت از ذخائر طبیعی(توده زئوپلانکتون ها ، تخم های ماهی یا لارو نرم تنان) می باشند.

۱-۲-۱-۱۳) پاروپایان

پاروپایان حاصل از زئوپلانکتون های دریایی بیشترین غذای زنده مصرفی در طبیعت را تشکیل می دهند. به این ترتیب، پاروپایان به عنوان یک منبع مهم با یک اثر مشخص بر پرورش لاروی مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجائیکه طول اولین ناپلیوس ۸۰ تا ۲۰۰ میکرومتر و بالغین ۱ تا ۵ میلی متر است، بنابراین گستره اندازه ها تامین کننده کلیه نیازها طی دوره رشد لاروی به میزان کافی می باشد. متاسفانه، به علت طولانی بودن روند تولید (۲۰ روز تا رسیدن به مرحله بلوغ) و ایجاد تراکم بیشینه با سرعت کم، حجم بالایی از تولید مورد نیاز است، بنابراین گونه های محدودی برای تولید انبوه مناسب می باشند. این قبیل واحدهای پرورش فشار زیادی را بر هچری ها اعمال می کنند. زمانیکه برداشت پاروپایان از طبیعت امکانپذیر است، می توان از آنها به عنوان یک منبع غذایی ثانویه با ارزش غذایی فوق العاده در هچری ها استفاده نمود.

پاروپایان گروه Harpacticoid مانند *Tigyriopus japonicus* از جمله رسوب خواران کف زی هستند که سرعت چرخه تولید مثلی آنها مشابه اشکال پلانکتونی است اما می توان آنها را با هزینه کمتر تغذیه نمود ضمن آنکه تراکم های بالاتر را تحمل می نمایند. امکان پرورش این ارگانیزم ها در اقلیم های کاملاً گرم در استخرهای روباز وجود دارد.

۲-۲-۱-۱۳) روتیفرها

در آبزی پروری سنتی ژاپن، به علت بالابودن سرعت تکثیر مارماهی و در نتیجه از بین رفتن کیفیت استخرهای پرورشی، در ابتدا روتیفرها به عنوان آفت محسوب می شوند. متعاقباً، از این قدرت تولید استثنایی به صورت مفید در توسعه پرورش ماهیان دریایی استفاده شد. نوع منحصربفردی از روتیفر متعلق به جنس Brachionus ، به علت ویژگی شورپسندی آن انتخاب شد که اندازه آن ۸۰ تا ۳۰۰ میکرومتر است (جدول۱-۱۳) و برای تغذیه اولیه بسیاری از گونه های ماهی مناسب می باشد. این روتیفر مدتها به عنوان یک گونه واحد *B.plicatilis* در نظر گرفته شده بود. در حقیقت دو نوع روتیفر با اندازه های کاملا متفاوت وجود دارد که در حال حاضر به دو گونه مجزای *B.plicatilis* (بزرگ) و *B.rotundiformis* (کوچک) اختصاص یافته‌اند. مهمترین نژادها برای آبزی پروری گونه هایی هستند که بتوانند تغییرات شدید محیط زیست را بدون فعال‌شدن چرخه تولید مثل جنسی آنها، تحمل کنند. تولید بالای این گونه ها متکی به تولید مثل از طریق بکرزایی است. در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، یک روتیفر ماده به تنهایی می‌تواند دو روز پس از تفریخ تولید مثل کرده و در حدود ۲۰ عدد تخم بگذارد. سرعت تولید مثل بویژه به تراکم افراد و تغذیه آنها بستگی دارد. در بهترین شرایط، می توان جمعیت را به بیش از ۲ برابر در روز افزایش داد. تقریبا تمامی نیازهای تغذیه ای براکیونوس به استثنای نیاز آنها به ویتامین B_{12}، ناشناخته است.

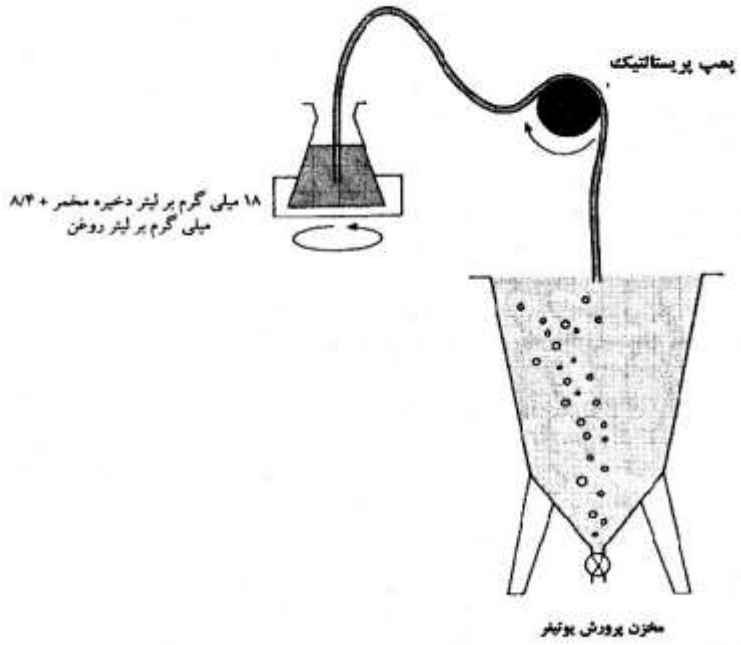
جمعیت ماده ها را می توان با افزودن مقادیر کمی جلبک به صورت دو بار در هفته، در تراکم پایین نگه داشت و به این صورت ذخائر را درحجم های کوچک نگهداری نمود. تولید از طریق پرورش مستمر نمونه هایی صورت می‌گیرد که به طور روزانه صید می شوند. در هچری ها این حجم از چند صد لیتر تا چند متر مکعب متغیر است. تکثیر روتیفرها از طریق معرفی کردن به داخل محیط پرورش جلبک با تراکم بالا (چند میلیون سلول در هر میلی لیتر) آغاز می شود.

جدول ۱-۱۳) وزن متوسط و اندازه طعمه مورد استفاده در تولید متراکم لارو

طعمه	وزن متوسط(میکرومتر)	طول(میکرومتر)	عرض (میکرومتر)
روتیفرها			
نوع S	۰/۱	۱٦٦	۱۲۲
نوع L	۰/٤٥	۲٦۲	۱۷۷
آرتمیا			
در مرحله تفریخ	۱/۹	٤٦۰	۱٦٤
غنی شده به مدت ۲٤ ساعت	۲/۰	٦۱۷	۱٦٤
تغذیه شده به مدت ٤۸ساعت	۳/٤	۸۹٥	۱۸۱

زمانیکه غلظت روتیفرها به بیش از ۱۰۰ عدد در هر میلی لیتر رسید، حجم بالاتری را می توان تلقیح نمود. رایج ترین غذا برای اهداف تولید، مخمر نان است که به میزان حدود ۲۰۰ میلی گرم (۶۰ میلی گرم از وزن خشک) در هر لیتر از محیط پرورش بصورت روزانه توزیع می شود. این مقدار غذا امکان نگهداری جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ عدد در هر میلی لیتر را همراه با جمع آوری یک چهارم از حجم پرورش به طور روزانه فراهم می کند. استفاده از روغن ماهی بصورت امولسیون همراه با مخمر، کیفیت روتیفر را بهبود می بخشد (شکل ۱-۱۳). اما این غذا در دوره طولانی همیشه کافی نبوده و به این ترتیب اضافه کردن جلبک ضروری است. زمانیکه پرورش جلبک در استخرهای روباز امکان پذیر است، می توان بذر پاشی مستقیم انجام داد که در این صورت به رغم پایین آمدن کیفیت کنترل، حجم های بیشتری قابل دسترس خواهد بود.

امروزه روشهای مختلفی برای پرورش روتیفرها در تراکم بالا(چند هزار عدد در هر میلی لیتر) پیشنهاد شده است. عامل اصلی محدود کننده رشد جمعیت و تراکم، پایین آمدن کیفیت آب به علت بالا بودن سطح مواد غذایی است. این محدودیت را می توان از طریق پایش همه جانبه و کنترل اتوماتیک دراز مدت سطح اکسیژن و pH محیط در پرورش های گروهی کوتاه مدت (ناپیوسته) یا از طریق سیستم مدار بسته در پرورش نیمه پیوسته به منظور حفظ کیفیت مطلوب آب با وجود سطح بالای غذای روزانه رفع نمود.



شکل۱-۱۳) نمایی از سیستم غذادهی روتیفر با استفاده از روش نیمه پیوسته (با تعویض یک چهارم حجم در روز) و تغذیه از امولسیون مخمر تازه و روغن

۳-۲-۱-۱۳) آرتمیا

جنس آرتمیا (سخت پوست آبشش پا) که پیش ازاین شامل یک گونه منحصر بفرد به نام *A.salina* طبقه‌بندی می شد، امروزه با استفاده از ویژگی های کروموزومی به چندین گونه تقسیم‌بندی شده است. این گونه ها به طور مجزا در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند و معمولا یک نام کلی در مورد آنها بکار می رود. این موجود با محیطهای خیلی شور سازگار بوده و تعداد زیادی سیست در بسیاری از باتلاق های شور و سایر محیطهای بسیار شور تولید می‌کند که در آن قادر به رشد است. سیست ها در حالت نهفته براحتی جمع‌آوری شده و در شرایط خشک در خلا نگهداری و فروخته می شوند. استفاده از سیست آرتمیا در هچری ها بسیار آسان است و می توان در شرایط مناسب آنها را تفریخ کرد بطوریکه لاروهای حاصله تحت عنوان ناپلئوس طی مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بوجود می آیند (جدول۱-۱۳). ناپلی ها باید قبل از استفاده از پوسته جدا شوند.

این کار از طریق ظرف به ظرف کردن یا الک نمودن در آب یا با استفاده از روشی بـه نـام کپسـول زدایـی انجام می‌شود که شامل انحلال پوسته ها در محلول هیپوکلریت (۲ درصد هیپوکلریت سدیم به مـدت ۷ تـا ۱۰ دقیقه) قبل از انکوباسیون تخم هاست. ناپلئوس را می توان بلافاصله به عنوان غذای زنده مـورد اسـتفاده قرار داد. با ادامه پرورش به مدت چند روز می توان طعمه بزرگتری را حاصل نمـود، ولـی ایـن کـار کمتـر عملی بوده و محدودیت زیادی دارد. تغییر رژیم غذایی زودهنگام (با وجـود غـذادهی مصـنوعی) نیـز نیـاز آرتمیای نابالغ را کاهش می دهد.

۲-۱۳- نیازهای تغذیه ای لارو

با استفاده از غذای زنده بررسی نیاز غذایی لاروها روش مناسبی نیست زیرا تولید غذای زنده آزمایشـگاهی با ترکیب کاملا کنترل شده و تغییر یک فاکتور به طور دقیق جز در مورد اسیدهای چرب، دشوار است. در حال حاضر نیاز ماهیان دریایی به اسیدهای چرب چند غیراشباع با زنجیره طولانی ($HUFA_s$) بـویژه EPA (C ۲۰:۵ n-۳) و DHA (C ۲۲:۶ n-۳) (فصل ۷، کادر ۱-۷)، بخوبی شناخته شده است.

از آنجائیکه مقدار HUFA را می توان در غذای زنده تغییر داد، اثرات مثبـت غنـی سـازی بـر بقـا، رشـد و مقاومت لارو در برابر استرس اثبات شده است. برآورد کمی نیازهـا بـا اسـتفاده از شـاخص هـایی از قبیـل مقدار کل اسیدهای چرب سری های n-۳، C۲۰ و C۲۲ انجام شده است. ایـن نیازهـا بـا توجـه بـه گونـه ماهی متغیر است، اما چنین تصور می شود که در لارو نسبت به ماهیان جـوان بـالاتر باشـد (بـه ترتیـب ۱/۳ درصد در مقابل ۰/۸ درصد از وزن خشک در کفشک). برآورد ایـن نیازهـا توسـط محققـان نیـز متفـاوت است. به این ترتیب، در سیم دریایی سر طلایی برآوردها از ۳ تا ۵۶ درصـد از مـاده خشـک متغیـر بـوده و بنظر می رسد که به روشهای بکار رفته در مطالعات بستگی دارد. علاوه براین، DHA نسبت به EPA بـویژه در رابطه با بقا و مقاومت در برابر استرس موثرتر باشد. DHA همچنین در تجمع رنگدانه ها در ماهیان پهـن دخالت دارد. نیاز اسیدهای چرب سری n-۶ هنوز مشخص نشده است، اما حضور اسید آراشیدونیک برای سنتز پروستاگلندین ها ضروری است.

اطلاعات دقیقی پیرامون سایر عوامل تغذیه ای، حداقل در مورد گونه های دریـایی وجـود نـدارد. در حـال حاضر نیاز این گونه ها به ویتامین C در حال مطالعه است. به همین دلیل هنوز ارزش غذایی غذاهای زنده

عمدتاً از طریق نیازهای برآورد شده برای ماهیان جوان یا از طریق داده های حاصل از لارو ماهیان آب شیرین تخمین زده میشود که در آنها تغذیه از غذای ساکن امکان پذیر است.

۳-۱۳ - ارزش غذایی غذای زنده

کیفیت غذاهای زنده با توجه به تحت تاثیر قرار گرفتن از طریق عوامل محیطی و تغذیه ای در زمان مصرف شدن توسط لاروها متفاوت است. عوامل مذکور کم و بیش قابل کنترل بوده و اختلافات بیوشمیایی ترکیبات بین هچری های مختلف و حتی در یک هچری قابل مشاهده است. طی مطالعات انجام شده پیرامون لاروها، تایید ترکیب و ارزش غذایی غذای زنده مصرفی، تنوع و احتمال بهینه سازی آنها، ضروری است. ارزش غذایی آرتمیا و روتیفر از طریق غنی سازی پیش از توزیع و مصرف برای تغذیه لاروها، قابل تغییر است.

۱-۳-۱۳) روشهای پرورش

به منظور استفاده از یک جیره نسبتا متعادل برای اصلاح ترکیب اسیدهای چرب و نیز رشد آرتمیا، پرورش به مدت حداقل ۲ روز ضروری است. این کار به پرورش در تراکم های پایین (۱۰ تا ۲۰ آرتمیا در هر میلی لیتر) نیاز دارد. روش های غذادهی، تنها در بوجود آمدن مقادیر چربی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد نقش دارند.

۲-۳-۱۳) روشهای غنی سازی

روش های غنی سازی در ابتدا با هدف افزایش ارزش غذایی غذای زنده بر حسب قابلیت هضم آن صورت گرفت. بدین ترتیب، انواعی از کپسول های زیستی حاوی مواد مغذی یا فرآورده های دارویی حاصل شد که قابل افزودن بودند. میزان حقیقی قابلیت هضم نامعلوم است اما بدون تردید برای تامین چربی کافی می توان از آنها استفاده نمود. غذای زنده ظرفیت قابل ملاحظه ای برای تامین چربی های مفید دارد.

غنی سازی با استفاده از حمام مواد مغذی یا استفاده از غذای سرشار از چربی انجام میشود که در آن امولسیون روغن، مقادیر بالایی از اسیدهای چرب ضروری را تامین می کند. فرآورده های تجاری و آزمایشگاهی مختلفی برای این اهداف ایجاد شده اند. امروزه ثابت شده که غنی سازی کوتاه مدت (نیم ساعت) بر آرتمیای نابالغ و نیز روتیفرها موثر است. ناپلی آرتمیا پس از تفریخ به دوره های طولانی غنی سازی (۲۴ ساعت) در تراکم بالا(۳۰۰ آرتمیا در هرمیلی لیتر) نیاز دارد. دوره ها شامل دوره قبل از رشد تا هنگام باز شدن دهان و دوره غنی سازی واقعی است. غنی سازی بیش از ۲۴ ساعت و با استفاده از امولسیون غنی از اسیدهای چرب ضروری متداول تر از روش کشت است. این روش منجر به ایجاد میزان بالایی از چربی های (۲۰ تا ۳۰ درصد از وزن ماده خشک غذای زنده) ایجاد کننده اسیدهای چرب ضروری می شوند که به چربی های پیشین اضافه می گردند. غنی سازی روتیفرها توسط اسیدهای چرب ضروری تقریبا ظرف مدت ۶ ساعت به حداکثر می رسد و غنی سازی جلبک های دریایی در بیش از ۲۴ ساعت در برخی هچری ها انجام می شود.

۳-۳-۱۳) انرژی

در واحدهای پرورش لارو که اندازه‌گیری دقیق میزان غذای خورده شده و قابلیت هضم از نظر فنی غیر ممکن است، در نظر گرفتن مفهوم انرژی کار دشواری است. وزن متوسط، ترکیب شیمیایی و همچنین انرژی موجود در غذای زنده با توجه به شرایط فیزیولوژیک آنها بسیار متغیر است. در اصطلاحات تغذیه‌ای، برآورد اصلی، برابر با مقدار انرژی غذای زنده در لحظه‌ای است که توسط لارو خورده می‌شود. این میزان متفاوت از مقداری است که هنگام توزیع برآورد می شود. غذای زنده هنگام قرار گرفتن در مخازن پرورش، ذخائر انرژی زای خود را مصرف کرده و بخشی از انرژی غذایی خود را از دست می‌دهد. بنابراین، توزیع غذای زنده باید با توجه به نیازهای کمی لارو و در جهت به حداقل رساندن تلفات غذایی، انجام شود.

٤-۳-۱۳) ترکیب چربی و اسیدهای چرب ضروری

مقایسه ترکیب اسیدهای چرب موجودات زنده مختلف که به عنوان غذای زنده مورد استفاده قرار میگیرند، با توجه به نوع ارگانیسم و روش های غذادهی (تولید یا غنی سازی) بیان می شود (جدول۲-۱۳). مقدار اسیدهای چرب سری n-۳ در پاروپایان معمولا بالاست و بنظر می رسد پاروپایان قادر به تجمع اسیدهای چرب بویژه دکوزاهگزانوئیک اسید(DHA) می باشند. در مقابل، مقدار اسیدهای چرب ضروری، همچنین نسبت دکوزهگزانوئیک اسید به ایکوزاپنتانوئیک اسید (DHA/EPA) در روتیفرها و آرتمیاها پایین است.

برخی محققان بر این باورند که اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع(HUFAs) پاروپایان دریایی مستقیما از فیتوپلانکتون های مصرف شده، منشا می گیرند. توان بالای برخی گونه های پاروپایان در طویل کردن زنجیره و کاهش اشباعیت اسیدهای چرب n-۳ به اثبات رسیده، اما این توانایی در روتیفر و آرتمیا بسیار پایین است.

روتیفرهایی که صرفا با مخمر نان تغذیه می شوند از نظر اسیدهای چرب بسیار غیراشباع کمبود داشته و ارزش غذایی آنها پایین است. در این حالت، روش های غنی سازی ضروری است. امولسیون روغن غنی از اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ را نیز می توان به مخمر مورد استفاده در تغذیه روتیفرها افزود. علاوه براین، استفاده از برخی غذاهای تجاری امکان پرورش روتیفرها را با مقادیر مناسب اسیدهای چرب ضروری فراهم می سازد. در صورت استفاده از جلبک های دریایی، نوع گونه و شرایط پرورش دو عامل تعیین کننده در میزان اسیدهای چرب آنها و روتیفرهایی است که از آنها تغذیه می کنند.

ترکیب آرتمیا در هچری ها با توجه به ویژگی محصول (محل و تاریخ برداشت) متغیر است. بطوریکه به غذای طبیعی مصرفی توسط آنها بستگی دارد. با توجه به ترکیب اسیدهای چرب، دو نوع آرتمیا مشخص می شود (شکل۲-۱۳) . نوع دریایی که نسبتا غنی از ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA) (مورد نیاز لارو یا حیوانات دریایی) است و نوع آب شیرین که غنی از اسید لینولئیک n-۳، ۱۸:۳است (که در لارو ماهیان آب شیرین می تواند به عنوان پیش نیاز ایکوزاپنتانوئیک اسید یا دکوزاهگزانوئیک اسید مورد استفاده قرار گیرد). در عمل، می توان لارو برخی ماهیان دریایی را با استفاده از ناپلی آرتمیای دریایی به طور موفقیت‌آمیز پرورش داد. هرچند، در این حالت حتی با وجود استفاده از بهترین گروه از سیست ها، گونه دریایی مقدار اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع پایین تری جهت رفع نیازهای لارو دارد.

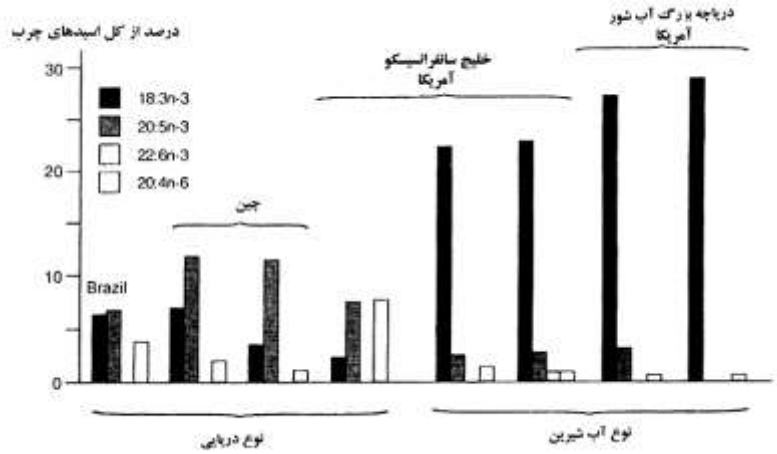
جدول۲-۱۳) ترکیب چربی (درصد ماده خشک) و اسیدهای چرب چند غیر اشباع مهم طعمه زنده

		روتیفرها (*Brachionus plicatilis*)				*Arrtemia sp.*		
		تغذیه شده با						
	کپه پودها (*Tisbe sp*)	مخمر	جلبک p.suecica	مخمر + Super Selco®	غنی شده با Super Selco®	ناپلئوس در مرحله هچ شدن	غنی شده به مدت ۲٤ساعت با Super Selco ®	تغذیه شده با مخمرو وغن کبد ماهی کاد طی ٤٨ ساعت
لیپیدها(درصد ماده خشک)	٥/١	١١/٨	٨/٥	٨/٥	١٨	١٨/١	٢١	١٨/٩
اسیدهای چرب (درصد ماده خشک)	٢/٤	٨	٥/٥	٦/٨	١٥	١٤/٤	١٥/١	١٤/٧
HUFA (درصد ماده خشک)	١/١	٠/٢	٠/٧	١/٤	٥/٧	٠/٥	٣/٣	٢/٥
FA (درصد ماده خشک)								
کل اسیدهای چرب اشباع شده	٢٠/٨	٢٠/٦	٢٣/٤	٨/٧	٩/٦	١٧/٧	١٣/٦	١٥/٢
کل ٧- n	١١/٢	١٥/٨	٥/٩	٢٦/٦	١١/٦	١٣/٤	١١	١٧/٨
کل٩ – n	٨/٥	٢٦/٨	٩/٤	٢٨/٨	١٩/٨	٢١/٩	١٨/٤	٢٩/٣
کل ٦- n	٥/٤	٢٢/٦	٢٩	٩/٩	٩/٣	٩/٨	٧/٦	٥
٦- n ٢: ١٨	١/٨	١٨/٦	١٨/٦	٧/٦	٧/٢	٨/٣	٥/٤	٣/٦
٦- n ٤: ٢٠	٢/٧	١/١	٥/١	١/١	١/٢	١/٤	١/٣	١/١
کل ٣- n	٤٤/٩	٦/٧	٢٥/٣	٢٤/٤	٤١/٧	٢٩/٤	٤٢/١	٢٤/٩
٣- n ٣: ١٨	٠/٤	٢/٩	٧/٢	١/٧	٢/٢	٢٢/٣	١٧/٨	٦
٣- n ٥: ٢٠	١٤/٧	١/١	٦/٢	١٠/٣	١٦	٢/٩	١٢/٧	١١/٧
٣- n ٥: ٢٢	tr	٠/٧	١/٩	٣/١	٣/٤	–	١/١	٠/٦
٣- n ٦: ٢٢	٢٩/٥	٠/٢	٠/١	٦/٦	١٦/٢	–	٧/٢	٤/٥

با وجودیکه دکوزاهگزانوئیک اسید از کارآمدترین اسیدهای چرب در لارو است، ولی باوجوداینکه در ناپلی تازه تفریخ شده وجود نداشته یا به مقدار خیلی کم وجود دارد. در نتیجه تامین مقادیر مورد نیاز از طریق غذادهی یا غنی سازی غذای زنده، ضروری است.

۵-۳-۱۳) ترکیب پروتئین

مقدار پروتئین غذای زنده بیش از ۶۰ درصد ماده خشک بوده که این میزان ممکن است از طریق غنی‌سازی با مقادیر بالای چربی کاهش یابد. نرخ رشد روتیفرها در محیط پرورش به شکلی قابل توجه با محتوای پروتئین آن رابطه مستقیم دارد.



شکل ۲-۱۳) اسیدهای چرب چند غیر اشباع مهم حاصل از نمونه های آرتمیا از منابع جغرافیایی مختلف

چنین تصور می شود که کیفیت پروتئین در غذای زنده رضایتبخش بوده و بخودی خود به مقدار جزئی قابل تغییر است. ترکیب اسیدهای‌آمینه گونه های مختلف مورد استفاده به عنوان غذای زنده تقریبا مشابه بوده و اسیدهای‌آمینه ضروری مورد نیاز ماهیان جوان را تامین می کند.

به دلیل جذب راحت تر اسیدهای‌آمینه آزاد،گاهی سهم آنها در زئوپلانکتونها به عنوان عامل کیفی برای لاروهای دارای دستگاه گوارش ناقص، در نظر گرفته می شود. مقدار اسیدهای‌آمینه آزاد در پاروپایان در محیطهای طبیعی یا پرورشی بیش از روتیفر و آرتمیاست و در ارتباط با آنها تکنیک های غنی سازی با پروتئین یا بصورت مخلوط (پروتئین و چربی) پیشنهاد شده است که از این طریق می توان مقدار اسیدهای‌آمینه آزاد را تعدیل نمود، البته اثر این غنی سازی بر عملکرد پرورش هنوز مشخص نشده است.

٦-۳-۱۳) مواد معدنی

اطلاعات کمی در رابطه با تاثیر مواد معدنی موجود در غذای زنده بر تغذیه لارو وجود دارد. اغلب تصور می شود که آب دریا از نظر ذخیره مواد معدنی غنی باشد. اما در پرورش متراکم، ذخیره مواد معدنی محدود بوده و به همین دلیل مزیت غنی سازی در این نوع پرورش به اثبات رسیده است. برخی اطلاعات در زمینه ترکیب آرتمیا از نظر مواد معدنی اصلی (ماکرو) و عناصر کمیاب وجود دارد که نشان‌دهنده تغییر این مقادیر با توجه به نوع ذخیره سازی است. پرورش روتیفرها اغلب وابسته به پرورش جلبکهاست که این جلبک ها نیز از طریق پرورش متراکم با تامین مواد معدنی ضروری، تولید می شوند (جدول۳-۱۳). محیط مورد استفاده تولید جلبک از یک هچری به هچری دیگر فرق می کند، بطوریکه برخی از آنها تامین کننده عناصر الیگو بوده و برخی علاوه بر اینکه این منابع را فراهم نمی کنند، حتی شرایطی را ایجاد می کنند که گنجاندن عناصر کمیاب را محدود می سازند. این عوامل ترکیب مواد معدنی موجود در روتیفرها را تحت تاثیر قرار می دهند.

جدول۳-۱۳) عناصر الیگو در غذاهای زنده گوناگون. روتیفرهای تولید شده با استفاده از جلبک یا مخمر و ناپلی آرتمیای تازه تفریخ شده(متوسط ذخائر مختلف بر حسب میلی گرم به ازای هر گرم از ماده خشک)

عناصر الیگو	جلبک/ مخمر	مخمر/ روتیفر	ناپلی آرتمیا
آهن	۲۱٦ ± ۵۲	۱۳۵ ± ٦۸	۲٦۵ ± ۹٤
روی	۳۸ ± ۲	۹۸ ± ۲۸	۲۱۸± ۵٦
منگنز	۱۹ ± ۲	۱۷ ± ۸	۱۵ ± ۵
مس	۱٤ ± ۳	۱۸ ± ۸	۱۲ ± ۷

۷-۳-۱۳) ویتامین ها

اطلاعات اندکی در مورد محتوای ویتامین غذاهای زنده مورد مصرف در آبزی پروری، وجود دارد. روتیفرها به ویتامین ها نیاز دارند که عمدتاً از طریق باکتری های مرتبط با محیط پرورش تامین می شوند. شرایط پرورش به همراه سطوح مطلوب اکسیژن بر سنتز ویتامین ها توسط باکتری های مربوطه اثر میگذارد. گرچه بنظر می رسد ورود مستقیم ویتامین های محلول در آب بی فایده است، غنی سازی غذای زنده با ویتامین های محلول در چربی و از طریق غذا، امکان پذیر است. به این ترتیب، به رغم اینکه انواع محلول در آب ارزش غنی سازی ندارند، ویتامین C را می‌توان به شکل پالمیتات آسکوربیل تامین نمود.

۸-۳-۱۳) آلوده‌کننده‌ها و مواد سمی

مطالعات مختلف نشان داده اند که ناپلی آرتمیای مورد استفاده در آبزی پروری حاوی ارگانوکلریدهای حاصل از حشره کش های مورد استفاده در محیط اطراف است. گمان می رود که این ترکیبات کیفیت لارو را تحت تاثیر قرار می دهند. بطورکلی، آزمایش های مقایسه ای تاثیر ذخائر آرتمیا در عملکرد پرورش لارو، عمدتاً مشابه سایر ویژگی ها از جمله ترکیب اسیدهای چرب ضروری است.

٤-۱۳- غذادهی عملی

۱-٤-۱۳) رفتار تغذیه ای لاروها

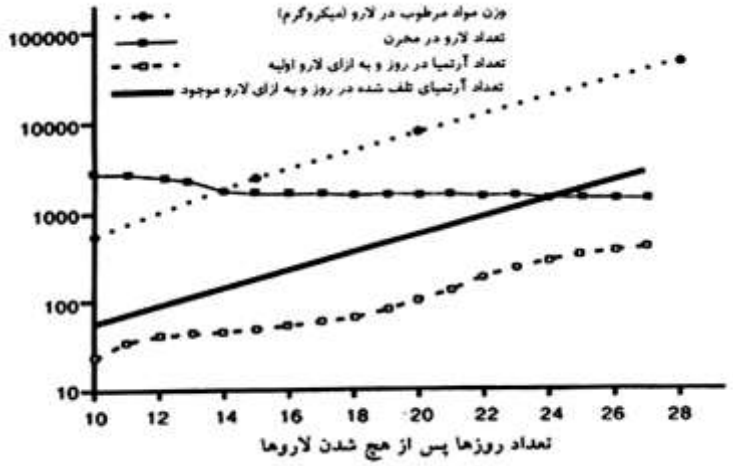
لارو به عنوان یک شکارچی، برای صید طعمه خود انرژی مصرف می کند و هر گونه تلاش بی‌نتیجه در صید میزان مصرف انرژی را افزایش می دهد. مطالعات بیشتری پیرامون این رفتار بخصوص با هدف بهینه‌سازی شرایط غذادهی لارو، صورت گرفته است. عوامل زیست محیطی حاکم بر مخازن پرورشی (از قبیل رنگ دیواره ها، نوردهی، جریان آب) میزان موفقیت لارو در صید و به دنبال آن موفقیت در پرورش را تحت تاثیر قرار می دهد. روش های توزیع غذای زنده در واحدهای پرورش عواقب مهمی بر کیفیت آن در لحظه مصرف شدن، بویژه مقدار انرژی، همچنین سطوح موثر غذادهی بهمراه دارد. نوع، تراکم و اندازه طعمه نسبت بین انرژی ذخیره شده توسط لارو و انرژی صرف شده برای صید آنها را تحت تاثیر قرار می دهد.

۲-٤-۱۳) اندازه و نوع طعمه

از نظر عملی، ترتیب غذادهی شامل جایگزین کردن انواع غـذا در طـول دوره رشـد اسـت، بطوریکـه طـی دوره رشد بین اندازه غذا و اندازه دهان هماهنگی ایجاد می شود. ورود زودهنگام ناپلی آرتمیـا (بزرگتـر از روتیفرها) زمانیکه لارو قادر به خوردن آنها است موجب افزایش سرعت رشد در لارو می شـود. بـه همـین ترتیب، مصرف نهایی آرتمیای نابالغ و غنی شده امکان ایجـاد نـوعی سـازگاری از نظـر انـدازه آرتمیـا بـا اندازه لارو را فراهم می سازد. مطالعه لارو کپور تغذیه شده با نژادهای مختلف آرتمیا نشان داده اسـت کـه نتایج رشد متناسب با اندازه و وزن ناپلی نژادهای مورد استفاده بوده و مشـخص شـده کـه بـرای ایـن گونـه ماهی ها، وجود اختلافات در ترکیب اسیدهای چرب آرتمیا اهمیتی ندارد.

۳-٤-۱۳) جنبه های کمّی

در پرورش متراکم، توزیع غذای زنده باید با دقت زیاد اعمال شود تا نیازهای روزانه لارو به طـور کامـل و دقیق برآورده شود. اما به علت سرعت نسبتا بالای مرگ ومیر در آغاز پرورش و عدم امکان شمارش دقیـق تلفات به علت ریز بودن لاروها، تعداد لارو در یک لحظه خاص را نمی توان دقیقا ارزیابی نمود. عـلاوه بـراین، در این مرحله رشد سریع بوده و میزان غذای توزیع شده باید متناسب با آن افزایش یابد(شکل۳-۱۳).



شکل۳-۱۳) مقدار آرتمیای غنی شده قابل مصرف توسط لارو کفشک در یک واحد پرورشی (مقیاس لگاریتمی)

رفع نیازهای کمی روزانه مطابق با دو اصل ذیل صورت می گیرد:

- ایجاد تراکم بهینه غذای زنده به منظور میسر ساختن امکان صید آنها توسط لارو
- جلوگیری از باقی ماندن غذای زنده پیش از مصرف شدن بصورت طولانی مدت در مخازن و در نتیجه کاهش ارزش غذایی آنها

روش توزیع غذای زنده به تکنیک های پرورش اعم از روش آب سبز یا شفاف، بستگی دارد:

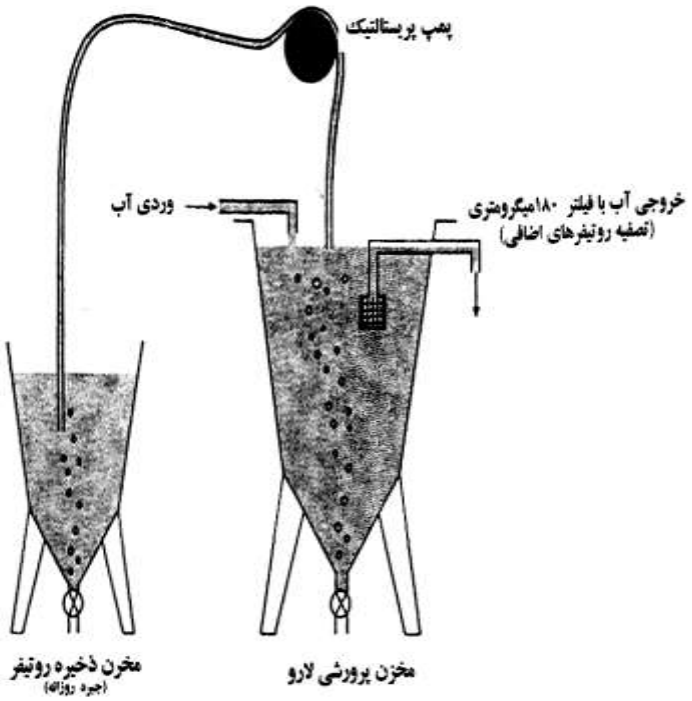
- در روش آب سبز[1](حاوی جلبک های فیتوپلانکتونی)، تراکم غذای زنده بواسطه ورود طعمه جدیدی که کمبود طعمه های خورده شده توسط لارو را جبران می کند، تقریبا ثابت نگه داشته می شود.

-در روش آب شفاف(تمیز)[2]، از روش تجربی بطور گسترده استفاده می شود. این روش شامل تعیین تعداد غذای زنده باقی مانده درمخازن پرورشی و پس از آن تنظیم توزیع بعدی با توجه به تعداد طعمه باقی مانده است که مطابق با یک برنامه از پیش تعیین شده صورت می گیرد. هدف از این روش به حداقل رساندن طعمه مصرف نشده در واحد پرورشی تا روز بعد است.

٤-٤- ١٣) مدیریت کیفیت غذای زنده در مخازن پرورش لارو

در واحدهای پرورشی با آب شفاف، طعمه در مخازن پرورش لارو به صورت مصرف نشده باقی می ماند. از روش های مختلفی می توان به منظور جلوگیری از افت ارزش غذایی استفاده کرد که از طریق توزیع چندین وعده در روز یا بواسطه توزیع مداوم طعمه با استفاده از پمپ از مخزن ذخیره طعمه، بهترین شرایط پرورش را ایجاد نمود(شکل۴-۱۳). طعمه هایی که قرار است توزیع شوند، در محیط غنی سازی یا سرد (در مورد ناپلی آرتمیا) نگهداری می شوند. در رابطه با توزیع مداوم، طعمه های اضافی به سمت جریان خروجی مخزن پرورشی انتقال داده میشود توسط یک فیلتر که تنها طعمه قادر به عبور از بین آنهاست، درحالیکه لاروها خارج نشده و در مخزن باقی می‌مانند.

[1] Green water technique
[2] Clean water technique



شکل٤-۱۳) نمایی از روش توزیع مداوم غذای زنده به مخازن پرورش لارو (در مورد روتیفر)

در روش آب سبز، چون طعمه ها قادر به تغذیه در مخازن هستند، امکان حفظ ارزش غذایی غذای زنده در سطح رضایتبخشی فراهم می شود و درهرحال، ترکیب بدن آنها تحت تاثیر جلبک های مصرفی بهبود می یابد. این پدیده در مورد روتیفر و پاروپایان موثر است، اما در رابطه با ناپلی آرتمیا حفظ کیفیت آن از طریق توزیع پیوسته یا جزئی (بصورت وعده های غذایی بیشتر) قابل تضمین است.

۵-۱۳ - کیفیت باکتریایی غذای زنده

۱-۵-۱۳) اهمیت باکتری ها در چرخه مواد غذایی

همه ارگانیسم های زنده موجود در یک زنجیره غذایی ساختنی به صورت ارادی به این زنجیره معرفی نمی شوند. باکتری ها بصورت اجتناب ناپذیر در داخل این زنجیره بوجود می آیند، مگر اینکه با روشهای

دقیق و تنها در شرایط آزمایشگاهی شرایط فاقد میکروب فراهم شود. در این کتاب نقش فلور میکروبی روده در تغذیه ماهی مورد مطالعه قرار نگرفته است، زیرا میزان آنها با توجه به رژیم غذایی و منطقه اقلیمی گونه های مورد بررسی از $۱۰^{۳}$ تا $۱۰^{۸}$ سلول در هر گرم از محتوای گوارشی، متغیر است. ملاحظه میشود که برای تمرکز آنزیم های باکتریایی حداقل $۱۰^{۷}$ سلول در هر گرم مورد نیاز است تا اثر قابل توجهی بر فرآیند گوارش داشته باشند. این تراز معمولا در واحدهای پرورش روتیفر بدست می‌آید که بین $۱۰^{۷}$ تا $۱۰^{۸}$سلول در هر میلی لیتر از محیط و حدود $۱۰^{۹}$ سلول در هر گرم از روتیفر یافت می شود. بنابراین، این امکان وجود دارد که باکتریها در تغذیه لارو نقش داشته باشند. این حالت یقینا در تغذیه شکارچیان فیلترکننده وجود دارد. برای مثال، باکتری سودوموناس غذای خوبی برای روتیفرهاست، بویژه این باکتری منبعی از ویتامین B_{12} را تشکیل می دهد.

۲-۵-۱۳) عملکرد پیچیده ویبریوها

ویبریوها عموما فلور غالب ماهیان دریایی را تشکیل می دهند، همچنین جنس سودوموناس نیز ممکن است به تعداد زیاد وجود داشته باشد. این باکتری ها همچنین فلور غالب موجودات زنده فیلترکننده را نیز تشکیل می دهند. ممکن است چنین تصور شود که اغلب این سویه‌ها بی ضرر یا حتی مفید باشند. اما ماهیت بیماریزایی برخی سویه ها از طریق ایجاد عفونت آزمایشگاهی به اثبات رسیده است. این وضعیت در مورد نوعی ویبریو فرصت طلب (*vibrio splendidus*)وجود دارد که ممکن است به سطوح بیش از $۱۰^{۹}$ سلول در هر گرم از لارو کفشک رسیده و منجر به تلفات سریع آنها حدود ۳۰ ساعت پس از شروع عفونت شود. این سویه ها در صورت عدم عفونت زایی در شرایط آزمایشگاهی تنها زمانی قدرت بیماریزایی خود را نشان می دهند که لاروها به علت شرایط نامساعد پرورش ضعیف شده باشند.

۳-۵-۱۳) پیشگیری

به منظور جلوگیری از تکثیر ویبریوهای نامطلوب، اعمال اقدام پیشگیرانه اولیه ضروری است که از جمله این اقدامات شامل جلوگیری از پرورش لاروهایی است که از تخم های با کیفیت نامطمئن تولید شده اند بنابراین، استاندارهای تعیین شده برای پرورش گونه ها باید با جدیت دنبال شوند.

اقدام پیشگیرانه دوم، بطورکلی محدود کردن تکثیر باکتری هاست. با وجود تراکم نگهداری در سطح بالا(۳۰۰ تا ۴۰۰ عدد در هر میلی لیتر) و انتقال منظم آنها به مخازن کاملا تمیز همراه با محیط کشت جدید، اعمال توجه خاص جهت تمیز نگهداشتن محیط پرورش روتیفر ضروری است.

غنی سازی غذای زنده با اسیدهای چرب ضروری نباید با استفاده از مقادیر زیاد روغن ماهی یا در یک دوره خیلی طولانی انجام شود. امولسیون روغن حاوی لسیتین به عنوان یک عامل تکثیر ویبریو عمل میکند. توزیع پیوسته روتیفرها طی ۲۴ ساعت همراه با ۸ میلی گرم امولسیون روغن در هر لیتر از محلول غنی سازی، کافی است. روش دیگر که مدت غنی سازی را تا ۶ ساعت کاهش می دهد، استفاده از ۵۰ میلی گرم امولسیون روغن در هر لیتر است.

٤-٥-١٣) تیمارهای اختصاصی

امروزه از آنتی بیوتیک ها در هچری های نرم تنان و سخت پوستان استفاده می شود. اگرچه این مواد گاهی برای اهداف آزمایشگاهی بکار می روند، اما باید از مصرف آنها در واحدهای پرورش لارو ماهی جلوگیری کرد تا خطر پیدایش نژادهای بیماریزای مقاوم به حداقل برسد. در مزارع پرورش ماهی، استفاده از آنتی بیوتیک ها باید صرفا برای درمان بیماری های عفونی ماهیان پرواری اختصاص یابد. روش درمانی پیشنهاد شده دیگر، استفاده از پروبیوتیک هاست. این مواد حاوی سلول های قابل رویش، معمولا اسپورهای باکتری های اسید لاکتیک یا باسیلوس است(فصل ۱۸). این باکتری ها قادر به رشد در محیط پرورش نبوده و باید دائما یا مستقیما به محیط تولید یا از طریق محلول غنی سازی (در حدود $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی در هر میلی لیتر آب در روز) اضافه شوند. تا به حال استفاده از آنها هنوز به صورت آزمایشی بوده و در این رابطه نتایج مثبتی مشاهده شده که با توجه به نوع تولیدات متفاوت است. از جمله آنها بهبود در تولید روتیفر یا افزایش سرعت رشد لارو کفشک، همچنین محدودیتهایی در تکثیر ویبریوها می باشد. در موارد بروز عفونت آزمایشگاهی، پروبیوتیک ها می توانند باعث بهبود بقای لارو کفشک شوند.

باکتری های اسید لاکتیک به طور طبیعی در فلور روده ماهی وجود دارند. بیش از $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی را در هر گرم از دستگاه گوارش گونه ای از ماهی سیم می توان شمارش کرد و بطور طبیعی بیش از $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی در هر گرم از لارو کفشک یافت می شود.

برخی سویه‌های جداسازی شده که به عنوان پروبیوتیک و به صورت روزانه به تعداد 10^7 سلول در هر میلی لیتر از محلول غنی سازی وارد شده اند، موجب ایجاد تراکم 10^7 تا 10^8 سلول در هر گرم از لارو می شوند. فلور اسید لاکتیک می تواند بصورت سد موثری از تلفات لاروهای بیمار بکاهد. برخی سویه های باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از فلور ماهی، قادر به ترشح موادی هستند که از رشد ویبریوها جلوگیری می کنند. به منظور تعمیم مطالعات آزمایشگاهی به آبزی پروری عملی هنوز تلاشهای بیشتری مورد نیاز است و باید آنها را از نظر عملی بررسی نمود، البته بنظر می رسد که این ذخائر امتیاز بزرگی برای کنترل توازن باکتریایی در واحد های پرورشی باشند.

۶-۱۳ - نتایج

در حال حاضر روش های بهبود ارزش غذایی روتیفر و آرتمیا، امکان غذادهی موثرتر لارو ماهی و تولید ماهیان جوان با کیفیت مطلوب تر را فراهم می کند. اختلافات زیادی بین گونه ها وجود دارد. یک ماهی مقاوم نظیر سیم دریایی، از بازماندگی بیش از ۹۰ درصد در پایان ماه اول برخوردار است. در حالیکه در مورد گونه های حساس تر نظیر کفشک، بازماندگی ۲۰ تا ۳۰ درصد، در حد مطلوب در نظر گرفته میشود. برای اکثر گونه هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند، سهم ماهیان جوان برای رشد در مراکز پرورشی زیاد است. هزینه های تولید هنوز بالا است و باید کاهش یابد. علاوه بر این، روش های امروزی امکان تولید گونه های جدید را با حداقل بررسی پیرامون سازگاری آنها از طریق پرورش فراهم می کند. با این وجود رسیدگی به دو مسئله ضروری است:

- غذادهی و تولید ماهیان جوان بشدت به تامین سیست آرتمیای تولیدی از محیط طبیعی برای هچریها وابسته است. در حال حاضر با وجود کمبود سیست در شرایط اقتصادی خاص کنونی همراه با افزایش آبزی پروری در سطح جهانی، در صورت عدم جایگزینی آن با غذایی دیگر، مسئله کمبود سیست به یک مسئله مهم و اساسی تبدیل خواهد شد.
- ماهیان جوان تولید شده از طریق پرورش متراکم اغلب معایبی دارند که ظاهراً ناشی از شرایط غذادهی یا پرورش در دوره لاروی است، البته عوامل تعیین کننده هنوز شناسایی نشده اند. به منظور بهبود کیفیت همراه با افزایش نیاز، تعداد این نارسایی ها نیز بایستی کاهش یابد.

۷-۱۳ - خلاصه

در حال حاضر، به رغم تعداد اندک گونه های پلانکتونی مورد استفاده برای ساماندهی مجدد سطوح اولیه زنجیره غذایی، امکان تولید غذای زنده در تمامی اندازه های مورد نیاز وجود دارد. ارزش غذایی آنها اندکی متفاوت بوده و اغلب برای شروع کافی نیست اما می توان آن را بویژه از نظر محتوا تا حد زیادی اصلاح نمود. استفاده از این تکنیک ها عملکرد هچری ها را از لحاظ عملی تضمین می کند. اما با توجه به رشد بی‌وقفه آبزی پروری، استفاده از این تکنیک ها حتی در مقیاس متوسط، حداقل در مورد گونه‌هایی با لارو کوچک ، امکان پذیر نیست و بنظر می رسد استفاده از روش های کاملا متفاوت اجتناب‌ناپذیر باشد که مستلزم افزایش استفاده از غذاهای غیر زنده است.

«فصل ۱۴»

خوراک ساختنی برای تغذیه لارو

در پرورش متراکم ماهی آزاد، چرخه کامل تولید بچه ماهی تا ماهی مولد بر مبنای توزیع غذاهای خشک به شکل خرد شده یا پلت استوار است بطوریکه تمام نیاز غذایی ماهی برای رشد و تولید مثل را فراهم می کنند. به علت ذخیره سازی و توزیع راحت، این غذاها جایگزین غذای زنده و غذاهای تازه یا مرطوب مورد مصرف در گذشته شده اند. در این رابطه آنچه در مورد آزاد ماهیان وجود دارد، یک قاعده کلی نیست. در مورد بسیاری از گونه ها و بویژه گونه های دریایی، تنها ماهیان جوان یا بالغ را می توان با غذای خشک پرورش داد. لارو این گونه ها که وزن بدنشان در حدود یک میلی گرم است، نه صد میلی گرم مثل لارو ماهی قزل آلا ، باید با غذاهای زنده نظیر روتیفر و ناپلی آرتمیا تغذیه شوند(فصل۱۳). به علت مشکلاتی که پیش از این تشریح شد (فصل ۱۲)، این لارو را پس از چند هفته می توان از غذای زنده به سمت جیره غذایی دستی تغییر رژیم داد. وضعیت در سایر مراحل پرورش، مشابه پرورش آزادماهیان است.

طی ۲۰ سال گذشته مطالعاتی به منظور کاهش دوره تغذیه لاروها با غذای زنده، درک بهتر رفتار و فیزیولوژی لارو و بهبود در تنظیم فرمول ذرات ریز غذایی، صورت گرفته است. در این فصل امکان بالقوه و محدودیت های موجود در زمینه استفاده از جیره های غذایی دستی در تغذیه لارو ماهیان آب شیرین و دریایی به تفصیل بیان شده است.

۱-۱٤ شرایط استفاده از غذاهای دستی

۱-۱-۱٤) روش های تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای ساختنی

سن تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای ساختنی به میزان قابل توجهی به نوع گونه بستگی دارد. همچنین بنظر می رسد که این زمان بیشتر به اندازه لارو و روش های پرورش نسبت به مرحله فیزیولوژیک خاص، وابسته باشد. در مورد کپور در مدت چند سال اندازه لارو در اولین مرحله غذادهی با غذای ساختنی از ۵۰ میلی گرم به حدود ۲ میلی گرم تغییر یافته است. اگرچه این دسته از غذاها هنوز هم نرخ رشد پایین تری را موجب می شوند، اما مشابه غذای زنده، بازماندگی مناسبی (بیش از ۹۰ درصد) را بهمراه دارند. این حالت همچنین در سایر گونه های آب شیرین برقرار می‌باشد که وزن بدن لارو هنگام اولین گشایش دهان بین ۵ تا ۱۰ میلی گرم (ماهی سفید، ماهی اسبله) یا بیشتر (نوعی آزاد ماهی به نام gray ling) است. در این گونه ها، ناپلی آرتمیا در طی دوره یک یا دو هفته ای نرخ رشد ویژه بالاتری را نسبت به غذای مصنوعی فراهم می کند، اما پس از آن هر دو نتایج مشابهی در پی دارند.

در ۱۰ سال گذشته پیشرفت چشمگیری در زمینه تغذیه برخی ماهیان دریایی نظیر باس دریایی و کفشک ماهی صورت گرفته که لاروهای آنها در وزن ۰/۲تا ۰/۵ میلی گرم شروع به تغذیه می‌نمایند و کاهش سن تغییر رژیم غذایی از ۶۰ روز به ۳۰ تا ۴۰ روز تحت تاثیر شرایط پرورش امکان‌پذیر بوده است. افزایش چشمگیر در بقا بویژه رشد بر اثر استفاده از غذاهای مخصوص نیز مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، متوسط وزن ۲ گرم در باس دریایی یک ماه زودتر (۳ ماه به جای ۴ ماه) حاصل می شود که این موضوع اثر قابل توجهی بر جنبه های اقتصادی مرحله نگهداری ماهیان در هچری دارد. مشخص شده که در گونه‌های مشابه و در شرایط آزمایشگاهی می توان غذای دستی را حتی زودتر از ۲۰ روزگی لاروها مورد استفاده قرار داد، بدون اینکه بازماندگی کاهش یابد، اما تاخیر ناچیز قابل قبولی در رشد ایجاد می شود که بیش از یک هفته در یک دوره ۳ ماهه نخواهد بود. امروزه تغییر رژیم غذایی لارو با وزن ۲ تا ۳ میلی گرم حداقل تحت شرایط آزمایشگاهی امکان‌پذیر است. این وزن در سنین متفاوت با توجه به گونه و شرایط متفاوت ایجاد می شود (جدول۱-۱۴).

جدول ۱-۱٤) تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای دستی در برخی از ماهیان دریایی

نتایج	غذای ساختنی	سن پس از هچ	وزن بدن	طول کل	گونه
خوب	۱۰۰	۵	۰/۲	٤	باس دریایی
خوب	۱۰۰	۲۰	۳	۹	سیم دریایی سرطلایی
خوب	۵۰	۳	۰/۱	۳	
خوب	۵۰	۲۵	۱	۷	
خوب	۸۰	۲۰	–	–	
متوسط	۱۰۰	۲	۰/٤	٤	نوعی کفشک ماهی(Sole)
خوب	۱۰۰	۱۰	۳	۷	
خوب	۱۰۰	۱۰	۳	–	
متوسط	۱۰۰	٤	۰/٦	٤	کاد
خوب	۹۰	۱۰	–	٤	شانک دریایی قرمز
خوب	نسبی	۵	۰/۲	۳	باس کانالی
متوسط	۱۰۰	۲	–	۲	باس دریایی مناطق گرمسیری
خوب	نسبی	–	–	–	

تغییر رژیم غذایی را با استفاده از چند روش می توان انجام داد:

-از طریق اعمال یک مرحله غذادهی حدواسط با استفاده از زئوپلانکتون های منجمد یا منجمد خشک که حدواسط بین ناپلی آرتمیا و غذای دستی خواهند بود. زئوپلانکتون های منجمد در قالب هایی از یخ نگهداری شده و مستقیما در مخازن پرورش قرار داده می شوند و به محض ذوب شدن یخ، طعمه آزاد می گردد. به این منظور اغلب پاروپایان ساکن در مرداب ها یا استخرها جمع آوری می شوند. همچنین آرتمیای بالغ نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

-توزیع همزمان غذای زنده و غذای خشک در یک دوره یک تا چندهفته ای . غذادهی مخلوط را می توان خیلی زود و پیش از رسیدن وزن لارو به چند میلی گرم آغاز نمود. غذاهای زنده ای شامل براکیونوس و آرتمیا ممکن است ۱۰ تا ۵۰ درصد از جیره روزانه را تشکیل دهند.

-روش دیگر شامل استفاده از روش هایی مشابه موارد مذکور است اما همپوشانی غذای زنده و غذای خشک به دو یا حتی یک روزکاهش می یابد. این روش همگنی مطلوب تر اندازه لاروها را در داخل جمعیت تضمین می کند.

۲-۱-۱٤) روش های توزیع

تغذیه بیش از حد لاروها و آلوده کردن محیط پرورش، از مسائلی است که باید از وقوع آنها جلوگیری نمود.

همانند غذای زنده، ذرات غذایی را باید به میزان زیادی در محیط لارو عرضه کرد. ذرات کوچک در ابتدا شناور بوده و سپس به دنبال مسیری که به جریان آب بستگی دارد به کف استخر سقوط می کنند. معمولا لاروها علاقه ای به ذرات غوطه ور یا ذرات قرار گرفته در کف ندارند بلکه تنها به سمت ذراتی جذب می شوند که در اطراف آنها شناورند. به منظور حفظ تراکم کافی ذرات معلق، باید تعداد وعده‌های غذایی افزایش و دوره غذادهی روزانه گسترش یابد بنحویکه کل روز را در بر گیرد. لاروها تنها بخش کوچکی از ذخائر بدن خود را مورد استفاده قرار داده و نسبت به گرسنگی و تغذیه بسیار حساسند. توانایی رشد بالاتر آنها نسبت به ماهیان جوان فقط در شرایطی آشکار می شود که میزان مصرف نیز بر حسب درصدی از وزن بدن بسیار بالاتر از ماهیان جوان باشد. این در حالیست که لاروها بر خلاف ماهیان بزرگ، نمی توانند جیره روزانه خود را تنها در دو یا سه وعده مصرف کنند. زمان باقی ماندن غذا در دستگاه گوارش بسیار کوتاه و نظیر ماهیان بزرگ ۱۰ساعت طول نمی کشد و معمولا حدود یک ساعت است.

بنابراین، در شرایط عملی و با در نظر گرفتن ضایعات اجتناب ناپذیر، افزایش غذادهی مستمر توصیه می‌شود. استفاده از غذاده چرخان یا نوار نقاله تقریبا ضروری است. همچنین غذادهی تکمیلی توسط دست، بویژه در چند روز اول پس از تغییر نوع غذا مفید است زیرا رفتار لارو نسبت به غذا را می توان مشاهده نمود.

۳-۱-۱٤) انطباق دستگاههای پرورشی

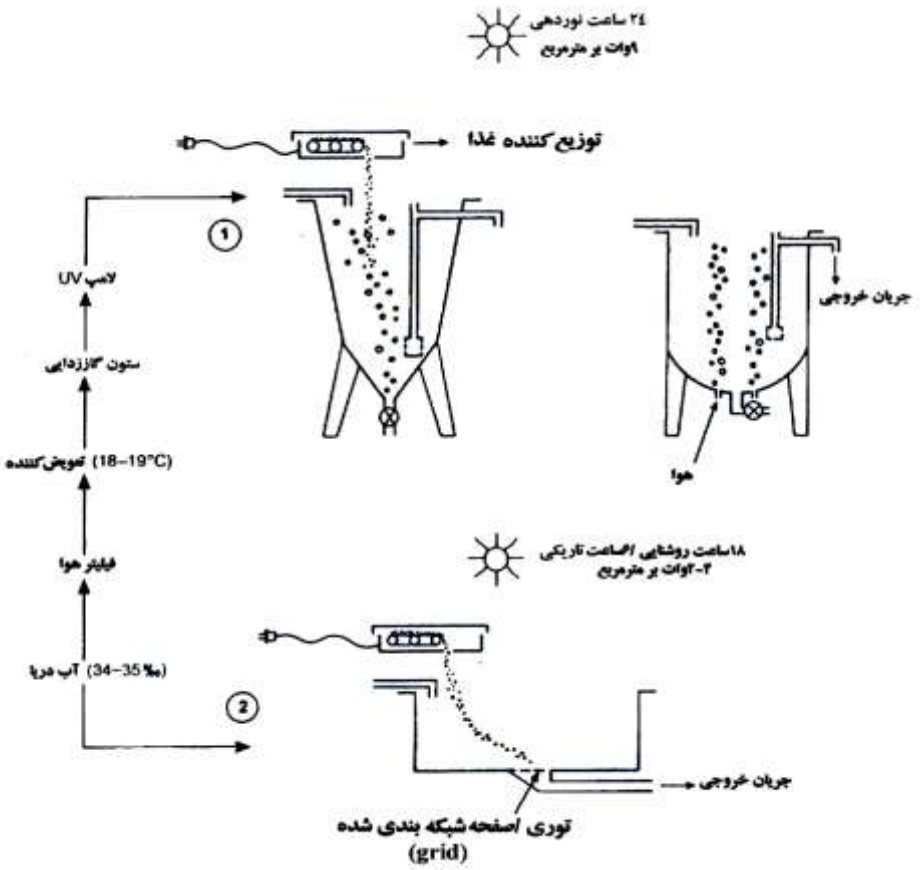
خطر آلوده کردن محیط در رابطه با غذاهای خشک یا مرطوب بیش از غذای زنده است. این خطر بخصوص هنگام استفاده از ذرات خرد شده، به علت انحلال سریعتر در آب در زمان بالا بودن دما، افزایش می یابد. از جمله خطرات شامل تکثیر میکروارگانیسم ها، مسدود کردن فیلترها و از دست رفتن کیفیت آب است. حساسیت لاروها نسبت به حضور آمونیاک، نیتریت و کمبود اکسیژن بیشتر از ماهیان جوان است.

اغلب مخازن سنتی پرورش ماهی که برای پرورش ماهیان جوان مورد استفاده قرار می گیرند کم عمق و دارای کف مسطح بوده و یک خروجی مرکزی دارند که برای پرورش لارو مناسب نیست. ساختار مخازن مورد استفاده در تغییر رژم غذایی باید متناسب با توزیع غذای دستی و با در نظر گرفتن رفتار لاروی باشد که نسبت به حرکات آب بسیار حساسند. غذادهی اولیه لارو ماهیان دریایی، اغلب در تانکهای عمیق با کف نیم دایره ای یا مخروطی شکلی صورت می‌گیرد که تجمع و جمع آوری بهتر مواد دفعی را ممکن می سازد(شکل۱-۱۴). متناسب با نیاز هر گونه در هر مرحله رشد راهکارهای متفاوتی پیشنهاد شده است. انتقال دوره ای لاروها از یک مخزن کثیف به مخزن تمیز، محیط پرورشی دوار، فیلترهای خروجی با قابلیت جابجایی و مکان هایی برای جمع‌آوری مواد دفعی، از جمله این موارد است. هر دستگاه از مخازن پرورش دوتایی تشکیل شده که برای پرورش لارو کپور مورد استفاده قرار گرفته و امکان انتقال اتوماتیک لاروها را از مخزنی به مخزن دیگر فراهم می کنند(شکل۲-۱۴).

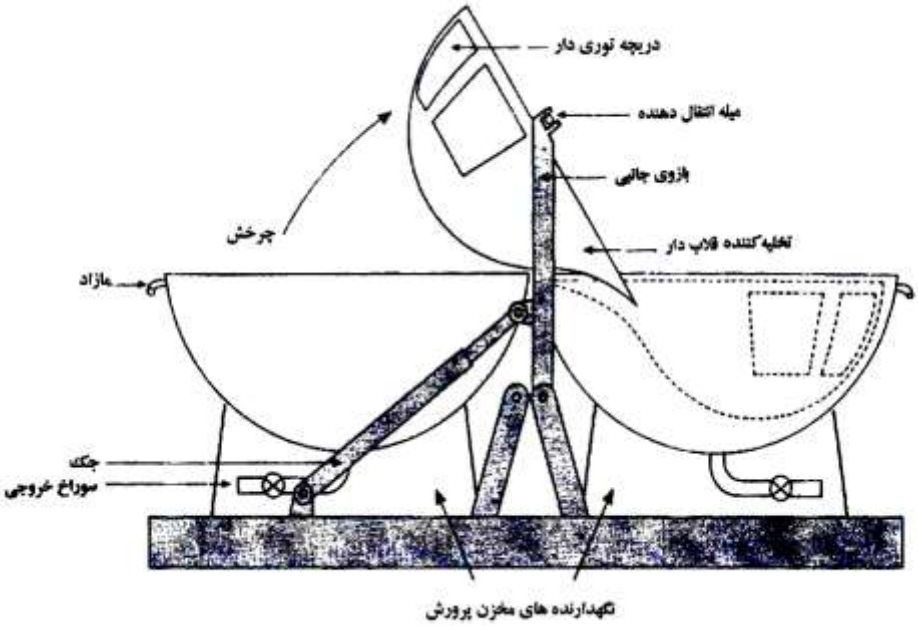
۲-۱٤ - ویژگی های غذای ساختنی در مرحله تغذیه لاروی

۱-۲-۱٤) اهداف و محدودیت ها

هدف، وادار نمودن لارو به گرفتن ذرات غذایی در کوتاهترین زمان ممکن است. هر چه حیوان جوان تر باشد، باید این زمان کوتاهتر شود. همچنین در شرایط پرورشی لازم است که شناسایی، گرفتن و خوردن ذرات فراهم گردد. محرک های بینایی و شیمیایی نیز با اهمیت‌اند زیرا میزان جذب غذای ساختنی را تحت تاثیر قرار می دهند. ذرات غذایی بایستی در اندازه مناسب تنظیم شده و پایداری آنها در آب بگونه‌ای باشد که در داخل روده تجزیه شوند اما در آب حل یا متلاشی نشوند.



شکل ۱-۱٤) نحوه تغییر رژیم غذایی در ۱- لاروها ۲- ماهیان جوان دریایی



شکل۲-۱٤) نحوه پرورش لارو کپور با مکانیسم انتقال اتوماتیک(Charlon, 1990)

بنظر می رسد که لاروها بیشتر از طریق بینایی محل ذرات غذایی را پیدا می کنند. در اغلب گونه‌ها از قبیل باس دریایی، کفشک ماهی پیش از مرحله دگردیسی، سوف رودخانه ای و اردک ماهی زرد، لارو از طریق نمایش حالت ویژه ای که شامل پیچاندن بدن خود به شکل S قبل از جهیدن به سمت طعمه است به طرف ذرات مورد علاقه خود حرکت می کند. دهان خیلی سریع باز شده که موجب مکیده شدن حجم قابل توجهی از آب که در برابر حیوان وجود دارد به داخل دهان وارد شده و طعمه به این طریق توسط حفره دهان از محیط دریافت می شود. لاروها می توانند طعمه را قورت داده یا بیرون بیندازند. شرایط نوری (از قبیل شدت، طول موج، موقعیت منابع روشنایی و مشخصات فیزیکی داخل مخازن) در گرفتن ذرات غذایی توسط لارو مهم می‌باشند. لاروها نسبت به تفاوت بین غذا و محیط حساسند. برای شبیه‌سازی برخی ذرات غذایی غذاها به صورت ناپلی آرتمیا، می توان با کاربرد کانتاگزانتین آنها را به رنگ قرمز تغییر رنگ داد.

جاذب ها بویژه اسیدهای‌آمینه اغلب به غذا افزوده می شوند. حضور این مواد با تراکم پایین در آب تحریک اشتهای لارو را بدنبال دارد. این مواد بخصوص هنگام استفاده از غذای نیمه خالص اهمیت می یابند. از آن جمله، گلایسین،آلانین،آرژنین و بتائین مصرف ذرات غذا توسط لارو شانک دریایی را افزایش می دهند. عوامل موثر بر پذیرش یا عدم پذیرش غذاهای وارد شده به دهان بخوبی شناخته نشده اند. استحکام(سختی یا سستی)، بافت سطحی(نرمی یا زبری) و مزه احتمالا در این رابطه موثرند. هرچند، گاهی اوقات وجود حباب های هوا یا سیست های آرتمیا در محیط پرورش نشان می دهد که بعضی مواقع خوراک خیلی دقیق انتخاب نشده است.

۲-۲-۱٤) مشخصات فیزیکی

اندازه ذرات غذا باید با اندازه دهان لارو متناسب بوده وهمراه با رشد لارو افزایش یابد. بطورکلی، اندازه غذاهای مصنوعی باید کوچکتر از اندازه غذای زنده ای(آرتمیا، براکیونوس) باشد که جایگزین آن شده‌اند. این ذرات غذایی کمتر از غذای زنده در دهان و مری لارو تغییر شکل می دهند علاوه براین، در آب متورم شده وبا توجه به این مسئله اندازه آنها به هنگام خوردن باید مد نظر قرار گیرد. ذرات باید خیلی خوب و در حد اندازه بهینه تنظیم شوند. ذرات غذایی خیلی بزرگ و توده های غذایی چسبناک، مورد مصرف قرار نمی گیرند و منشا آلودگی محیط زیست می باشند. ذرات خیلی کوچک خاک ناشی از غذاهای پودر شده توسط لارو خورده نشده و آلودگی را تشدید می کنند. این حالت همچنین در مورد ذرات غذایی خرد شده ای که در آب متلاشی می شوند صدق می کند. ویژگی این سه نوع غذا در جدول ۲-۱۴ ارائه شده است.

ذرات از نظر ترکیب باید تا حد امکان همگن باشند تا کیفیت غذای داده شده در هر وعده از نظر تغذیه‌ای متعادل شود. این موضوع از دشوارترین نکات در تغذیه لاروها، بخصوص زمانی می‌باشدکه خیلی کوچکند. ذرات اجزا سازنده غذای دستی باید کوچکتر از ذرات غذا باشد. تفکیک اجزای غنی از پروتئین یا چربی به ذرات مجزا موجب بروز تغییراتی در چگالی و متعاقب آن تفاوت در رفتار این ذرات در آب می شود. استفاده از یک جیره غذایی نا متعادل، تغذیه لاروهایی که فقط ذرات خاصی را می بلعند را با خطراتی مواجه می سازد.

جدول۲-۱٤) ترکیب برخی غذاها هنگام تغییر رژیم غذایی به تغذیه دستی

شروع مصرف (تعداد روز پس از هچ شدن)					
غذادهی مخلوط	خوراک به تنهایی	مقدار چربی (درصد ماده خشک)	مقدار پروتئین (درصد ماده خشک)	اندازه (میکرومتر)	
۱۰-۱۵	-	۲۰-۲۵	٦۰-٦۵	۵-۱۰۰	جایگزینی با روتیفر
۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۲۰-۲۵	٦۰-٦۵	۱۰۰-۲۰۰	جایگزینی با آرتمیا
-	۳۰-٤۰	۱۲-۱۵	۵۲-۵۵	۲۰۰-٤۰۰	غذای خرد شده

۳-۲-۱٤) روش های ساخت

ذرات غذایی بزرگتر از ۱۰ میکرون که در پرورش آزادماهیان نیز استفاده می شوند برای لاروهایی توزیع می شوند که وزن آنها بیش از ۳۰ تا ۱۰۰ میلی گرم باشد. این ذرات از طریق خرد کردن یا الک کردن پلت های درشت تر تولید شده توسط دستگاه پلت زن یا اکسترود، حاصل می شوند و با استفاده از ذرات معمولی تهیه می‌شوند که قبلا توسط یک الک ۱۵۰ میکرونی الک شده و احتمالا با جاذب ها غنی شده‌اند.

ذرات بین ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون که ذرات ریز نامیده می شوند و به کوچکترین لاروها اختصاص می یابند، به روش های ساخت ویژه ای نیاز دارند. ذرات معمولی بواسطه کیفیت غذایی و اندازه خود مناسب نیستند، زیرا این ذرات در ابعاد کوچک به اندازه کافی همگن نبوده و در آب دوام کافی ندارند. حداقل سه روش ساخت به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرد(شکل ۳-۱۴):

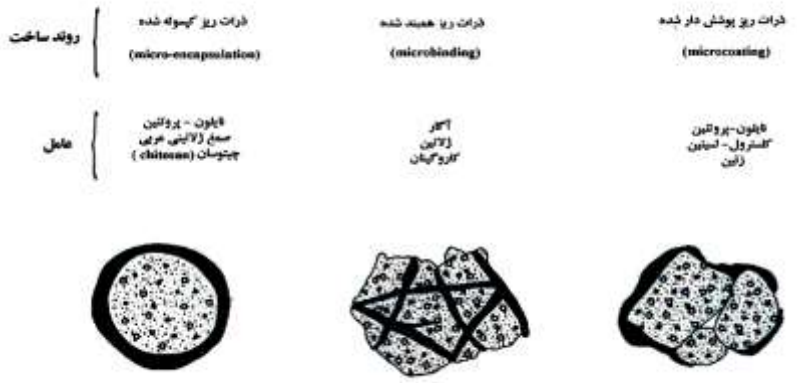
- **ذرات ریز همبند شده**[1]**:** اجزا سازنده، بصورت محلول یا به صورت ریز الک شده و در یک محیط آبدار با یک عامل همبند هیدرات‌کربنی (کاراگینان[2] و آلژینات[3]) یا پروتئینه (ژلاتین و زئین) مخلوط می شوند.

[1] Microbinding
[2] caragheenan
[3] Alginate

این عوامل مواد محلول را در خود نگه داشته و مواد غیر محلول را به یکدیگر می چسبانند. ماده حاصله خشک یا لیوفیلز شده، سپس خرد و الک می شود. این نوع ذرات معمولا براحتی جذب می شوند، ولی در آب دوام زیادی ندارند.

- **ذرات ریز پوشش دار شده**[1] : ذرات ریز درجه بندی شده با یک پوشش خارجی پوشیده میشوند. این پوشش ممکن است از طریق خیس کردن در یک محلول پروتئینی(کازئین و زئین) که سپس رسوب داده می شود یا از طریق گذراندن یک ماده چرب بر ذرات با استفاده از جریان هوای داغ، حاصل شود.

- **ذرات ریز کپسوله شده**[2] : این روش از نحوه عرضه داروها الهام گرفته و در اشکال بسیار متفاوتی وجود دارد. یک فاز مایع که عناصر غذایی محلول یا معلق در آن وجود دارد با یک فاز مایع امتزاج ناپذیر مخلوط می شود. یک لایه نازک غیر قابل حل بواسطه یک واکنش پلیمریزاسیون (برای مثال نایلون) یا بواسطه تفکیک دو فاز در حد فاصل آنها تشکیل می شود. ذرات حاصله معمولا پس از خشک شدن سطوح خیلی نرم و منظمی دارند. ضخامت و پیوستگی لایه نازک اطراف آنها بر مصرف آنها توسط لارو اثر می گذارد. پوشش ضخیم باعث می شود این ذرات در آب بصورت بادوام باقی بمانند، ولیکن گاهی غیر قابل هضم شوند.



شکل ۳-۱٤) ذرات ریز غذایی تولید شده با روش های مختلف جهت تغذیه لارو ماهیان

[1] Micro-coating
[2] Micro-enacapsulation

۳-۱٤ ترکیب ذرات غذایی

۱-۳-۱٤) نیازهای غذایی

نیاز غذایی لاروهای با وزن بدن کمتر از یک میلی گرم بطورکامل شناسایی نشده است. بر اساس ترکیب زرده، غذای زنده و لاشه لاروها، چنین فرض می شود که نیازهای پروتئینی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین ها در لاروها بالاتر از ماهیان جوان باشد. از سویی اثبات این فرضیه با استفاده از غذای زنده به علت عدم دسترسی راحت، دشوار است. مطالعات آزمایشگاهی موجود عمدتا نیازهای اسیدهای چرب ضروری n-۳ را مورد توجه قرار داده است (فصول۷ و۱۳) . این نیازها را می توان با انجام آزمایشهایی با افزودن سطوح متفاوتی از اسیدهای چرب چند غیر اشباع با زنجیره طولانی (HUFAs) سری n-۳ به غذای زنده مورد بررسی قرار داد که دچار کمبود این اسیدهای چرب است (براکیونوس پرورش یافته روی مخمر نان، آرتمیای آب شیرین با ترکیب اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع). نیازهای تعیین شده از این طریق و بر حسب ماده خشک غذا برای چندین گونه از ماهیان دریایی بالاتر(۱/۵ تا بیش از ۳ درصد) از نیاز ماهیان جوان (۰/۵ تا ۱ درصد) است.

در مورد لارو کپور با وزن ۱/۵ تا ۲ میلی گرم می توان تنها از جیره های نیمه خالص دارای منابع پروتئینی از قبیل کازئین، کازئینات سدیم و کازئین هیدرولیزات به عنوان اولین وعده استفاده نمود. این جیره های غذایی موجب رشد کمتر(رسیدن به وزن ۱۰۰ میلی گرم از ۲۱ روزگی به جای ۲۰۰ میلی گرم در صورت استفاده از جیره های غذایی ترکیبی)، ولی بازماندگی بیشتر (بیش از ۹۰ درصد) پس از سه هفته، میشوند. هنوز اصلاحاتی در جیره غذایی بخصوص در زمینه پروفیل اسیدهای‌آمینه مورد نیاز است که این امر در رابطه با لارو ماهیان دور از دسترس است، اما رویکردی در زمینه مطالعه نیازهای اسیدهای چرب ضروری و فسفولیپیدها ایجاد شده است.

لارو کپور ماهیان بر خلاف لارو ماهیان دریایی، نیاز کمی به اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ (کمتر از یک درصد وزن خشک غذا) دارند و نیازهای اسیدهای چرب ضروری سری n-۶ در آنها مشابه ماهیان جوان است(یک درصد وزن خشک بدن).

ظاهراً در تامین نیاز لارو کپورماهیان به فسفولیپیدهایی که با جیره غذایی حاوی ۲ درصد فسفولیپید میشود، فسفاتیدیل اینوزیتول نسبت به فسفاتیدیل کولین خالص نتایج بهتری در بازماندگی زمینه در پی داشته باشد. در این رابطه نحوه تامین نیتروژن نیز اهمیت دارد، مخلوطی از کازئین و کازئین هیدرولیزات از نتایج

بهتری در زمینه رشد و بازماندگی لارو نست به سایر اشکال آنها برخوردارند. مستقل از محتوای اسیدهای آمینه، معیارهایی نظیر حلالیت و درجه هیدرولیز پروتئین‌های جیره نیز باید هنگام تنظیم جیره غذایی مورد توجه قرار گیرند.

در مورد لاروهای چند میلی گرمی که قبلا با غذای زنده تغذیه شده اند، مطالعه نیازهای اختصاصی با استفاده از جیره های مصنوعی امکان پذیر است. نیازهای اسیدهای‌آمینه ضروری با پروفیل اسیدهای‌آمینه موجود در بدن برابرند (فصل۶). همچنین استفاده از غذای دستی پس از تغییر رژیم غذایی، امکان تشخیص نیازهای فسفولیپیدها را فراهم کرده است. در حال حاضراین نیاز تنها نیاز کمّی شناخته شده است که بین لارو و ماهیان جوان متفاوت است. ماهیان جوان دارای توانایی کافی برای سنتز فسفولیپیدها هستند، درحالیکه ظاهراً این توانایی در لاروها ضعیف است. اثر فسفولیپیدها بر بقا و رشد به معنی نیازی مطلق به کولین یا اینوزیتول و اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ یا n-۶ نیست. چنین بنظر می رسد که رفع این نیازها با ۲ تا ۳ درصد فسفولیپیدهای خالص همراه با فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اینوزیتول موثرتر از فسفاتیدیل اتانول آمین خواهد بود.

۲-۳-۱٤) رفع نیازها و انتخاب اجزای اصلی

در حال حاضر در مورد لاروهایی که از زمان تفریخ هنوز قادر به تغذیه با غذا های دستی نیستند، دانستن این نکته که آیا عوامل محدود کننده مقدار غذای خورده شده ناشی از قابلیت هضم غذا، اثرات کمبود مواد غذایی یا نبود تعادل بین اجزای غذایی است، کار دشواری است. هنگام تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای غیر زنده، چنانچه این تغییر بصورت زودهنگام صورت بگیرد، تلاش می شود تا به منظور جلوگیری از محدودیت های احتمالی از مواد خام گوناگون استفاده شود. از فرآورده های حیوانی خاصی نظیر آرد میگو، اسکوئید یا کبد گاو در غذای لارو مورد استفاده قرار می گیرد که بندرت در تغذیه ماهیان بزرگتر بکارمی رود (ضمیمه C ، جدول C.13). از تخمدان های ماهی که غنی از فسفولیپیدها و اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ هستند نیز استفاده می شود. اغلب به منظور حفظ بهتر کیفیت اولیه، این فراورده ها لئوفیلزه می شوند. همانطور که در بالا اشاره شد، این مواد پیش از اضافه شدن به ذرات ریز باید کاملا خرد شوند. مواد خام ارزان تر نظیر پروتئین های تک سلولی (پودرهای مخمر یا باکتریهای

رشد یافته در محیط کشت های مختلف) و فرآوردهای هیدرولیزات ماهی نیز مورد استفاده قرار می گیرند(جدول C.1).

غذای لاروها همچنین حاوی رنگدانه ها(کانتاگزانتین)، جاذب ها (اسیدهای آمینه) و آنتی اکسیدان ها (بویژه ویتامین E وC که در مقادیر بالا اضافه می شوند تا ذرات ریزی که نسبت سطح به حجم بالایی در مقابل فعالیت اکسیژن هوا دارند طی مدت ذخیره سازی محافظت کنند) است. افزودنی های مختلف دیگری شامل آنزیم های پانکراس پستانداران مورد بررسی قرار گرفته، ولی اثرات قابل توجهی بر نتایج پرورش نداشته است.

٤-١٤- خلاصه

استفاده از غذای دستی در هچری ها اهمیت روزافزونی در پی خواهند داشت. با افزایش آگاهی پیرامون فیزیولوژی دستگاه گوارش لارو و بهبود روش های ساخت ذرات ریز می توان سازگاری بهتر غذای داده شده با ویژگی های گوارشی و متابولیک لارو را فراهم نمود. استفاده از غذاهای مناسب تر در تغذیه لاروها می توانند مصرف غذای زنده را کاهش داده یا حتی با حذف تدریجی غذای زنده زودتر جایگزین آن شوند. این بهبود به احتمال زیاد مستلزم اصلاح تاسیسات هچری با در نظر گرفتن محدودیتهای منحصر به غذاهای دستی خواهد بود.

((فصل ۱۵))

فیزیولوژی هضم میگوها

طی قرون گذشته توصیفات آناتومیک زیادی پیرامون دستگاه گوارش سخت پوستان انتشار یافته که در این مطالعات به پیچیدگی عملکرد ارگان‌های تخصصی مرتبط با فرآیند هضم گونه‌های سخت پوستان کمتر پرداخته شده است. بعلاوه، این دسته از جانوران جز در موارد اندک نظیر بزرگی و تنوع زیر شاخه های سخت پوستان، مورد ملاحظه قرار نگرفته اند. مطالعات اولیه در زمینه فیزیولوژی گوارش سخت‌پوستان، پایه واساس شناخت و درک امروزی را تشکیل می‌دهند. با این وجود، تا سال های اخیر دسترسی به این مطالعات به صورت جهانی امکان پذیر نبود. با وجودیکه تحقیقات پیرامون نیازهای تغذیه‌ای سخت‌پوستان از طریق مطالعه و بررسی گونه های اقتصادی بخصوص میگوهای پنئیده در چند دهه اخیر افزایش یافته است، اما تحقیقات پایه ای انجام نگرفته و فیزیولوژی مقایسه ای همچنان به عنوان خط مشی اصلی بیولوژیست ها و جانورشناسان مدنظر است. در آبزی پروری این بررسی ها تنها به پاره ای از مطالعات در زمینه آنزیم شناسی و فیزیولوژی هضم محدود شده است. در این فصل، اصطلاح میگو (shrimp) شامل تمام سخت پوستان دکاپود خواهد بود که معمولا با عنوان shrimp یا prawn معرفی میشوند. این فصل به دکاپودها اختصاص یافته و بر میگوی خانواده پنئیده تاکید دارد. سخت پوستان پست‌تر شامل آبشش پایان، به رغم اهمیت قابل ملاحظه آرتمیا سالینا در آبزی پروری (فصل۱۳)، در این فصل مورد توجه قرار نمی گیرند.

در اکثر مطالعات جنبه های آناتومی و فیزیولوژی مخالف یکدیگرند. در مقایسه با حیوانات عالی لازم است تا متخصصان میگو، میگوی بزرگ آب شیرین و خرچنگ آب شیرین خصوصیات منحصر بفرد سخت پوستان را به منظور امکان شناخت بهتر مکانیسم های اصلی تغذیه مورد توجه قرار دهند. این خصوصیات به شرح ذیل می‌باشند:

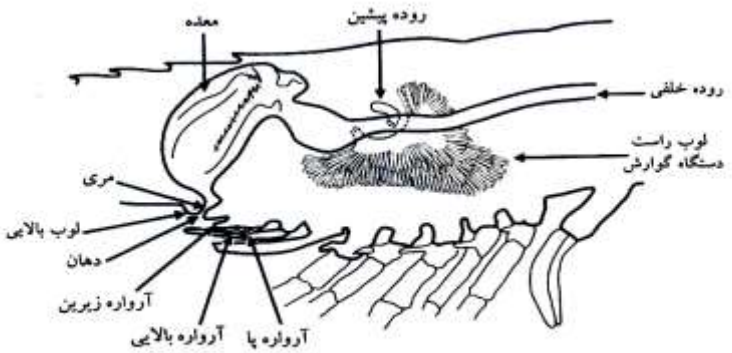
- انجام پوست اندازی که امکان مصرف مجدد مواد غذایی ذخیره شده را فراهم می کند.
- وجود دوره های گرسنگی فیزیولوژیک طی پوست اندازی
- ساخت مجدد دیواره های داخلی دستگاه گوارش
- آناتومی منحصربفرد اعضاء مخصوص جویدن و جذب
- مکانیسم های خاص هضم و جذب
- وجود آنزیم های منحصربفرد در طول دستگاه گوارش که بسیار مشابه آنزیم هایی است که در مهره داران وجود دارند.
- دخالت غدد گوارشی در کارکردهای مختلف بخصوص در ذخیره مواد غذایی

۱- ۱۵ - آناتومی و بافت شناسی دستگاه گوارش

این دستگاه (شکل ۱-۱۵) به ۵ بخش: دهان، مری، معده، هپاتوپانکراس، روده میانی و روده انتهایی قابل تقسیم است. با وجود آنکه این دسته بندی کاملا مورد تایید است، اما نامگذاری بخش های مختلف با توجه به آنچه در مورد مهره داران عالی وجود دارد کمتر مورد قبول واقع شده و گاهی منجر به ایجاد ابهاماتی می شود. معده در سخت پوستان هیچ شباهتی به معده مهره داران ندارد و غدد گوارشی، غدد روده میانی یا هپاتوپانکراسکه نه کبد است و نه پانکراس، مشابه و معادل اندام های برخی ماهیان نیستند که کبد آنها توسط بافت غده ای پانکراتیک نفوذپذیر شده‌اند.

۱-۱-۱۵) دهان

نظیر سایر آرتروپودها، دهان با چند جفت ضمائم احاطه شده که برای دریافت مواد شیمیایی، صید و فریب طعمه تخصص یافته اند. این ضمائم شامل آرواره بالایی، ماکسیلال، آرواره های پایینی و آرواره پاها بوده و این امکان را برای حیوان فراهم می کنند تا غذا را به دهان نزدیکتر نموده و خرده های غذایی را جمع آوری کند.



شکل ۱-۱۵) نمایی از معده و روده میانی میگوی پنئیده (Ceccaldi, 1994)

بخصوص در دکاپودها، آرواره پاها برای جور کردن و جدا نمودن ذرات غذایی مناسب برای حفره دهانی و در نهایت هضم آنها بکار می روند. دهان خود نیز دیواره سختی داشته و دارای عملکردی بارز است. شایان ذکر است که لاروهای جوان برای شنای اولیه از آنتن ها، آنتنول و آرواره زیرین استفاده میکنند.

۲-۱-۱۵) مری

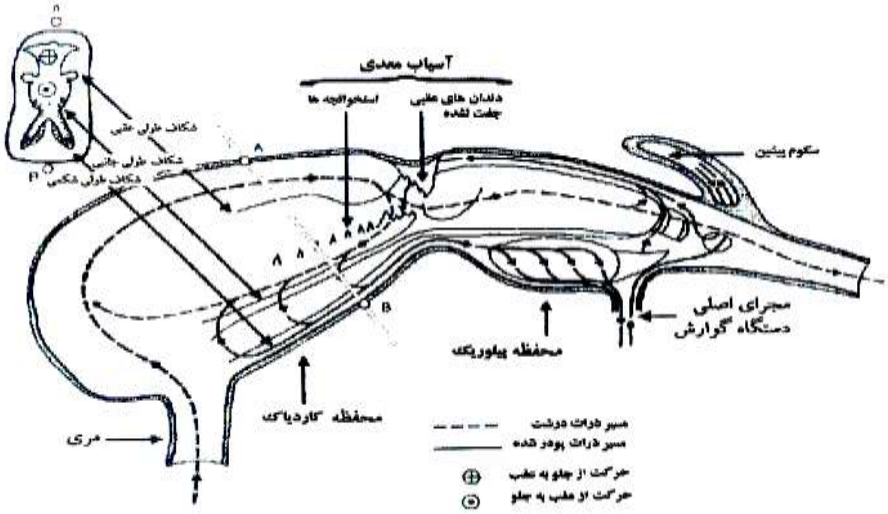
همانند سایر حیوانات، مری بخشی از محیط خارجی دستگاه گوارش است و دیواره های آن اپیدرم یکدستی را تشکیل می دهند. این بخش در سخت پوستان بسیار قابل توجه است زیرا دیواره های بخش جلویی و عقبی دستگاه گوارش توسط لایه نازک کیتینی به عنوان جزء سازنده اسکلت خارجی، پوشیده می شود. این پوسته در هر پوست اندازی تعویض می شود. بنابراین چنین بنظر می رسد که مری مجرایی با دیواره های ساخته شده از ترکیبات پروتئین- کیتین، انعطاف پذیر و نرم باشد. در گونه های مهم در آبزی پروری مری نسبتا کوتاه و صاف است. برش عرضی آن X شکل بوده و امواج انقباضی که در طول آن بوجود می آیند کاملا شبیه مری مهره‌داران، هرچند ساده تر از آن می باشد.

۳-۱-۱۵) معده

در مفهوم گسترده معده در سخت پوستان نظیر مری بخشی از روده پیشین را تشکیل می دهد (شکل۲-۱۵) که ساختار خارجی آن نسبتا ساده و انعطاف ناپذیر است. طی رشد لاروی، ساختارهای سخت (ریشک ها، تیغه ها و خارها) روی دیواره داخلی معده بوجود آمده که شیوه کار آنها مشابه دندان در مهره داران می باشد. توسعه این ساختارها آسیاب معدی را بوجود می آورند. در دکاپودها، معده توسط یک عضله با یک دریچه به دو قسمت تقسیم شده است. میزان پیچیدگی آن در گروههای مختلف متفاوت است. به علت گسترش کاربرد اصطلاحات مربوط به مهره داران عالی، این دو بخش با عناوین محفظه کاردیاک و محفظه پیلوریک شناخته می شوند. برش عرضی محفظه کاردیاک نیز نظیر مری به علت وجود چین خوردگی هایی به شکل شیارهای طولی و نیز ضخیم شدگی دیواره ها، X شکل است. بخش قدامی این محفظه دارای یک لبه با یک ردیف برجستگی های نقطه‌ای سخت به نام استخوانچه ها یا دندان های بزرگ است(شکل ۲-۱۵).

این ساختارهای آهکی و مفصلی توسط تعدادی از ماهیچه های موجود در دیواره خارجی معده حرکت می کنند. تعداد و پیچیدگی این ساختارها از خصوصیات گونه ها بوده و تعداد آنها در پنئیدها ۱۱ عدد است.

مطالعات فیزیولوژیک اعصاب، توزیع پیچیده ای از یک ساختار عصبی داخلی(شش گروه از اعصاب مختلف) را اثبات نموده اند که امکان حرکت قسمت های مختلف آسیاب معدی، انقباضات دریچه کاردیو- پیلوریک و همچنین استحکام بخش اصلی معده پیلوریک را فراهم می کنند. گیرنده های شیمیایی و مکانیکی نیز در این فرآیندها نقش خود را ایفا می کنند. تمامی این بخش ها به همراه عضلات تخصصی شده، آسیاب معدی را به عنوان یک عضو خرد کننده بوجود می‌آورند که دارای یک دندان عقبی منفرد قوی نیز می باشد. در هر بار پوست اندازی دندان ها و استخوانچه ها، اسکلت خارجی، دیواره‌های مری و روده خلفی نیز می افتند. پیچیدگی آسیاب معدی در بین خانواده ها متغیر بوده و چنین بنظر می رسد که با پیچیدگی آرواره ها رابطه عکس دارد. هرچه این اعضا غذا را بیشتر خرد کنند، علاوه بر ساده تر شدن صید طعمه و جابجایی آن، آسیاب معدی نیز ساده تر می شود.



شکل ۲-۱۵) نمایی از مسیرهای احتمالی گردش ذرات غذایی و مایعات داخل معده (Dall and Moriarity, 1983) شکل گوشه چپ بالا، برش عرضی عضو از نقطه A تا B می باشد.

عکس این حالت نیز وجود دارد. این عضو بنحوی در براکیوریدها (خرچنگ ها) بطور متوسط در پنثیده‌ها و به میزان اندک در کاریدها شامل میگوی آب شیرین معمولی و میگوی بزرگ آب شیرین[1] توسعه یافته است.

ساختارهای آهکی در داخل محفظه پیلوریک گسترش می‌یابند که ابتدای روده میانی[2]را بوجود می آورد. ساختارهای سخت همچنین به شکل دندان های شانه ای و ریشک هایی موجودند که گاهی اوقات بسیار پیچیده و غده ای هستند. خود کیسه شامل چین های بهم فشرده و نازکی است. چین خوردگی ها، سبیل‌ها و تیغ ها صرفا امکان عبور ذرات غذایی بسیار ریز غذایی را فراهم می‌کنند. به عبارت دیگر، خرد کردن مواد غذایی توسط دندان ها، فشرده شدن آنها توسط حرکات معده و فیلتر کردن آنها از طریق شانه ها صورت می گیرد. معده پیلوریک این ذرات را فشرده، جدا و تصفیه می کند.

---

[1] *Macrobrachium*
[2] mescuteron

به این ترتیب، ذرات بسیار ریز غذایی از یک فیلتر شکمی عقبی به نام « صافی- فشرده کننده » عبور میکنند. ذرات مستقیما به هپاتوپانکراس به عنوان یک عضو جذب کننده هدایت می شوند. ازینرو، برخی جانورشناسان سخت پوستان را به عنوان فیلترکننده‌های غذا و تحت عنوان هایی مشابه سایر بی مهرگان نظیر دوکفه‌ای ها در نظر می گیرند. در صورتیکه عمل جویدن و فیلتر کردن توسط آرواره ها انجام شود، بخش وسیعی از غذا از طریق حل شدن در محیط اطراف از دست می رود.

مسیر عبور ذرات غذایی به بخش جلویی معده بسیار پیچیده بوده و سلسله مراتب آن ساده نیست. این مراحل شامل خرد کردن، فشرده سازی و فیلتر کردن می باشد. به رغم دشواری های موجود، مطالعات بسیار دقیق قادرند تا بخشی از مسیر ذرات غذایی را تشریح نمایند. مسیرهایی که بیشترین احتمال در مورد آنها وجود دارد، در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است. غذا در شیار بالایی مری با حرکت جلو به عقب حرکت کرده تا به آسیاب معدی برسد. پس از خرد شدن و مخلوط شدن اولیه با آنزیم های گوارشی، کیموس به بخش جلویی باز می گردد، اما در جریان این جابجایی ذرات خرد شده وارد مجرای شکمی می شوند تا مسیر فیلتراسیون و فشرده سازی کامل شود. ذرات خردشده که صرفا شامل ذرات میکرومتری می شوند از این مسیر عبور کرده و به ترشحات غدد ترشحی یا هپاتوپانکراس در محفظه پیلوریک می‌رسند و در آنجا، ذرات هضم شده و از طریق حفره داخلی لوله ها جذب می شوند. ذراتی که به اندازه کافی خرد شده اند، به جای قرار گرفتن در این مسیر وارد چرخه دیگری می شوند بنحویکه به بخش جلویی محفظه کاردیاک وارد شده، سپس به سمت عقب در جهت رسیدن مجدد به آسیاب معدی حرکت می کنند. تکرار این روند هنگام خرد شدن کامل غذا ادامه می یابد، اما ذراتی که خیلی سفت و سخت یا غیر قابل‌هضم هستند در نهایت به محفظه پیلوریک وارد می شوند ولی از فیلترها عبور نمی کنند و وارد روده میانی می شوند. این مواد فضولات را تشکیل می دهند.

از خصوصیات منحصر بفرد دیگر معده سخت پوستان، وجود یک ساختار داخلی عصبی نیمه‌مختار، یک ساختار عضلانی بیرونی و یک پوشش مخصوص است. در اکثر گونه ها pH معده خنثی یا کمی قلیایی است که با توجه به pH آب شور دریا که ۸/۳ است، غیر قابل انتظار نمی باشد. این عضو حاوی هیچ نوع غده یا سلولی ترشح کننده اسید یا آنزیم، نیست. اما pH های اندک اسیدی درمعده صدف خوراکی قابل مشاهده است. به رغم این موضوع، معده سخت‌پوستان با تعاریف معمولی فیزیولوژیست ها از معده مهره‌داران، همخوانی ندارد.

٤-١-١٥) غدد گوارشی

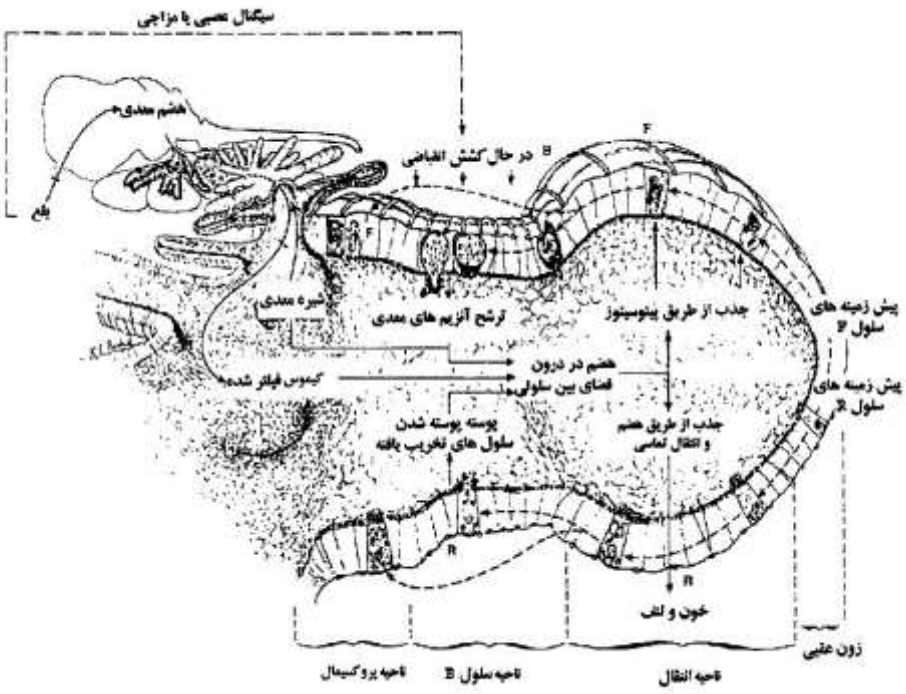
هپاتوپانکراس یک عضو غیرفعال و منفعل است که از دو لوب متقارن تشکیل شده است. این عضو در بخش عقبی بدن و زیر قلب قرار دارد. هپاتوپانکراس ۲ تا ۶ درصد وزن بدن را تشکیل می دهد و در انواع بزرگ، از صدها لوله با انتهای بسته تشکیل یافته که به داخل دو محفظه متقارن باز می شود که این دو محفظه به محفظه پیلوریک معده راه دارند. هر لوله حاوی یک شبکه دوتایی از ماهیچه های طولی و مدور است که امکان حرکات دودی شکل و انقباضی را ایجاد می کنند و از این طریق زمینه را برای حرکت فازهای مایع در داخل لوله ها فراهم می سازند.

در لارو هپاتوپانکراس به شکل دیورتیکول[1] (کیسه ته بسته) متمایز شده که از قسمت جانبی معده ابتدایی بوجود آمده و به شکل یک کیسه ساده می باشد. در جریان رشد و توسعه لاروی، این لوله‌ها دراز و چندین برابر می شوند. بافت پیوندی کل این ساختار را احاطه کرده و یک شبکه از ماهیچه های رشته ای غده ای شکل متمایز را ایجاد می کنند. ساختار اصلی لوله ها بندرت از تشکیلات ابتدایی متفاوت است و غده به عنوان مجموعه ای از لوله هایی با انتهای بسته است که در قسمت میان روده با یکدیگر تلاقی پیدا می کنند و از طریق یک کیسه جمع آوری با هم ارتباط دارند(شکل ۳-۱۵).

داخل لوله ها نظیر داخل بافت غده ای غدد ترشحی یا در پرز روده مهره داران، یک منطقه خلفی قابل تشخیص وجود دارد که از سلول های جنینی متمایز شده است. پس از آن مناطقی با کارکرد ترشحی و جذبی و در آخر در نزدیکی لوله ها منطقه ای وجود دارد که سلول ها در آن تجزیه شده و به فضای بین سلولی دستگاه گوارش برگشت داده می شوند. نامگذاری، طبقه بندی و کارکرد سلول های سازنده لوله‌ها هنوز به صورت یکپارچه مورد پذیرش قرار نگرفته است. با این وجود، در رابطه با تفاسیر ارائه شده در این بخش، اتفاق نظر وجود دارد.

سلول های E (جنینی) ناحیه های اختصاصی، در سه دسته عمده شامل سلول های F (رشته ای)، سلولهای B که ترشح کننده‌اند (سلول های موجود در برجستگی ها) و سلول های R (سلول های ذخیره ای) طبقه‌بندی می شوند. سایر سلول ها بویژه سلول های نوع M (سلول های کوتوله) در لوله ها تشریح شده‌اند.

[1] Diverticuli



شکل ۳-۱۵) نمایی از برش عرضی لوله های دستگاه گوارش(Dall and Moriarity, 1983)

مطابق با جدید ترین نظریه پذیرفته شده، ممکن است تنها دو نوع خانواده سلولی از ناحیه تکثیر بوجود آمده باشند که شامل سلول های F و B و نوع دیگر سلول های M و R هستند. سلول های F می توانند حدواسط بین سلولهای B و E و سلولهای M حدواسط بین سلول های E و R باشند . بنظر می رسد سلول‌های F ترشح کننده آنزیم اند. در مرحله بعد، سلول های جوان نوع B بوجود می آیند که این سلول‌ها محل اندوسیتوز می باشند. این سلول ها پس از بلوغ توسط یک واکوئل بیضوی بسیار بزرگ مرکزی که بیشتر فضای سلولی را اشغال کرده، تشخیص داده می شوند. سپس این سلول ها شکسته شده و محتوای آنها در فضای بین سلولی پخش می شود. بنابراین، سلول های B ترشح کننده می باشند.

سلول‌های R حاوی مقدار معینی از لیپیدها، گلیکوژن، کلسیم، روی و مس بوده و از اینرو نقش ویژه ای در ذخیره مواد غذایی با منشأ غذایی یا حاصل از تخریب بافت های سلولی در جریان چرخه های بیولوژیک قبل از پوست اندازی دارند. چنین بنظر می رسد که این سلول ها نظیر پیش سازهای سلول های M، از قابلیت جذب بالایی برخوردار باشند. انرژی متابولیسم سخت پوستان به جای متکی بودن بر چرخه گلیکوژنیک بیشتر بر مصرف لیپیدها استوار است.

حرکات ذرات در قسمت جلویی هر لوله از طریق انقباض و استراحت عضو فراهم می شود. این مکانیسم‌ها هنوز کاملاً در میگو شناخته نشده اند، چون بخشی از مایعات موجود در لوله ها داخل معده تخلیه شده تا امکان شروع هضم آنزیمی را فراهم کند، در حالیکه اغلب به طور همزمان، کیموس آماده شده برای هضم به منظور هضم آنزیمی به داخل لوله ها تخلیه و سپس با جذب مواد حاصل از هضم بیوشیمیایی ادامه می یابد. بررسی های اخیر در مورد لاروها نشان دهنده عبور سریع ذرات غذایی از تعدادی از لوله ها در طی گوارش می باشد که به سبب عملکرد دریچه های موجود در کنار منطقه فیلتر-پرس به شکلی موثر به سمت لوله هایی در جهت مخالف رانده می‌شوند.

۵-۱-۱۵) روده میانی

این بخش دستگاه گوارش از پیلوروس تا رکتوم بصورت خطی گسترش می یابد. هر چند منطقه سطحی آن به علت وجود کیسه بسیار بزرگ یا دیورتیکولی افزایش یافته و راس آن با میکروپرزهای انبوهی پوشیده می شود ولی با روده مهره داران با چین خوردگی ها و پرزهایش، قابل مقایسه نمی باشد. سلولهای عصبی، هموسیت ها و احتمالا سلول های غدد درون ریز در اپیتلیوم قابل تشخیص هستند. از ویژگیهای قابل توجه اپیتیلیوم در این منطقه در مرحله اول قابلیت ترشح موکوس است که مواد زائد جامد حاصله از معده را احاطه و سپس از طریق یک ساختار حلقوی با جداره ای از جنس کیتین، توده استوانه‌ای از فضولات را بوجود آورده و غشای پریتروفیک مواد دفعی را تشکیل می دهد. این غشای تراوا گرچه مانع از جذب مواد غذایی باقی مانده از مواد دفعی نمی شود اما نقش آن هنوز مشخص نشده و ممکن است مشابه عملکرد گلیکوکالیکس در مهره داران باشد.

٦-۱-۱۵) روده خلفی

این بخش دستگاه گوارش کوتاه، کشیده و مستقیم است و احتمالا نقش رکتوم را ایفا می کند. با این وجود، سلول های قشر سطحی آن حاوی تعداد زیادی میتوکندری هستند که تعداد آنها برابر با بخش خلفی روده ماهی می باشد و گمان می رود که در تنظیم یونی نقش داشته باشند. وجود بافت ماهیچه ای در آن حاکی از این مطلب است که دکاپودها نظیر ایزوپودهای خشک زی قادر به نوشیدن آب از طریق مخرج می باشند.

۲-۱۵ - عملکرد دستگاه گوارش

۱-۲-۱۵) عادات تغذیه ای و گیرنده های شیمیایی

آناتومی ضمائم دهانی و دهان، تنوع تغذیه ای را بوجود می آورند. سخت پوستان دکاپود جوندگانی هستند که صرفا تحت شرایط استثنایی قادرند طعمه خود را به طور کامل ببلعند. برای مثال، هنگامی که طعمه آنها به شکل کپسول های بسیار ریز حاوی غذا باشد، بلع کامل طعمه برای آنها امکان پذیراست. در سایر موارد، زمان لازم برای جویدن طعمه های سخت با قطعات بزرگ طولانی ترین زمان است اگرچه طعمه از طریق ضمائم پیش دهانی بلعیده شود یا هضم آن از طریق معده به اتمام برسد، این مرحله مکانیکی کسب غذا برای هضم موثر غذا لازم است.

روشی که سخت پوستان برای جذب طعمه و بلع آن استفاده می کنند تا حدودی به گیرنده های شیمیایی موجود در ضمائم بستگی دارد. ماهیت شیمیایی موادی که نقش جاذب ها، تحریک‌کننده‌های بلع[1] یا برعکس نقش رانشی یا دفعی را ایفا می کنند جز در موارد بسیار جزئی (مشخص شده که اسیدهای‌آمینه ، چند باز آلی، نوکلئوتیدها و نوکلئوزیدها همانند هگزوزها همگی یک نقش را ایفا می‌کنند)، هنوز شناخته نشده است. مکانیسم تغذیه سخت پوستان گوشتخوار، دیتریت خوار و همه‌چیزخوار قطعا تفاوت های زیادی با یکدیگر دارند، هر چند این شکل معمول طبقه بندی بسیار مبهم است.

[1] phagostimulants

۲-۲-۱۵) انتقال هضم

مراحل مختلف انتقال هضم با توصیفات آناتومیک بخش های مختلف دستگاه گوارش بیان می شوند. چهار مرحله مهم شامل جویدن مکرر ذرات ریز تا خرد شدن کامل، فیلتر کردن کیموس، حرکت جلو و عقب در لوله های غدد هضمی و در نهایت پوشاندن فضولات توسط غشا پریتروفیک می باشد.

بررسی های کیفی اندکی در رابطه با زمان های هضم انجام شده و هنوز این امکان وجود ندارد که بتوان قوانین ثابت تعیین شده برای ماهیان را در مورد سخت پوستان نیز اعمال کرد. با این وجود، واضح است که کل زمان هضم به شکل قابل توجهی سریع صورت گیرد. در میگوهای پنئیده حاره ای ۲۰ گرمی در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، دفع مدفوع در حدود ۹۰ دقیقه پس از جذب غذا از محیط شروع و در حدود ۴ ساعت بعد از بلع متوقف می شود. تنظیم هضم نیز بصورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته است. احتمال وجود پپتیدهایی با فعالیت هورمونی مشابه آنچه که در دستگاه گوارش مهره داران مشاهده می شود، وجود دارد اما هنوز به اثبات نرسیده است.

۳-۲-۱۵) جذب و هضم

در سخت پوستان تفکیک هضم آنزیمی مثل هیدرولیز ذرات بزرگ غذایی از فرآیند جذب (انتقال مواد غذایی در طول دیواره های دستگاه گوارش) بسیار دشوار است چون بخشی از هضم صرفاً در فضای داخلی روده انجام می شود. شایان ذکر است که کل فرآیند هضم، آنزیمی است بطوریکه هیچ نوع اسیدی به منظور هضم شیمیایی پروتئین ها، پپتیدها یا هیدراتهای کربن ناپایدار ترشح نمی شود.

٤-۲-۱۵) آنزیم های گوارشی

به رغم تحقیقات انجام شده و استفاده از تکنیک های پیشرفته، فهرست جامعی از آنزیم های گوارشی سخت پوستان حتی برای یک گونه ارائه نشده است. بنابراین در این قسمت به صورت کلی به این مطلب اشاره می شود.

در مطالعات گذشته، نحوه ترشح آنزیم در سخت پوستان بسیار متفاوت از مهره داران در نظر گرفته شده که در هیچ یک از آنها آنزیم ها به صورت زیموژن ترشح نمی شوند(فصل ۴). با این وجود، اخیرا وجود زیموژن ها بصورت واضح اثبات گردیده، هرچند نحوه فعال شدن آنها هنوز ناشناخته است.

احتمالاً معادلی از آنزیم های وابسته به غشاء در روده مهره داران (که ذرات ماکرومولکول ها را هیدرولیز می کنند) در سخت پوستان بویژه در سلولهای R وجود دارند. اما حتی زمانیکه عملکردهای مختلفی از این نوع آنزیم ها بروز می کند، بسختی شناسایی می شوند. نقش آنزیم های لیزوزومی در سخت پوستان که در جریان گوارش درون سلولی فعالیت می کنند قطعا بیشتر از حیوانات عالی می باشد اما تشخیص آنها از آنزیم های حاصل از تجزیه سلول های B دشوار است. عمده ترین آنزیم های شناخته شده در جدول ۱-۱۵ ارائه شده است. این آنزیم ها شبیه آنزیم های گوارشی ماهیان فاقد معده هستند.

در میان پروتئازها که همواره ظهور و بروز خوبی دارند، پپسین هرگز وجود ندارد. در مقابل، تریپسین به میزان زیادی سنتز شده و تا ۱/۳ پروتئین های قابل حل در دستگاه گوارش می رسد. مقادیر مولار با توجه به گونه فرق می کند (از ۲۵ تا ۳۶ گلیکودالتون) و خصوصیات عملکردی آن مشابه تریپسین مهره داران نیست. تریپسین سخت پوستان بر پروتئین های تغییر ماهیت نیافته نسبت به مولکول هائی که ماهیت آنها تغییر یافته، فعال تر می باشد. برخی از محققان حتی به وجود تریپسین کاذب یا آنزیم های مرتبط با تریپسین اشاره می کنند، هر چند تریپسین میگوی هندی به میزان ۵۰ درصد مشابه تریپسین گاوی است. این آنزیم عمده ترین پروتئازی است که در سخت‌پوستان یافت شده است. فعالیت کموتریپسین کمتر از حد واقعی آن برآورد شده چون اندازه گیری آن در یک ماده زمینه ای نامناسب صورت گرفته است. امروزه مشخص شده که این آنزیم به میزان زیادی در پنئیده ها وجود دارد. برخی از آنزیم های تجزیه‌کننده کلاژن ها در حقیقت کموتریپسین‌ها هستند. آستاسین آنزیم بسیار متفاوت دیگری است که در تعداد زیادی از سخت پوستان مشاهده شده در حالیکه هنوز در مهره داران ناشناخته است. این آنزیم متالو- پروتئاز بوده و سرین- پروتئاز نمی باشد و طیف آن بسیار گسترده است.

فعالیت اندوپروتئازها توسط فعالیت گروهی از اگزوپپتیدازها کامل می شود که بسیار شبیه به آنزیم های موجود در مهره داران شامل کربوکسی پپتیدازهای A و B، آمینوپپتیدازها و دی‌پپتیدازها می باشند. در لابستر، فعالیت اصلی آنزیم های تجزیه کننده پروتئین بواسطه کاتپسین‌ها و آنزیم های لیزوزومی است که از طریق تجزیه سلول های غدد گوارشی ترشح می‌شوند.

جدول ۱-۱۵) آنزیم های اصلی گوارشی سخت پوستان دکاپود

تفسیر	آنزیم	طبقه
فعالیت بسیار بالا	تریپسین	اندوپروتئازها
فعالیت بالا، طیف گسترده	کیموتریپسین	
طیف بسیار گسترده	آستاسین*	
	کربوکسی پپتیدازهای A وB	اگزوپروتئازها یا اگزوپپتیدازها
	آمینوپپیدازها، دی پپتیداز	
شناخت بسیار اندک	آمیلاز	گلوسیدازها
عدم قطعیت در مورد حضور اما محتمل	کیتیناز	
	لامینارینـاز	
	سلولاز	
	سایر گلوکورونیدازها	
محتمل	مالتاز	گلوکوسیدازها
محتمل	کیتوبیاز	
محتمل	لامیناریبیاز	
	سلوبیاز	
	ساکاراز	
	مانوسیداز	
بیشتر غیره ویژه	سایر گلوکوسیداز	
شناخت بسیار اندک	لیپاز (؟)	لیپازها
فراوان	استرازها	
	ریبونوکلئاز	مختلف
	دی اکسی ریبونوکلئاز	
	فسفاتاز	

* برای سالها این آنزیم، پروتئاز با وزن مولکولی پایین نامیده می شد، چون اشتباهاً وزن ملکولی آن Kd ۱۱ تصور می شد. نام آستاسین احتمالا قطعی نیست.

چهار دسته گلوکوکسیدازها وجود دارد: آمیلاز (آلفا۱ ← ۴گلوکاناز)، کیتیناز (بتا۱ ←۴ N استیل گلوکاناز)، لامینارینازها (بتا ۱← ۳ گلوکاناز) و سلولاز (بتا ۱ ← ۴ گلوکاناز). بنظر می‌رسد دو دسته اول همواره وجود دارند اما فعالیت کیتیناز کمتر است. هضم جزئی کیتین صرفا در میگوهایی وجود دارد که پوسته های حاصل از پوست اندازی سخت پوستان دارای آشیان اکولوژیک مشابه آنها یا قطعات پوششی سایر سخت پوستان زنده یا مرده را می بلعند. همچنین لامینارینازها که لامینارین جلبک و تعدادی از ارگانیسم های آبزی را هیدرولیز می کنند به اندازه کمی شناخته شده اند(آنزیم های مختلفی ممکن است با این نام اشتباه شوند)، اما اغلب بیش از سلولازها که فعالیت آنها صرفا در یک سخت پوست چوب‌خوار و چند گونه اولیه دیگر مشخص شده، ظاهر می شوند. با این وجود، فعالیت مشخص سلولاز را میتوان در میگوی بزرگ آب شیرین مشاهده نمود که گونه ای نسبتا علفخوار است.

فعالیت هیدرولیز توسط آنزیم های هیدرولیرکننده دایمرهای حاصله، کامل می شود که در این رابطه مالتوز توسط مالتاز(آلفا گلوکوسیداز)، کیتوبیوز توسط کیتوبیاز (بتا-N – استیل گلوکوسامینیداز) و سلوبیوز توسط سلوبیاز (بتا گلوکوسیداز) هیدرولیز می شوند. تا جاییکه مطالعات نشان می دهند، لامینارییازها بررسی نشده اند اما وجود سایر آنزیم هایی که و هیدراتهای کربنی با وزن مولکولی پایین را هیدرولیز می کنند به اثبات رسیده که ساکاراز، آلفا مانوسیداز، آلفا فوکوسیداز و غیره از جمله آنها هستند. گلوکارونیدازهایی که در هضم بقایای هیدرات‌کربنی حاصله از گیلکوپروتئین ها شرکت میکنند هنوز شناسایی نشده اند.

در مقایسه با آنزیم های مشروح فوق، لیپازهای سخت پوستان بصورت جزئی مورد بررسی قرار گرفته اند. بنظر نمی رسد که جفت لیپاز- کولیپاز که وجود آن در شاخه ای از بی مهرگان (نرمتنان) اثبات شده، به طور قطع در سخت پوستان وجود داشته باشد هرچند فعالیت های لیپازی مشابه فعالیت لیپازهای پانکراتیک در مهره داران مشخص و حتی اندازه گیری شده است. سخت‌پوستان فاقد هر نوع نمک صفراوی هستند اما دارای ترکیباتی با خصوصیات کششی می‌باشند. این ترکیبات معمولا از اسیدهای چرب دارای ۲۲ اتم کربن و یک دی پپتید (عمدتا تورین) تشکیل شده و مشابه ترکیب نمک های صفراوی مهره داران هستند. در سخت پوستان تعداد زیادی از استرازها یافت شده اند ولی موقعیت، خصوصیت و بویژه نقش آنها بروشنی مشخص نشده است.

درمیان آنزیم های مختلف معمولا فسفاتازها، دی اکسی ریبونوکلئازها و ریبونوکلئازها فعالیت بالایی در علفخواران همراه با فلور همزیست و در دیتریت خواران (حیواناتی که جیره غذایی آنها شامل باکتری ها و سایر میکروارگانیسم هاست) دارند.

اگرچه آنزیم های زیادی به صورت کیفی تشریح شده اند اما اطلاعات کمّی پیرامون آنها اندک است. بطورکلی چنین فرض می شود که ارتباط آشکاری بین نحوه تغذیه حیوان در حیات وحش و فعالیت آنزیم های مسئول هیدرولیز ترکیبات جیره غذایی وجود دارد. بنابراین، گونه های گوشتخوار نظیر میگوی ژاپنی فعالیت پروتئازی بالاتری نسبت به گونه های همه چیز خوار با فعالیت آمیلازی بیشتر، دارند. با این وجود، این ارتباط به ظاهر منطقی، بطور کامل اثبات نشده است. بنظر می رسد که در حقیقت فعالیت آنزیم ها در یک گونه مشخص با توجه به کیفیت و کمیت جیره غذایی تغییر کند بطوریکه این فعالیت در مورد جیره های غنی از مواد غذایی درشت بیشتر و در صورت عکس این حالت، کمتر می شود. به عبارت دیگر، فعالیت آنزیم های گوارشی مطابق با ترکیب غذای بلعیده شده است. با این وجود، نباید این گونه نتیجه‌گیری کرد که فعالیت آنزیم های گوارشی مطابق با نیازهای تغذیه ای است.

محدوده اپتیمم pH برای این گروه از آنزیم ها بین ۵/۵ تا ۹ و در مورد آنزیم های لیزوزومی حدود ۵/۵ می باشد. همانطور که در ماهی مشخص شده(فصل ۴) محدوده دمایی اپتیمم برای آنزیم ها، دمای میانگین این موجودات خونسرد نیست بلکه احتمالاً نزدیک به دمای داخلی حیوانات خونگرم است.

۵-۲-۱۵) فلور گوارشی

تنها مطالعات انجام شده پیرامون فلور گوارشی سخت پوستان در رابطه با گونه های اولیه با گرایشهای علفخواری است. در دکاپودها سویه هایی از *Vibrio*، *Moraxella* و بخصوص *Flavobacterium* مشاهده شده است. با این وجود، چنین بنظر می رسد که جمعیت باکتریایی نشان دهنده ویژگی یا پایداری گونه میزبان نیست. هیچ نوع همبستگی بین فراوانی یا ماهیت فلور گوارشی و غذای طبیعی در گونه های مورد بررسی مشاهده نشده است. تمامی شواهد مبتنی بر این است که نقش تغذیه ای فلور گوارشی حتی در سخت پوستان نسبت به ماهیان پرورشی (فصل ۴) کمرنگ تر شده است بطوریکه جای تعجبی در مورد کوتاهی زمان انتقال باقی نمی گذارد.

٦-۲-۱۵) مسیرهای جذب

مکانیسم های جذب مواد غذایی در دستگاه گوارش سخت پوستان مشابه سایر حیوانات است(فصل ۴) اما در سخت پوستان نسبت به سایر مهره داران یک تفاوت عمده قابل مشاهده است و آن اینکه فرآیندهای ترشح آنزیم و جذب در عضوی به نام غده گوارشی انجام می شود که شامل سلول هایی است که ظاهرا چندان تخصصی نیستند.

جذب ماکرومولکول ها از طریق اندوسیتوز(فصل ۴) به عنوان پدیده استاندارد در حیوانات ابتدایی، در سخت پوستان نیز وجود دارد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اولین مرحله از این فرآیند در سلول‌های B جوان اثبات شده که همان سلول های F قدیمی هستند. مرحله بعدی (هضم درون سلولی) قابل مشاهده است اما انتقال مواد غذایی به سمت دیواره سلول برجسته جانبی تشریح نشده و از بخشی از غذای برگشت داده شده به داخل فضای لوله ها در جریان متفرق شدن سلول های B، صرف نظر می‌شود. مفهوم کیفی این مسیر از جذب، ناشناخته باقی مانده است ولی برخی از محققان اظهار کرده اند که این مسیر جذب از مسیرهای جذبی استفاده‌کننده از مکانیسم‌های انتقالی، فراتر می رود.

ترشح آنزیم های گوارشی از طریق سلول های B و F منجر به هضم خارج سلولی قابل توجه می شود. ازا ینرو، مطابق با شواهد موجود، جذب مواد غذایی باید از طریق انتشار غیرفعال، انتقال فعال و انتشار تسهیل شده صورت گیرد. جذب در ابتدا از طریق سلول های اپیتلیال لوله ها به استثنای سلول های جنینی انجام میشود که میکروپرز ندارند. بنظر می رسد سلول های M و سلول‌های R جوان به علت دارا بودن میکروپرزهای رشد یافته در این رابطه بیشترین تاثیر را دارند. در جریان رشد سلول های R، مواد غذایی جذب شده منابع ذخیره ای را بوجود می آورند. مواد مغذی موجود در همولنف نیز بخشی از ذخایر را تشکیل می دهند. اما از آنجائیکه از طریق رشد ساختارهای موجود بین هسته ها و لبه های شانه ای نشان داده شده، مواد مغذی با منشأ غذایی قطعا اکثریت ذخائر را تشکیل می دهند.

بنظر می رسد که انتقال آب و یون های معدنی در سخت پوستان مشابه ماهیان در روده خلفی انجام شود. در ماهی این عمل تنها از طریق مسیر مواد غذایی نیست بلکه باید نقش تنظیم اسمزی را نیز در نظر گرفت.

۳-۱۵ - تنظیم و تعادل گوارشی

۱-۳-۱۵) قابلیت هضم‌پذیری مواد مغذی اصلی

مطالعات بسیار اندکی با استفاده از توزیع طعمه های حیوانی یا گیاهی پیرامون سخت پوستان انجام شده است. اخیرا با استفاده از جیره های غذایی ترکیبی یا اجزا سازنده این جیره ها، هضم پذیری در سخت‌پوستان مورد بررسی قرار گرفته که این مطالعات در ابتدا در مورد میگوهای پالمونید[1] و سپس میگوهای پنئیده انجام گردید و به استثنای برخی مطالعات قدیمی، قابلیت هضم پذیری با استفاده از روشهای غیر مستقیم نظیر استفاده از نشانگرهای بی اثر و جمع آوری بخشی از فضولات اندازه گیری شده است.

اگرچه دفع مدفوع پوشیده شده با غشا پریتروفیک غنی از نیتروژن از نظر تئوری هدررفت خارجی نیتروژن را افزایش می دهد اما معمولاً مقادیر بالایی از قابلیت هضم پذیری حاصل می شود. ضریب قابلیت هضم‌پذیری (ADC) پروتئین ها بیش از ۹۰ درصد و حتی گاهی تا ۹۵ درصد است. این مقدار در مورد چربیها حداقل در دو گونه میگوی ببری (*Penaeus monodon*) و میگوی آبی (*P.stylirostris*)، مشابه پروتئین هاست. این مقادیر با مقادیر بدست آمده در مورد ماهی قابل مقایسه‌اند. قابلیت هضم‌پذیری نشاسته که تحت شرایط سخت اندازه گیری شده، نسبتا بالا و مشابه مقادیر موجود در پستانداران است (۷۰ تا ۹۴ درصد) و حداقل در مورد نشاسته خام بیش از مقادیری است که در ماهی تعیین شده است.

تفاوتهای قابل توجهی در هضم پذیری سه نوع از ماده غذایی درشت مولکول حاصل شده، هرچند در این رابطه مشاهدات محدودی صورت گرفته است. با این وجود، در بین منابع مطالعاتی قدیمی، مقادیر هضم‌پذیری پروتئین ها، آردهای گیاهی یا کنجاله ها، آردهای حیوانی و محصولات خالص سازی شده در سخت پوستان اغلب مشابه ماهی و مهره داران عالی است. همچنین در رابطه با منابع نشاسته ای، استفاده از تیمارهای با منشا گیاهی و تکنولوژیک در سخت پوستان، قابلیت هضم پذیری یکسانی با مقادیر شناخته شده در پرندگان و پستانداران بهمراه دارد.

---

[1] palaemonid

با این وجود، در رابطه با تنظیم قابلیت هضم پذیری در سخت پوستان نسبت به ماهی (فصل ۴) و در مرحله بعد نسبت به مهره داران عالی، شناخت کمتری وجود دارد. پایداری قابلیت هضم پذیری یک ماده غذایی به رغم تأمین غذا از ماده غذایی یکسان، مورد بررسی اندک قرار گرفته است.

مشخص شده که حداقل در مورد پست لاروها، میزان هضم پذیری با سن افزایش می یابد. در این رابطه اثر عوامل زیستی به میزان بسیار کمی بررسی شده است. بنابراین، موضوع پایداری قابلیت هضم پذیری مواد غذایی در سخت پوستان مشابه مهره داران است، از قطعیت چندانی برخوردار نیست.

٤-١٥ - خلاصه

مطالعه آناتومی و فیزیولوژی هضم در سخت پوستان تفاوت های اساسی ساختار گوارشی آنها را نسبت به مهره داران آشکار ساخته و ویژگی های منحصربفرد و شگفت انگیزی را در مقایسه با آنها بیان می دارد. غده گوارشی آنها همراه با ساختار و کارکرد منحصربفردشان، هیچ تشابهی با مهره داران یا حتی ماهیهای دارای هپاتوپانکراس ندارد. در مقابل، همترازی جالبی بین این شاخه و لارو ماهی و حتی ماهیان فاقد معده وجود دارد. تمامی این مطالعات هماهنگی زیادی بین تحقیقات پایه ای و تخصصی بوجود آورده که بطور حتم امکان پیشرفت های زیاد در این زمینه را فراهم خواهد کرد.

بطورکلی، در اولین تحقیقات صورت گرفته پیرامون سیستم گوارش سخت پوستان در رابطه با هضم پروتئین ها، چربیها و بویژه هیدرات‌کربن‌ها، کارآیی قابل مقایسه ای با سیستم گوارش مهره‌داران مشاهده شد. با این وجود، بیان این تفسیر اولیه باید با احتیاط همراه باشد زیرا اندازه‌گیری های کمی تحت شرایط سخت انجام شده و حتی به آن دسته از مواد غذایی که سخت‌پوستان نیاز ویژه ای به آنها دارند نظیر کیتین، فسفولیپید ها یا کلسترول ها کمتر پرداخته شده، ضمن آنکه اختلافات بین گونه ای احتمالی نیز اغلب ناشناخته باقی مانده اند.

«فصل ١٦»

تغذیه و غذادهی در لارو میگوهای پنئیده

مراحل توسعه لاروی میگوی پنئیده توسط هودیناگا (۱۹۴۲)، که صرفا به پرورش آزمایشگاهی میگوی ژاپنی پرداخته، تشریح شده است. این تنها مطالعه تا سال ۱۹۷۵ بود و پس از آن مطالعات زیادی در جهت حمایت از توسعه چشمگیر هچری ها در سرتاسر جهان در زمینه نیازهای تغذیه ای و هضم لاروی صورت گرفت. این مطالعات نشان دادند که میگوها طی دوره لاروی به عنوان یک ارگانیسم پلاژیک، از نظر عادات تغذیه ای و احتیاجات غذایی تفاوت فاحشی با میگوهای جوان و پست لاروهای عموما کف‌زی، دارند.

۱-۱٦ - تکامل لاروی و انتوژنی دستگاه گوارش

۱-۱-۱٦) مرحله اندوتروفیک

مدت زمان رشد جنین پس از تخم ریزی و تا زمان تفریخ حدود ۱۵ ساعت طول می کشد و ناپلئوس، ارگانسیمی با اندازه حدود ۳۰۰ میکرومتر، در مرحله تفریخ ظاهر می شود. در مقایسه با سایر دکاپودها، تمام دوره رشد لاروی میگوهای پنئیده در خارج از تخم صورت می گیرد که این ویژگی، این گروه از جانوران را به مدلی ایده آل جهت مطالعه پیرامون نحوه کارکردهای مختلف گوارشی در جریان انتوژنی تبدیل نموده است.

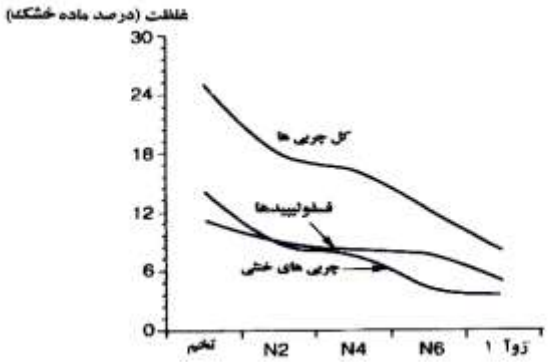
رشد شش مرحله ای ناپلئوس (N1-N6) طی ۴۸ ساعت رخ می دهد که در این مدت لارو هنوز فاقد دستگاه گوارش بوده و رشد از طریق ذخیره کیسه زرده انجام می شود. چربی ها ۲۰ درصد ماده خشک مرحله N1 و ۸ درصد مرحله N6 را تامین می کنند. در مرحله اندوتروفیک، چربی ها به عنوان عمده ماده انرژی زا محسوب می شوند(شکل۱- ۱۶). ترکیب بیوشیمیایی تخم (جدول ۱- ۱۶) که به نوع غذادهی مولدین بستگی دارد، ظرفیت ارگانسیم برای رشد را به شکلی صحیح برآورد می کند. به منظور رشد سریع و پایدار در دو مرحله جنینی و پس از آن به مقدار بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده زنجیره بلند سری های n-3 (HUFAs) نیاز است که تشکیل‌دهنده ترکیبات مهمی از غشاهای بیولوژیک هستند. این مقدار معادل ۴۰ درصد ماده خشک موجود در تخم است. لازم است که ویتامین های C (آسکوربیک اسید) و E (آلفا توکوفرول) به اندازه کافی در تخم وجود داشته باشند تا چربی های غشایی و داخلی را از پراکسیده شدن حفظ کنند.

جدول ۱-۱٦) مقادیر برخی ترکیبات تخم میگوی پنئیده
در ارتباط با ماده خشک (Cahu *et al*., 1988)

ترکیبات	مقدار
پروتئین ها	۵۵- ۵۰ درصد
کل چربی ها	۲٦- ۲۲ درصد
درصد فسفولیپیدها	۱۲- ۸ درصد
چربی های خنثی	۱٤-۱۰ درصد
چربی غیر اشباع سری n-3 (HUFA)	٤- ۳/۵ درصد
آلفا توکوفرول	۰/٦-۰/۳ میلی گرم بر گرم
اسکوربیک اسید	۰/۸-۰/٤ میلی گرم بر گرم

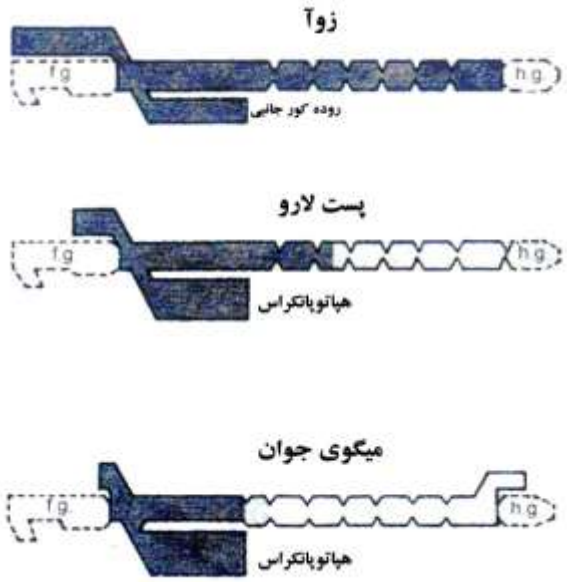
۲-۱-۱٦) مرحله اگزوتروفیک

در این مرحله ارگانیسم از طریق چند نوبت پوست اندازی رشد می‌کند که ممکن است با متامورفیسم همراه باشد. با شروع مرحله زوآ که شامل سه مرحله (Z1-Z3) است یک دستگاه گوارش کارآمد خطی ایجاد می شود.



شکل ۱-۱۶) تنوع در کل چربی ها، مقدار فسفولیپید و چربی خنثی
طی مرحله اندوتروفیک در *Penaeus indicus* (Cahu *et al*., 1988)

بنابراین ارگانیسم در این مرحله یک فیلترکننده غذاست و عمدتا رژیم علفخواری دارد. در طبیعت، زوآ از گونه های مختلف فیتوپلانکتون ها عمدتا دیاتومه‌ها تغذیه می کند. مرحله بعدی، مایسیس (M1-M3) است و قبل از مرحله پست لارو(PL)، متامورفیسم رخ می دهد.رژیم غذایی در مرحله مایسیس به سمت گوشتخواری و صید طعمه های مختلف کپه پودها تغییر می کند. از زمان تفریخ تا اولین مرحله پست لاروی و کف زی شدن حیوان، با توجه به دمای محیط بین ۲۵ تا ۳۲ درجه سانتیگراد، ۱۰ تا ۱۳ روز طول می کشد. این تغییر رفتاری و مرفولوژیکی با تشکیل ساختار مجدد آناتومیکی و کارآمد دستگاه گوارش همراه است. این پدیده در مورد گونه *Penaeus setiferus* تشریح شده است Lovett and Felder, (1990). در این لاروها ساخت و ترشح آنزیم های پانکراتیک توسط زوائد گوارشی جلویی و عقبی موجود در قسمت پروکسیمال دستگاه گوارش انجام می شود. در لحظه متامورفیسم، بین مراحل M3 و PL4 (پست لارو ۴ روزه)، زوائد جلویی تجزیه و متلاشی می شوند. پس از این مرحله، لوب های هپاتوپانکراس یا غدد گوارشی از زوائد عقبی منشعب شده و به شکل قابل توجهی افزایش حجم می یابند تا غده کاملی ایجاد شود. تنها ۳ تا ۴ هفته بعد از رشد پست لاروی، دستگاه گوارش متمایز شده و فرم کامل و بالغ آن بوجود می آید و شروع به فعالیتی کاملا متفاوت از مهره داران می کند (فصل ۱۵ و شکل ۲-۱۶). بعد از متامورفیسم افزایش قابل توجهی در مدت زمان انتقال غذا در دستگاه گوارش بوجود می‌آید.



شکل ۲-۱۶) توزیع فعالیت فسفات قلیایی در دستگاه گوارش *Penaeus setiferus* **در جریان رشـد لاروی. این آنزیم نشان دهنده محل های جذب و هضم غشایی است. سایه سیاه رنگ: فعالیت بالا، سایه کم رنگ: فعالیت پایین، سایه سفید رنگ: بدون فعالیت.** F.g**: روده جلویی،** h.g **: روده خلفی. روده میانی در وسط است. توجه به این نکته ضروری است که طی انتوژنی، روده کور جانبی به هپاتوپانکراس تبدیل می شود** (Lovett and Felder, 1990)

۲-۱۶ - ظهور آنزیم های گوارشی و میزان فعالیت آنها در طول رشد

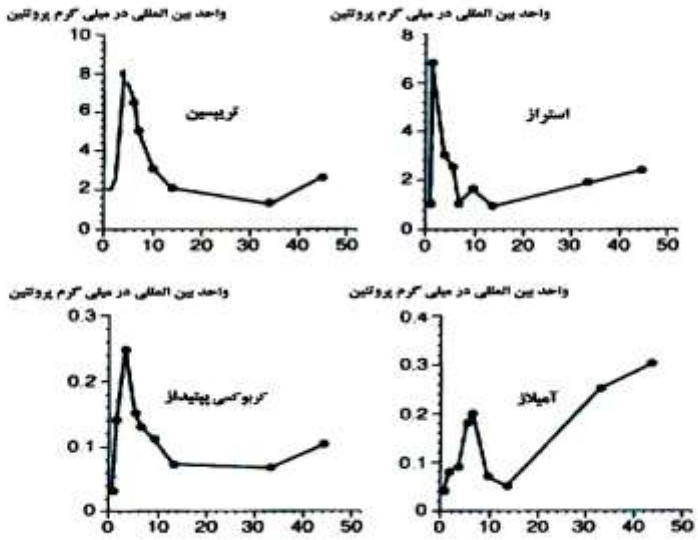
۱-۲-۱۶) شمای کلی فعالیت آنزیمی در طول رشد

پیش از باز شدن دهان، آنزیم های گوارشی وجود دارند بطوریکه وجود آنزیم هـای تریپسـین و آمـیلاز از مرحله ناپلئوس و حتی در تخم مشاهده شده است. طی دوره رشد، پروفیل آنزیم های مـورد مطالعـه شـامل تریپسین، آمیلاز، کربوکسی پپتیداز و استراز بسـیار مشـابه یکدیگرنـد. در مرحلـه زوآ افـزایش سـریعی در فعالیت ویژه آنزیم ها رخ می دهد، سپس در مرحله مایسیس افت شدیدی ظاهر می شود که چند روز پـس از متامورفیسم به حداقل می رسد(شکل ۳-۱۶).

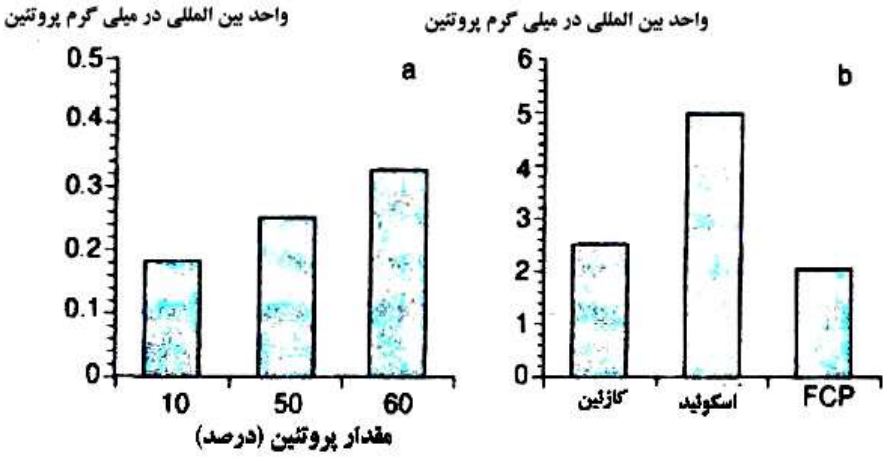
پس از آن، فعالیت آنزیم ها در مرحله پست لاروی افزایش قابل توجهی می یابد. همزمان با تحلیل بخش قدامی روده های کور گوارشی بر اثر متامورفیسم فعالیت آنزیمی کاهش می یابد. افزایش نهایی در فعالیت آنزیم ها همزمان با تشکیل تعداد زیادی لوله های هپاتوپانکراس رخ می دهد. پروفیل فعالیت آنزیمهای گوارشی در لارو میگوهای پنئیده مشابه پروفیلی است که در بیشتر گروههای فیلوژنتیک مربوطه طی دوره تکامل پست لاروی تشریح شده است. در ماهی و حتی پستانداران در اولین روزهای رشد پس از تولد فعالیت آنزیم های گوارشی افزایش چشمگیری می یابد. به دنبال آن با گذشت فاصله زمانی معینی، سیر نزولی پیدا می کند که همزمان با تکامل دستگاه گوارش در انواع بالغ می باشد(فصل ۱۲).

۲-۲-۱٦) سازگاری فعالیت آنزیمی با غذا

آزمایشهای انجام شده در زمینه غذادهی لارو میگوی *penaeus vannamei* با استفاده از جیره های غذایی مصنوعی بصورت ذرات خیلی ریز، همبستگی مثبتی بین میزان تریپسین سنتز شده و مقدار پروتئین غذا (کازئین) نشان داده اند (شکل ۴a-۱۶). علاوه بر این، ماهیت و فرم مولکولی نیتروژن مصرفی، میزان سنتز پروتئازهای مختلف را تحت تاثیر قرار می دهد. آرد اسکوئید بصورت ویژه ای صرفا فعالیت کموتریپسین را تحریک کرده، در حالیکه پروتئین مایع تغلیظ شده ماهی(FCP)به عنوان یک منبع پروتئین های هیدرولیز شده موجب کاهش مقدار کموتریپسین و تریپسین می شود(شکل ۴ b-۱۶). همچنین بنظر می رسد که سنتز آمیلاز بیشتر از طریق نشاسته ذرات طبیعی نسبت به نشاسته محلول تحریک می شود. بر اساس مراحل قبلی(زوآ) لارو قادر به تنظیم سنتز آنزیم ها با توجه به غلظت و ماهیت مواد غذایی است. همچنین، طی پرورش لاروها از طریق سلسله مراحل غذادهی شامل میکروجلبک در طول مرحله زوآ و سپس افزودن ناپلی آرتمیا در مرحله مایسیس، در ابتدا مقدار زیادی آمیلاز و سپس پروتئاز ترشح می شود. در حد فاصل مراحل زوآ و مایسیس، نسبت آمیلاز به پروتئاز که اغلب برای توصیف ماده غذایی تحت عنوان علفخواری یا گوشتخواری بکار می رود، به میزان ده برابر کاهش می یابد. همچنین در مرحله مایسیس فعالیت کیتیناز همراه با تغذیه از زئوپلانکتون ها افزایش می یابد.



شکل ۳-۱۶) تنوع فعالیتهای ویـژه برخـی آنـزیم هـای گوارشـی طـی رشـد لاروی *Penaeus setiferus* (Lovett and Felder, 1990). IU : واحد بین المللی اندازه گیری فعالیت آنزیمی



شکل ٤-١٦) پاسخ فعالیت ویژه تریپسین به مقدار پروتئین (a) و کموتریپسین به انواع پروتئین ها در جیره غـذایی مراحـل زوآ در *Penaeus vannamei* (Le Moullac *et al.*, 1994). IU : واحـد بـین‌المللـی اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی

در لاروهایی که با ذرات ریز غذایی تغذیه می شوند نسبت به آنهایی که بصورت مداوم با جلبک و آرتمیا مورد تغذیه قرار می گیرند، سطوح پایین تری از آنـزیم تولیـد مـی شـود. امـا افـزودن غلظـت هـای پـایین (۱۰۰۰۰ سـلول در میلـی لیتـر) از جلبـک *Chaetoceros gracilis* بـه محـیط پـرورش منجـر بـه افـزایش فعالیتهای آنزیمی در لاروهای تغذیه شده با ذرات ریز غذایی می شود. این مکمل جلبکـی تولیـد آنـزیم را تحریک نموده و بر اساس نظر برخی، بهبود در رشد را هنگام تغذیه لارو با جیره ای مرکـب از ذرات ریـز غذایی و جلبک توجیه می کند. این پدیده منجر به ایجاد آبهای سبز رنگ در واحدهای پرورش مـاهی بـه عنوان یک پدیده مفید می شود. اما هنوز هیچ رابطه ساده ای بین میزان آنزیم اندازه گیـری شـده در لارو و رشد آنها بدست نیامده است. فرضیات متعددی برای تشریح اثر مفید آبهای سبز ارائه شده است.

ترکیب غذا صرفا فعالیت آنزیم هایی که نحوه عملکرد آنها در جریـان انتـوژنی توسـعه مـی یابـد را تحـت تاثیر قرار می دهد. برای مثال، فعالیت ویژه آمیلاز و نسبت آمیلاز به پروتئاز در مرحله مایسیس سیر نزولـی دارد و مجدداً در مرحله پست لاروی حتی زمانی که حیوان فقط با آرتمیا تغذیـه مـی شـود، افـزایش قابـل توجهی می یابد. ورود نشاسته در این مرحله تنها این پدیده را تشدید می کند.

۳-۱۶- نیازهای تغذیه ای

به منظور تامین نیازهای تغذیه ای لارو، آزمایشهای متعددی با استفاده از جیره های ترکیبی یا خالص انجـام شده است که امروزه امکان ایجاد نرخ بالایی از بازماندگی را فـراهم مـی سـازند. بـا ایـن وجـود، دانـش و آگاهی کافی در این زمینه وجود ندارد.

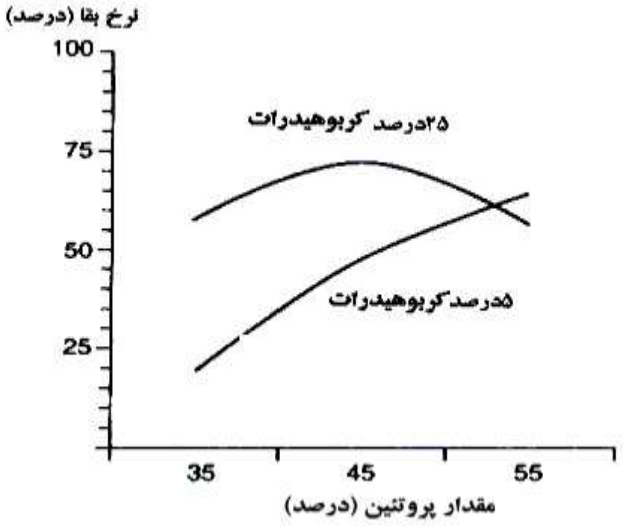
۱-۳-۱۶) پروتئین

نیازهای پروتئینی بسیار متنوعی برای سخت پوستان ثبت شده اند. به عقیده کانازاوا این نیازها بسته بـه گونـه های مورد مطالعه و منبع پروتئنی مصرفی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است. به طـورکلی لازم اسـت جیـره غـذایی سخت پوستان جوان حاوی ۳۵ تا ۵۰ درصد پروتئین باشد.

منابع پروتئینی که معمولا برای تغذیه میگوهـای بـزرگ مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیرنـد شـامل آردمـاهی، اسکوئید، خرچنگ ها، صدف ها، کنجاله سویا، مخمر لاکتیک، کـازئین و غیـره بـرای تغذیـه لاروهـا نیـز مناسب می باشند.

آردماهی بهترین منبع پروتئینی برای لارو میگو محسوب می شود و عملا می تواند به عنوان منبع اولیه ذرات ریز غذایی مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، مقدار برخی آمینواسیدهای ضروری در کنسانتره پروتئین خرچنگ، آرد اسکوئید یا کازئین محدود بوده و بنابراین باید آنها را با سایر پروتئین ها ترکیب کرد تا رشد و بقای مطلوبی را برای لاروها فراهم شود.

همچنین، غلظت بهینه پروتئین یک جیره غذایی با مقدار هیدرات‌کربن آن مرتبط بوده که امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین ها را فراهم می کند. برای لارو میگوی ژاپنی، در صورت استفاده از جیره‌حاوی فقط ۵ درصد هیدرات‌کربن، مقدار بهینه پروتئین حدود ۵۵ درصد است. درحالیکه وجود ۲۵ درصد هیدرات‌کربن در جیره، امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین را تا ۴۵ درصد فراهم می کند (شکل ۵-۱۶). افزایش مقدار هیدرات‌کربن جیره غذایی با در نظر گرفتن سطح پایین پروتئین (۳۵ درصد) بقای لارو را ۵ تا ۲۵ درصد بهبود می بخشد اما چنین تاثیری در مورد جیره حاوی ۵۵ درصد پروتئین وجود ندارد. بنابراین، لارو سخت پوستان نسبت به انواع جوان از هیدراتهای‌کربن به عنوان منبع انرژی زا، بهتر استفاده می کنند و این امر امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین را فراهم می سازد.



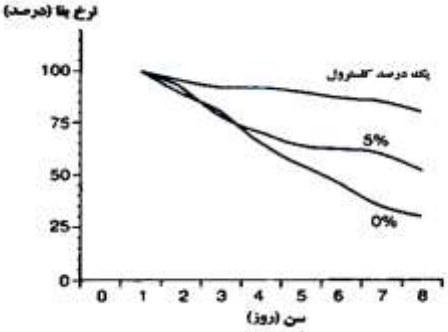
شکل ۵-۱۶) اثر مقدار پروتئین جیره بر میزان بازماندگی لارو میگوی ژاپنی (*Penaeus japanicus*). تاثیر هیدراتهای‌کربن بر صرفه جویی در مصرف پروتئین(Teshima and Kanazawa, 1984).

از سوی دیگر، چنین بنظر می رسد که لاروها ظرفیت خوبی برای بهره برداری از اسیدهای‌آمینه خالص(کریستاله شده) دارند. اضافه کردن اسیدهای‌آمینه ضروری بویژه آرژنین به جیره ای که بر پایه کازئین تعریف شده، بقای لارو را افزایش می دهد. همچنین پپتیدهایی نظیر آلانیل ـ گلایسیل ـ گلایسین یا آلانین ـ والین تاثیر چشمگیری بر رشد دارند با این وجود، هنوز معلوم نیست که آیا این پپتیدها از طریق اثر یک جذب کننده ارزش غذایی جیره را بهبود می بخشند یا از عوامل اصلی رشد محسوب می شوند.

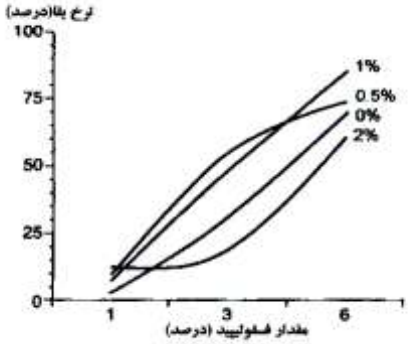
۲-۳-۱۶) چربی

از بین چربی ها کلسترول، فسفولیپیدها (PL) و اسیدهای چرب ضروری (EFA) از جمله ترکیبات ضروری شناخته شده در تغذیه سخت پوستان هستند. لاروها نیز همچون انواع جوان قادر به سنتز استرولهای *de novo* نیستند اما احتمالا قادرند تبدیل زیستی ارگواسترول و بتا ـ سیتو استرول را به کلسترول، ترکیبی که از این طریق می تواند جایگزین سایر استرول ها شود، تحت تاثیر قرار دهند. این ترکیبات دارای یک ظرفیت احیاء برای افزایش طول و غیر اشباع نمودن اسیدهای چرب و اسیدهای چرب ضروری هستند بطوریکه در سخت پوستان جوان شامل اسیدهای چرب پلی اشباع نشده سری n-۳ (HUFAs) بخصوص n-۳ ۵ : ۲۰ (EPA) و n-۳ ۶ : ۲۲ (DHA)می باشند (فصل ۷). چون ظرفیت کافی به منظور سنتز فسفولیپیدها از اسیدهای چرب یا تری آسیل گلیسیرول ها (TAC) وجود ندارد بنابراین، فسفولیپیدها مولکول هایی ضروری می باشند.

غلظت بهینه کلسترول نزدیک به یک درصد است. فقدان استرول ها و وجود مقادیر اضافی کلسترول (۵ درصد) منجر به بروز مرگ و میر بالا می شود(شکل ۶-۱۶). غلظت های بهینه اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع سری n-۳ و فسفولیپیدها به یکدیگر وابسته اند. در میگوی ژاپنی بهترین ترکیب با استفاده از جیره‌ای حاوی ۰/۵ تا یک درصد اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع سری n- ۳ (EPA+DHA) و ۳ تا ۶ درصد فسفولیپید حاصل می شود (شکل ۷-۱۶). فسفولیپید غذایی به صورت امولسیونی که با استفاده از چربی‌های خنثی مصرف شده شامل تری آسیل گلیسیرول ها و کلسترول ها حاصل می شود، وارد دستگاه گوارش می شوند. موثرترین آنها در لاروها فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اینوسیتول هستند که در لسیتین سویای تجاری وجود دارند.



شکل ٦-١٦) تاثیر مقدار کلسترول در بقای لاروی میگوی ژاپنی (*P.japanicus*). **آزمایش با استفاده از جیره خالص شامل ٥ ، ١ و صفر درصد کلسترول انجام شده است**(Teshima *et al*., 1983)



شکل٧-١٦) اثر اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند و فسفولیپیدها بر بقای لارو در میگوی ژاپنی(*P.japanicus*) **آزمایش با استفاده از جیره خالص شامل ٢ ، ١، ٠/٥ و صفر درصد اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند**(HUFAs) انجام شده است (Kanazawa *et al*., 1985)

بخشی از چربی ها از طریق منابع پروتئینی و بخشی از طریق سایر روغن ها (شامل روغن کبد ماهی که غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع است) و نیز لسیتین سویا تامین می شوند. معمولاً سطح چربی ٨ درصد برای تضمین رشد مطلوب لاروها کافی است. افزایش این غلظت تا ١٦/٥ درصد در رشد و بقای لارو هیچ تاثیری ندارد.

۳-۳-۱٦) ویتامین ها

همچون مهره داران، ویتامین های محلول در آب و محلول در چربی برای لارو سخت پوستان ضروری‌اند وکمبود آنها منجر به مرگ و میر سریع لارو می شود. با این وجود، تعیین مقدار نیازها در این زمینه بسیار پیچیده بوده و لازم است ویتامین ها به میزان زیاد به غذا اضافه شوند تا هدررفت آنها از طریق آبشویی به حداقل برسد. بر این اساس غلظت یک درصد ویتامین C در جیره غذایی توصیه شده است. اما این برآورد بیش از حد ناشی از میزان بالای آبشویی آن است. مقدار مورد مصرف را می توان از طریق استفاده از اشکال مقاوم و پایدار (فسفات اسکوربیل) به میزان قابل توجهی کاهش داد. مطالعات اخیر نشان داده است که تامین ۱۰۰ میلی گرم از آسکوربیک اسید در فرمت L – اسکوربیل – ۲ – فسفات به ازای هر کیلوگرم غذا جهت تضمین بقا و رشد لارو کافی است. بطورکلی، استفاده از ۲۰۰۰ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم غذا، مقاومت بیشتری نسبت به استرس زیست محیطی و عفونت های باکتریایی در پست لارو ایجاد می کند.

٤-۱٦ - غذادهی عملی

نیازهای غذایی میگوهای پنئیده از طریق غذادهی رایج شامل استفاده از جلبک تک سلولی در مرحله زوآ و سپس افزودن ناپلی آرتمیا در مرحله مایسیس بطور کامل تامین می شود. بیشترین جلبک های مورد استفاده شامل *Skeletonema castatum, Tetraselmis sp, Chaetoceros sp* و *Isochrisis galbana* می باشند که در غلظت ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ سلول در هر میلی لیتر آب استفاده می شوند. برای تغذیه لارو در مرحله M1 تعداد ۱۰ ناپلی برای هر لارو در روز مورد نیاز است که این تعداد به طور روزانه تا رسیدن به ۱۰۰ ناپلی برای هر لارو در روز در مرحله PL4 افزایش می یابد. در حال حاضر این روش امکان بقای ۸۰ درصد لاروها را در واحدهای پرورش تحت شرایط کنترل شده، فراهم می کند. در پرورش متراکم به روش ژاپنی بر اساس نگهداری و پرورش فیتوپلانکتون ها و به دنبال آن شکوفایی زئوپلانکتونی در حجم خیلی زیاد (۲۰ تا ۵۰ مترمکعب)، می توان تولید بسیار متغیری را استحصال نمود. امروزه میکروکپسول ها یا ریز ذرات مختلفی در سرتاسر جهان موجود هستند و در هچری ها مصرف می شوند که در بسیاری موارد از آنها به عنوان جایگزین نسبی غذای طبیعی در سطح ۵۰ تا ۷۰ درصد استفاده می شود.

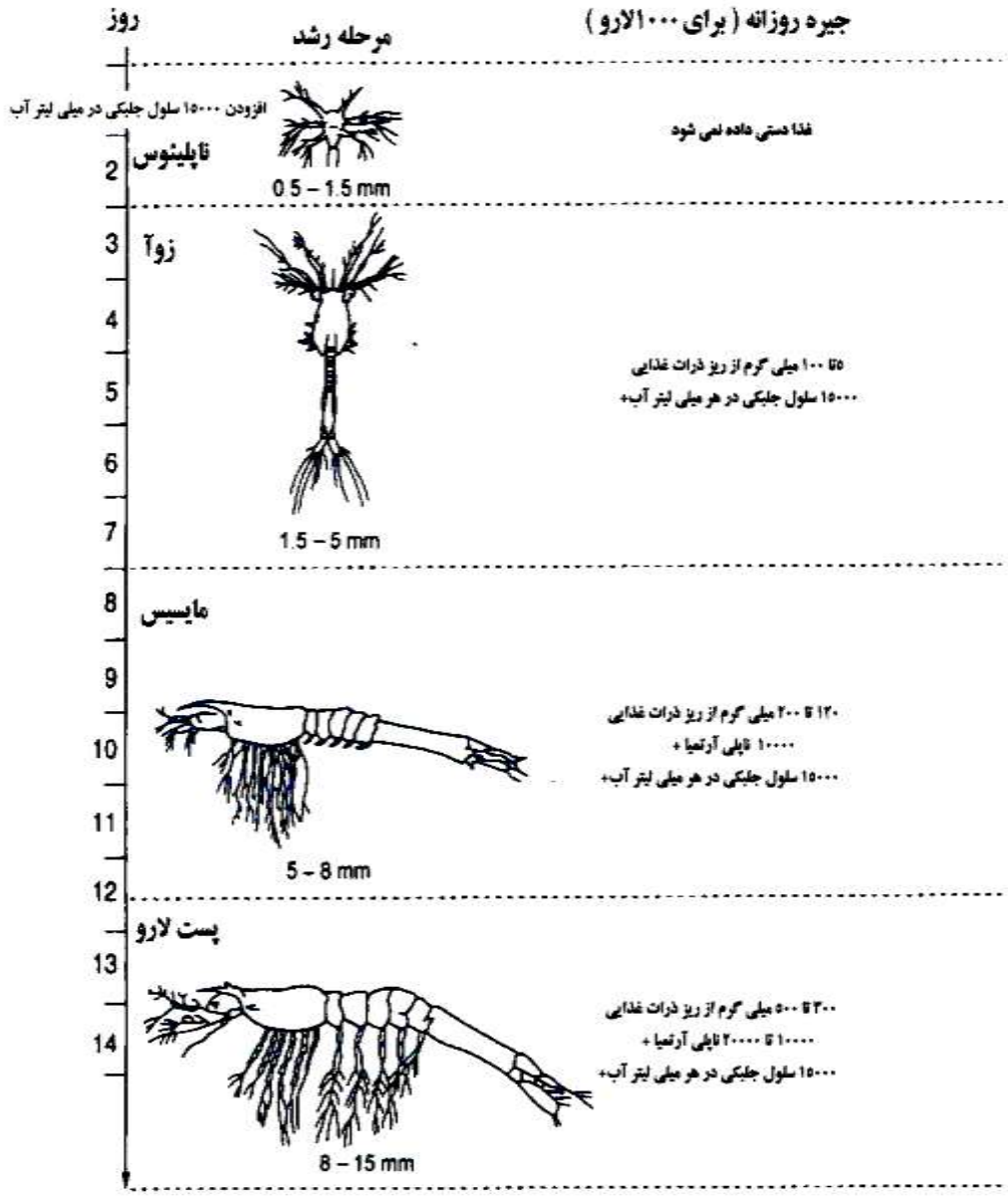
اما در تعدادی از هچری ها به عنوان تنها غذای مصرفی، مورد استفاده قرار می گیرند. صرف نظر از ارزش غذایی این میکروکپسول ها باید دارای خصوصیات ذیل باشند (Jones *et al*., 1993).

- قابلیت پذیرش : ریز ذرات ها باید تراکمی معادل غذای زنده داشته و از اندازه ای مناسب برای بلعیده شدن برخوردار باشند. لازم است تا قطر آنها برای مراحل اولیه در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر و برای مرحله مایسیس ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرومتر باشد.

- پایداری: ریز ذرات ها باید در آب پایدار بوده و قابلیت شکسته شدن آنها قبل از بلعیده شدن حداقل باشد. فرآیندهای مختلفی جهت کپسول دار کردن معرفی شده اند که از جمله آنها استفاده از عوامل همبند نظیر کاراگینین، زئین، ژلاتین یا آلژینات ها هستند. این روش باید ماندگاری ترکیبات مختلف ریز ذرات ها را تضمین و به این صورت آلودگی آب را محدود کند.

ـ حفاظت : باید امکان نگهداری و ذخیره ریزذرات ها برای چندین ماه بدون هیچ گونه تغییر وجود داشته باشد.

مقدار جیره روزانه توصیه شده متناسب با مرحله رشد در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است. جیره روزانه باید طی ۵ تا ۶ نوبت داده شود.



شکل ۸-۱٦) مراحل رشد لارو میگوی پنئیده و نمونه ای از نحوه غذادهی در یک مزرعه پرورش

۵-۱۶- خلاصه

طی ۲۰ سال گذشته علم و دانش بشر در ارتباط با فیزیولوژی هضم و نیازهای غذایی لارو میگوهای پنئیده به اندازه کافی پیشرفت کرده و امکان توسعه استفاده از غذاهای مصنوعی از اولین مراحل لاروی را فراهم ساخته است. این در حالی است که به رغم مطالعات زیاد صورت گرفته، هنوز هیچ نوع معادل غذایی برای لاروهای جوان ماهیان دریایی وجود ندارد.

به هر حال، امکان بهبود در بقا، رشد و کیفیت لارو درهچری هایی که منحصراً از جیره های غذایی تجاری استفاده می کنند، وجود دارد. پرورش دهندگان همچنان ترجیح می دهند تا از پست لارو وحشی که مقاومترند، استفاده کنند. احتمالاً غذادهی تا حدی این تفاوت را توجیه می کند. خوراک هایی با ترکیبات بیوشیمیایی یکسان برای مراحل مختلف لاروی استفاده می شوند در حالیکه تغییرات در رژیم غذایی مشاهده شده در لارو وحشی و همچنین تغییر شکل پیچیده دستگاه گوارش منجربه تغییر جزئی نیازهای غذایی در جریان رشد می شود. با استفاده از خوراک های سازگار با نیازهای ویژه هر مرحله، می‌توان میزان رشد، بقا و کیفیت پست لارو را افزایش داد.

«فصل ۱۷»

تغذیه و غذادهی میگو در پرورش متراکم و گسترده

بررسی نیازهای تغذیه ای میگو با مطالعات کانازاوا و همکاران در سال ۱۹۷۰ آغاز شد. آنها به منظور تحقیق روی میگوی ژاپنی، از ایده استفاده از جیره غذایی فرموله شده در تغذیه ماهی آزاد چینوک و دو نوع بندپا، به نام کرم ابریشم و آرتمیا الهام گرفتند. این جیره امکان رشد بسیار مطلوب را فراهم نمود و راهی برای انجام مطالعات منظم بعدی باز کرد که می توانست به سایر گونه ها تعمیم داده شود. پرورش میگوی ژاپنی از سال ۱۹۷۰ در کشور ژاپن شروع شد، اما بسرعت از رونق افتاد و اهلی سازی و پرورش میگو به سمت گونه های گرمسیری گسترش یافت بطوریکه امروزه تقریبا کل تقاضای بازار جهانی را تامین می کند. از نظر تئوری، نیازهای گونه های اصلی مورد استفاده در آبزی پروری نیز بایستی مورد تجدید نظر قرار گیرند. در واقع، اگرچه تولید جهانی عمدتاً شامل تولید میگوی ببری یا میگوی بزرگ(*Penaaeus monodon*) و در مقیاس کمتر میگوی سفید (*P.vannamei*) است اما ۲۰ درصد تولید بین ۱۰ گونه تقسیم میشود که از لحاظ پرورش در درجه دوم اهمیت قرار دارند و مهمترین آنها میگوی چینی (*P.orientalis = P.chinensis*)، میگوی آبی (*P.stylirostris*)، میگوی هندی و میگوی ژاپنی هستند. در عمل، نیازهای غذایی ویژه این میگوهای مختلف تنها در سطح محدودی شناسایی شده است(D'Abramo *et al*., 1997). در نظر گرفتن نوع روش پرورش نیز اهمیت دارد.

دامنه وسیعی از پرورش نیمه متراکم، از جنوب شرق آسیا تا آمریکای لاتین گسترش دارد که با توجه به تعداد میگوهای پرورش یافته در هر مترمربع از استخر از یکدیگر متمایز می شوند. تراکم بین ۱۰ تا ۱۵ و ۲۰ تا ۲۵ میگو در هر متر مربع از استخر متغیر است. تامین غذا به شکل پلت و گاهی به شکل اکسترود صورت می گیرد(فصل ۲۱). ضریب تبدیل غذایی معمولاً بین ۱/۵ تا ۲/۵ بوده و تولید نهایی از ۱/۵ تا ۳ تن در هکتار در سال متغیر است. شایان ذکر است که روش پرورش متراکم از معدود روش هایی است که در حال حاضر در مقیاس کوچک در تاهیتی مورد استفاده قرار گرفته و تولیدی معادل ۲۰ تا ۲۵ تن در هکتار را طی دو برداشت فراهم کرده است. در پرورش نیمه متراکم بسختی می توان نسبت غذایی را مشخص نمود که مستقیما توسط انسان تامین می شود. افزودن غذای تکمیلی به غذای طبیعی با توجه به شرایط موجود بصورت مستقیم یا غیر مستقیم (از طریق تحریک تولیدات طبیعی در استخر) ایفای نقش می کند که این نقش با افزایش سن حیوانات اهمیت بیشتری دارد. در این فصل اصول تغذیه و غذادهی میگو تشریح خواهد شد. هر چند اهمیت این اصول برای اهداف عملی پرورش منحصراً بر پایه بررسیهای آزمایشگاهی بوده که در آن میگو فقط با غذای فرموله شده مصنوعی تغذیه می شود.

۱-۱۷ - تغذیه میگوهای جوان تحت شرایط آزمایشگاهی

۱-۱-۱۷) نیازهای پروتئینی

۱-۱-۱-۱۷) سطح بهینه پروتئین برای گونه های اصلی

در بین تمام احتیاجات غذایی میگو، پروتئین ها بیشترین مطالعات را بخود اختصاص داده اند. حداقل سطح بهینه پروتئین برای حدود ۲۰ گونه از میگوها اندازه گیری یا برآورد شده است. نتایج حاصله در مورد ۹ گونه مهم اقتصادی در جدول ۱-۱۷ ارائه شده است.

با توجه به این داده ها چنین بنظر می رسد که تفاوت های فاحشی بین گونه های مختلف وجود دارد. بر اساس تجزیه و تحلیل برخی از محققین، گونه های گوشتخوار نسبت به گونه های همه چیز خوار یا به احتمال زیاد نسبت به گونه های علفخوار، نیاز پروتئینی بیشتری دارند. در نگاه اول این ادعا منطقی بنظر می رسد اما با این مسئله باید محتاطانه برخورد نمود. این اختلافات به واسطه عوامل مختلفی بوجود می‌آید.

نیازهای میگو با استفاده منابع پروتئینی مختلف از قبیل کازئین خالص یا کازئین همراه با مکمل اسید آمینه، آرد ماهی، آرد اسکوئید یا حتی مخلوط پروتئین های حیوانی و گیاهی اندازه گیری شده است. بسیاری از آزمایشها بدون آگاهی از قابلیت هضم پروتئین انجام گردیده و نهایتاً اینکه در روش های مختلف سطح انرژی بطور غیر قابل پیش بینی تغییر می کند.

جدول ۱-۱۷) مقدار پروتئین خام مورد نیاز برای رشد بهینه گونه های مختلف جنس *Penaeus* تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی

گونه ها	محتوا (درصد)	منبع پروتئین	مولف
P. aztecus	۳۰	پودر ماهی و ماهی مرکب	Shewbart & Mies, 1973
P. chinensis	٤۰	پودر ماهی	Liu *et al*., 1990
P. japonicus	٤۲	کازئین	Koshio *et al*., 1993
P. merguiensis	۵۰	مخلوط	Aquacop, 1978
P. monodon	٤۰	کازئین	Aquacop, 1977
P. schmitti	۲۰-۳۵	پودر ماهی	Galindo, 1983
P. selferus	۳۰	مخلوط	Andrews & Sick, 1972
P. stylirostris	۳۰-۳۵	مخلوط	Colvin & Brand, 1977
P.vannamie	۳۰	مخلوط	Cousin *et al*., 1993

۲-۱-۱-۱۷) اصلاحات مورد نیاز

به علت عدم اندازه گیری همزمان نیاز گونه های مختلف طی یک آزمایش مقایسه ای(دشواری ارائه یک پروتکل به منظور کارکردهای عملی)، لازم است تا سطح بهینه پروتئین برای هر گونه و در شرایط استاندارد مورد بازبینی مجدد قرار گیرد. مطالعات اخیر در رابطه با میگوی ژاپنی مشخص نمود که جیره غذایی محتوی ۴۰ درصد پروتئین، حداقل دفع مواد نیتروژنی و رشد بهینه را بهمراه دارد، در حالیکه در تحقیقات پیشین این مقدار، ۶۰ درصد برآورد شده بود. نتایج حاصله، میگوی ژاپنی را از نظر نیاز به پروتئین، مشابه سایر گونه ها قرار می دهد و موجب افزایش شک و تردید در مورد برخی مطالعات قدیمی می شود. در نظر گرفتن پروتئین بیش از حد نیاز میگو، بین سازندگان غذا بسیار متداول است و بنظر میرسد که این افراد بدون داشتن اطلاعات دقیق و صحیح علاقه مندند تا این مقادیر را در حدود ۴۰ درصد

یـا کمتـر در نظـر گیرنـد. ایـن مقـدار تقریبـاً بـا نیـاز گونـه هـایی نظیـر *P.monodon*، *P.stylirostris,P.vannamei* و *P.chinensis*، تحت شرایط پرورش نیمه متراکم مطابقت دارد.

۳-۱-۱-۱۷) سازگاری با سایر عوامل

بر خلاف نقش گونه ها، مراحل رشد یا عوامل زیست محیطی از سوی محققـان چنـدان مـورد توجـه قـرار نگرفته است. اکثر مطالعات روی میگوهای جوان یک گرمی و برخی روی پست لارو صورت گرفتـه و از تغییرات ممکن بین نیاز میگوهای یک گرمی و میگوهای ۲۵ گرمی صرف نظر شده اسـت. در اوایـل دهـه ۱۹۷۰ دانشمندان ژاپنی نوعی جیره غذایی را برای میگوی ژاپنی از مرحله جوانی یا حتـی مرحلـه لاروی تـا مرحله بلوغ پیشنهاد کردند. این غذا شامل غذای فرموله شده حاصل از مواد خام با کیفیت بـالا (اسـکوئید، کریل و آرد ماهی) و بر اساس استانداردهایی بود که محدوده خطا را در نظر می گرفت. ایـن غـذا مـدت زمان زیادی مورداستفاده قرار نگرفت و متخصصین تایوانی خـوراک هـای متنـوعی را بـرای *P.monodon* تولید نمودند که در جدول ۲-۱۷ ارائه شده است. سایر تولیدکنندگان غذا با در نظـر گـرفتن ایـن واقعیـت که در پرورش نیمه متراکم، میگوی جوان عمدتاً از تولید طبیعـی تغذیـه مـی کنـد، توصـیه نمودنـد کـه در ابتدای دوره پرورش به جای استفاده از غذاهای پرپروتئین که برای تغذیه میگوهای بزرگ استفاده میشـود، از غذایی با محتوای پروتئینی کمتراستفاده کنند. باید توجه داشت که در مورد میگو نیز همانند ماهی فرض بر این است که دما و شوری تاثیری در سطح بهینه پروتئین ندارند.

جدول ۲-۱۷) تغییر در مقدار پروتئین غذا متناسب با مراحل رشد میگو (سطوح پیشنهادی)

مقدار پروتئین (درصد از ماده خشک)	مرحله رشد یا وزن زنده انفرادی
٤۲	پست لارو تا یک گرمی
٤۱	۵- ۲ گرم
٤۰	۱۰-۵ گرم
۳۷	۲۰-۱۰ گرم
۳۵	۲۵-۲۰ گرم

۲-۱-۱۷) نیازهای اسیدهای آمینه ضروری

انجام مطالعات با استفاده از استات یا گلوکز حاوی C^{14} این امکان را فراهم نمود تا اسیدهای‌آمینه ضروری ۱۰ گونه از سخت پوستان، میگو و خرچنگ شناسایی شود. فهرست این اسیدهای‌آمینه مشابه اسیدهای‌آمینه ضروری در ماهی است (جدول۱-۶).

نحوه تنظیم اسیدهای‌آمینه ضروری به صورت جزئی مطالعه شده است. برخی محققان عضله میگو و برخی دیگر پروتئین صدف *Ruditapes philipinarum) Malina*) که نرم تنی با ارزش غذایی فوق العاده برای میگوست را به عنوان پروتئین های مرجع انتخاب نموده اند. به دلیل کمبود اطلاعات کافی در مورد مقدار نیاز به هر نوع اسید آمینه ضروری، فرمولاسیون بر پایه پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری عضله میگو پیشنهاد شده است. در این مورد پیشرفت های نسبتاً اندکی صورت گرفته که علت آن مشکلات تکنیکی موجود، بویژه آبشویی اسیدهای‌آمینه خالص ضروری از غذاهای آزمایشی به سبب کندی در مصرف (فصل۱۶) یا در تماس بودن با آب برای مدت طولانی می باشد. بتازگی روش های مکمل سازی با استفاده از آرژنین کپسوله شده (پوشش‌دار)، امکان دسترسی به روش های تعیین مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری در *P.monodon* را فراهم نموده است. انتظار می رود که این روش بزودی در مورد سایر اسیدهای‌آمینه ضروری مهم از نظر اقتصادی، بکار رود. بر این اساس فرمولاسیون باید نه بر اساس کل پروتئین مورد نیاز، بلکه بر اساس مجموع نیازهای مشتمل بر کل پروتئین و اسیدهای‌آمینه ضروری صورت گیرد.

اطلاعاتی در مورد قابلیت دسترسی اسیدهای‌آمینه ضروری در ذرات غذایی و همچنین سطوح پیشنهادی هر اسید آمینه ضروری بدست آمده است (Akiyama *et al*., 1989). در اینجا اشاره به دو نکته ضروری است: احتمالاً نیازهای پروتئین در سخت پوستان نسبت به مهره داران رابطه مستقیم کمتری با رسوب پروتئین دارد که علت آن سنتز کیتین به عنوان پلی هولوساید حاوی ۴۳ درصد پروتئین خام می باشد. علاوه براین، چنین تصور می شود که اهمیت فسفاژن (ساخته شده از آرژنین) در متابولیسم انرژی رابطه بین اسیدهای‌آمینه ضروری پروتئین های بدن و نیاز به این اسیدهای‌آمینه را کاهش می دهد. به عبارت دیگر، تعیین نیازهای واقعی اسیدهای‌آمینه ضروری و غیر ضروری در مورد میگوها دشوارتر از مهره داران است.

۳-۱-۱۷) انرژی و هیدراتهای کربن

۱-۳-۱-۱۷) انرژی

برآورد مصرف انرژی جیره غذایی در میگو تاکنون به صورت کامل انجام نگرفته است. در سطح آزمایشگاهی معمولا اصطلاح انرژی قابل هضم و با استفاده از ضرایبی که همواره مناسب نیستند، محاسبه می شود. تاکنون اندازه گیری قابلیت هضم پروتئین ها و بویژه چربی‌ها وهیدراتهای کربن انگشت شمار بوده است. ظاهراً میگو نیز مانند ماهی مقادیر قابل توجهی از چربی ها و هیدراتهای کربن را به عنوان انرژی مور د استفاده قرار می دهد، بنابراین استفاده معقولانه از این دو ماده مغذی درشت مولکول موجب صرفه‌جویی در مصرف پروتئین جیره غذایی می شود. از اینرو نیازهای روزانه انرژی برای هرگونه با تعیین مرحله رشد و دما به عنوان تنها عوامل اصلی بیان می شود (Cazon and Guillaume, 1997). با کسب این داده ها می توان نسبت پروتئین به انرژی را تعیین نمود که برای مثال برحسب گرم پروتئین بر مگاژول از انرژی قابل هضم بیان می شود (انرژی قابل هضم/ پروتئین قابل هضم، فصل۵).

۲-۳-۱-۱۷) هیدراتهای کربن قابل دسترس

چون تهیه جیره هایی با محتوای پروتئین خام کمتر، فضای بیشتری را برای استفاده از هیدراتهای کربن باقی می گذارند، این مواد مغذی اهمیت روزافزونی یافته اند. در برخی گونه ها قابلیت ذخیره برخی هیدراتهای کربن، قندهای ساده، دی ساکاریدها یا پلی ساکاریدها ثابت شده است. میگو نیز مانند ماهی پس از جذب هیدراتهای کربن مقدار مشخصی از افزایش قند خون را نشان می دهد و گاهی اثرات منفی این پدیده بر رشد چشمگیر است (هرچند رابطه بین علت و معلول هنوز دقیقا مشخص نشده است). در رابطه با هضم یا استفاده متابولیک از هیدراتهای کربن پیچیده مطالعات کمی صورت گرفته است.

امروزه نشاسته به میزان ۲۰ تا ۴۵ درصد در غذای میگوی *P.monodon* گنجانده می شود که از منابعی نظیر برنج، گندم، ذرت، سیب زمینی و ساگو(قابل استحصال از نوعی نخل در خاور دور) یا کاساد بدست می آید. مطالعات آزمایشگاهی جدید ثابت نموده اند که برخی میگوها بر خلاف ماهی، وجود سطح بالایی از نشاسته را در جیره غذایی خود بخصوص به صورت خام بخوبی تحمل می کنند.

در میگوی *P.vannamei* قابلیت هضم نشاسته خام ۷۰ تا ۹۰ درصد و نشاسته ژلاتینه ۹۳ تا ۹۶ درصد است بطوریکه گنجاندن مقادیر ۲۰ تا ۳۵ درصد نشاسته در جیره غذایی، حداقل در این گونه می تواند عملکرد خوبی را بهمراه داشته باشد. بنابراین، استفاده از نشاسته در جیره غذایی میگو به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین همانند استفاده از چربی در غذای ماهی، منطقی بنظر می رسد. هر چند به سبب بروز پاره‌ای از مشکلات مرتبط با افزایش قند خون در میگو باید میزان مصرف متابولیک گلوکز مشخص شود.

۲-۳-۱-۱۷) هیدراتهای کربن غیر قابل دسترس

کاراپاس سخت پوستان عمدتا از کیتین که پلی مری از ان-استیل-گلوکزآمین است تشکیل شده است. برخی مطالعات تاثیر مثبت افزودن گلوکوزآمین به جیره غذایی میگو را مورد توجه قرار داده اند، هرچند که میگو قادر به ساخت این ماده بوده و چنین بنظر می رسد که نیاز به گلوکوزآمین در میگو نیمه ضروری است. این موضوع می تواند بیانگر علت ارزش بالای آرد میگو باشد زیرا کیتین تا حدی قابل هضم است. به رغم وجود کیتاناز در میگو، ظاهراً قابلیت هضم کیتین پایین بوده و در میگوی *P.stylirostris* کمتر از ۱۰ درصد است. تغذیه مجدد میگوهای مجاور از مواد حاصل از پوست‌اندازی میگوها، بواسطه توزیع جیره های غذایی نامتعادل، شدیدتر می شود درحالیکه با استفاده از غذاهایی با کیفیت مناسب استفاده از این مواد کاهش می یابد. همچنین این پدیده نیاز به گلوکوزآمین را تحت تاثیر قرار می دهد. البته ماهیت نیمه ضروری بودن این ترکیب قندی- پروتئینی هنوز مورد تایید قرار نگرفته و ممکن است که تاثیر مثبت آرد میگو دلایل دیگری داشته باشد.

بنظر می رسد که سلولز در کاریدهای گرمسیری از قبیل میگوهای بزرگ آب شیرین که دارای سلولاز می باشند تا حدودی قابل هضم باشد. این در حالیست که در میگوهای پنئیده که فیبر در آنها تنها نقش پرکنندگی را دارد، این وضعیت وجود ندارد. برخی تولیدکنندگان غذایی میگو تلاش می کنند تا ذخیره فیبر خام را درسطح خیلی پایین نگه دارند (کمتر از یک درصد در خوراک های فیلیپینی مورد استفاده برای *P.monodon*) بسختی می توان گفت که این محدودیت واقعا چه مزیتی برای جیره بهمراه دارد.

٤-۱-۱۷) چربی ها

۱-٤-۱-۱۷) چربی ها به عنوان منبع انرژی

مطالعات مختلف نشان می دهند که میگوها در برابر میزان چربی جیره حساسند، زیرا در سطوح بالاتر از ۱۰ درصد و یقیناً در سطح ۱۵ درصد رشد آنها کاهش می یابد. در نتیجه، استفاده از این مواد مغذی به عنوان منبع انرژی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تاثیر منفی سطوح بالای چربی در حالت فیزیکی پلت هایی که تحت فشار شکل گرفته اند، دلیل دیگری بر کاهش سهم این مواد مغذی درشت مولکول در جیره غذایی است. از سویی مطالعات اخیر نشان داده است که رشد میگوی چینی در صورت استفاده از جیره های حاوی ۱۵ درصد چربی، کاهش نمی یابد. این موضوع نیاز به تایید داشته تا در مورد سایر گونه‌ها نیز تعمیم داده شود. به موازات آن، تعیین قابلیت هضم ظاهری چربی ها در این شرایط جدید ضروری است چون مشخص شده که قابلیت هضم چربی ها به ازای گنجاندن ۴ تا ۱۰ درصد آنها در جیره غذایی در حدود ۸۵ درصد می باشد. بعلاوه، استفاده از چربی ها در یک دوره پرورشی باید با در نظر گرفتن اثرات ناشی از افزایش ذخیره چربی ها مطالعه عواقب احتمالی آن بر ترکیب عضله و هپاتوپانکراس همراه باشد.

۲-٤-۱-۱۷) نیازهای اسید های چرب ضروری

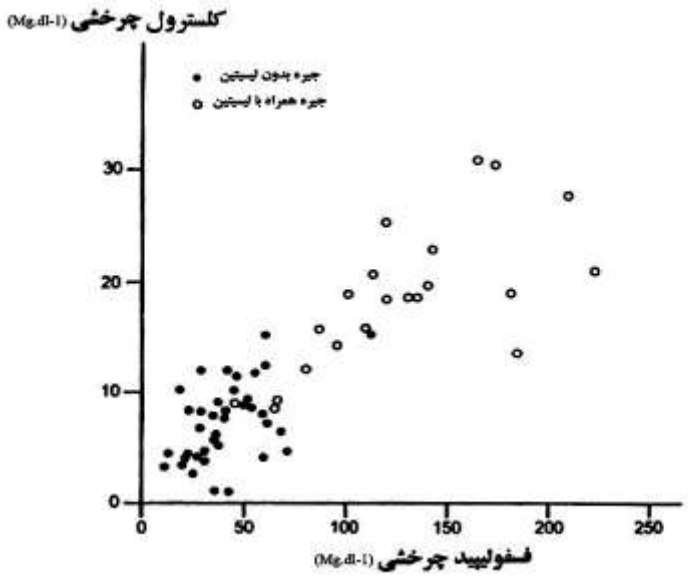
خانواده اسیدهای چرب ضروری درمیگوها مشابه مهره داران بوده و شامل سری۳-n یا ۶-n میشود (فصل۷). ضمن اینکه گونه هایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته اند(عمدتا میگوی ژاپنی) ظرفیت خیلی کمی برای استفاده از اسیدهای چرب غیر اشباعC۱۸ به منظور ساخت سایر اسیدهای چرب غیر اشباع مانند EPA,DHA و اسید آراشیدونیک دارند. چنین بنظر می رسد که توانایی تبدیل زیستی میگو حتی کمتر از ماهیان دریایی است و نیازهای سری ۳-n (شامل EPA,DHA) حداقل در مورد میگوی ژاپنی بالاتر است. البته میزان نیاز به اسید آراشیدونیک به درستی شناسایی نشده است.

این دسته از اسیدهای چرب در روغن و آرد حیوانات دریایی از جمله روغن کبد ماهی کاد به میزان زیاد وجود دارند. همچنین استفاده از منابع پروتئین حیوانی دریایی(به میزان ۵ تا ۸ درصد از جیره غذایی) موجب تامین نیازهای لارو و میگوهای جوان می شود.

۳-٤-۱-۱۷) کلسترول ها و فسفولیپیدها

یکی از جنبه های منحصربفرد تغذیه میگو نیاز به کلسترول است که ظاهراً در بندپایان به عنوان ویتامین عمل می کند. در عضلات سخت پوستان، مجموع استرول ها بیش از ۴۱/۵ درصد چربی ها را شامل شده و در میگو، کلسترول ۹۰ درصد کل استرول ها را تشکیل می دهد. در میگوهای دریایی و آب شیرین، کلسترول بخشی از دستگاه گردش خون یا لیپوپروتئین های غشا را شامل شده و به عنوان ماده اساسی برای سنتز ترکیبات مختلف مانند هورمون پوست اندازی، عمل می کند. اگر چه سخت پوستان قادر به ساخت هسته اصلی استرول نیستند، اما می توانند برخی از فیتواسترول ها (بویژه ارگوسترول و بتاسیتواسترول) را به کلسترول تبدیل نمایند. نقش تغذیه ای فیتواسترول ها تا اندازه ای کمتر از کلسترول است. با این وجود، اثرات مثبت ناشی از افزودن کلسترول با استفاده از جیره های غذایی آزمایشگاهی کم وبیش خالص، به اثبات رسیده است. استفاده از این جیره ها هنگام مصرف خوراک های مصنوعی که شامل ترکیبات مختلف بویژه آرد میگو، آرد جلبک و حتی کنجاله های روغنی (نارگیل و سویا) است و استرول های مورد استفاده سخت پوستان را فراهم می کنند، کاهش می‌یابد.

سایر جنبه های منحصربفرد استفاده از غذاهای چربی دار در تغذیه سخت پوستان، فسفولیپیدها هستند که تنها به عنوان منابع فسفر، اسیدهای چرب غیر اشباع، اینوزیتول یا کولین ایفای نقش نمی‌کنند. فسفولپیدها اولاً امولسیون ساز بوده و از عوامل مورد نیاز برای تشکیل میسل ها در دستگاه گوارش محسوب می شوند. این مواد همچنین سازنده لیپوپروتئین های مورد نیاز برای انتقال کلسترول بین سلول های جذب کننده و اندام های هدف می باشند. سنتز فسفولیپیدها توسط سخت پوستان بکندی صورت می گیرد از اینرو برخی مواقع به عنوان محرک رشد عمل می کنند. این مواد تاثیر یکسانی نداشته و در این رابطه معمولاً فسفاتیدیل کولین بیشترین نقش را ایفا می‌کند. تا زمانیکه محتوای کلسترول جیره غذایی پایین است نیاز به تمامی فسفولیپیدها بالاست. بین فسفولیپید- کلسترول در همولنف حیوانات بخصوص لابستر رابطه آشکاری وجود دارد و در این بین تغذیه یا عدم تغذیه با لسیتین تاثیر چندانی ندارد (شکل۱-۱۷). در رابطه با نقش فسفولیپیدها در لابستر اختلاف نظر وجود دارد، اما این مسئله در میگو کاملا به اثبات رسیده و این ترکیبات برای پست لارو میگوهای جوان و نیز برای مولدین ضروری می باشند. افزودن فسفولیپیدها به جیره‌های مصنوعی مولدین موجب افزایش تعداد تخم و میزان تفریخ می شود.



شکل ۱-۱۷) ارتباط بین کلسترول و فسفولیپید در لابستر(d'Abramo *et al.*, 1982)

در شرایط معمولی، فسفولیپیدها به شکل لسیتین و در مقادیر ۰/۵ تا ۳ درصد از جیره غذایی قابل تامین هستند. بنا به دلایل تکنولوژیک، فسفولیپیدها به صورت خالص در غذا گنجانده می شوند. به این ترتیب، استفاده از ۰/۵ درصد از لسیتین سویا که دارای حداقل ۶۵ درصد فسفولیپید است امولسیون چربی ها را تسهیل نموده و موجب همگن شدن مخلوط ذرات می شود.

۵-۱-۱۷) ویتامین ها

در مراکز پرورش میگو برخی بیماری ها و ناهنجاری ها از جمله بیماری مرگ سیاه، سندرم مرگ و میر ناشی از پوست اندازی، بیماری لکه آبی، کاهش رشد و غیره به کمبود ویتامین نسبت داده می شوند. در حال حاضر در رابطه با استفاده از مواد غذایی ویتامین دار در میگو بسیار کمیاب بوده و غالبا محدود به مطالعات کیفی است. در میگو مولکول های آلی مورد نیاز یا همان ویتامین ها مشابه نیازهای ماهی به

اضافه کلسترول است. نیاز به بازهای پورین که در مورد آرتمیا شناسایی شده، احتمالا در میگوهـای پنئیـده وجود ندارد.

به سبب بروز وضعیت ناپایداری پلت های غذایی ناشی از آبشویی آنها پس از قـرار گـرفتن در آب، میـزان نیاز به ویتامین ها بطور کامل شناسایی و تعیین نشده است. مطالعات انجام شده در مورد پلت های آبشـویی شده نشان می دهد که ویتامین های محلول در آب بخصوص دسته‌ای که بـه شـکل آزاد بـه ترکیـب اولیـه افزوده می شوند، بویژه ویتامین C، سریع تر در آب حل می شوند. ایـن وضـعیت بـه علـت تجزیـه ویتـامین های ناپایدار در محیط قلیایی آب دریا، تشدید می شود که در رابطه بـا ویتـامین C نیـز ایـن حالـت وجـود دارد. ازینرو محققان در ابتدا مقادیر بیش از حد نیـاز ایـن دسـته از مـواد را در ترکیـب جیـره غـذایی بکـار میبردند. با پیدایش اشکال پایدار ویتامین C مانند پلی سولفات آسـکوربیل وضـع بـه گونـه ای دیگـر تغییـر نمود. این ترکیب به آسانی هیدرولیز شده و سپس از روده میگـو جـذب مـی شـود و ایـن امکـان را ایجـاد میکند تا مطالعات دقیق تری در مورد نیازها آغاز گردد. به این ترتیب در تغذیـه میگوهـای *P.monodon* و *P.vannamei* استفاده از ویتامین C با دوز ۱۰۰ تا ۵۰۰ قسمت در میلیون جهت حداکثر رشد و بقا کفایـت کفایت می کند، درحالیکه برخی محققان آسکوربیک اسید را تا سطح ۲ تا ۳ درصد از جیره غـذایی بکـار می بردند. برآورد نیازهای سایر ویتامین ها طی آزمایشهای رشد و بقا، در جدول ۳-۱۷ ارائه شده است.

٦-۱-۱۷) مواد معدنی

مطالعات کمی در مورد نیاز به مواد معدنی در میگوها انجام شده است این در حالیست که سخت پوسـتان در هـر بـار پوسـت انـدازی مقـدار زیـادی از عناصـر غیـر آلـی، بـویژه کلسـیم را از دسـت مـی دهنـد. سخت‌پوستان همچون ماهی ها قادر به جذب کلسیم، فسفر و احتمالا بسیاری از عناصر محلول از آب دریـا می باشند. بنا به تصور برخی محققان، حضـور اسـکلت خـارجی کاراپـاس اثـری برکـاهش چشـمگیر ایـن توانایی ایجاد نمی کند.

جدول ۳-۱۷) مقدار نیاز به ویتامین ها در برخی از میگوها و استاندارهای پیشنهادی (میلی گرم بر کیلوگرم) (Conklin,1997)

ویتامین	*P.japanicus*	*P.monodon*	*P.vannamei*	*Macrobrachium*	سطوح توصیه شده
تیامین	٦۰	۱۵	–	–	٦۰
ریبوفلاوین	–	۲۲	–	–	۲۵
نیاسین	–	۷	–	–	٤۰
پیرودوکسین	٦۰	–	–	–	۵۰
پانتوتنیک اسید	–	–	–	–	۷۵
بیوتین	–	–	–	–	۱
فولیک اسید	–	–	–	–	۱۰
ویتامین B_{12}	–	۰/۲	–	–	۰/۲
کولین	٦۰۰	–	–	–	٦۰۰
میو- اینوسیتول	٤۰۰	–	–	–	٤۰۰
ویتامین C (فرم تثبیت شده)	۹۹	۲۰۹	۱۲۰	۱۰٤	۲۰۰
ویتامین A	۲/٤	–	–	–	۵۰۰۰ UI
ویتامین E	–	–	۱۰۰	–	۱۰۰
ویتامین D	۰/۲	۰/۱	–	–	۰/۱
ویتامین K (فرم حلال در چربی)	–	–	–	–	۵
ویتامین K (فرم حلال در آب)	–	۳۵	–	–	–

نیاز به استفاده از منبع غذایی حاوی کلسیم در سخت پوستان دریایی به اثبات نرسیده است درمقابل، با توجه به کم اهمیت بودن نسبت فسفر به کلسیم در این دسته از سخت پوستان، به منظور تعیین حداقل فسفر مورد نیاز میگو تلاش هایی صورت گرفته است و مشخص گردیده که اشکال مونوفسفات به سبب قابلیت حلالیت، بهتر مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجاییکه میگو از معده واقعی برخوردار نیست، فقط فسفاتهایی که در محیط کمی قلیایی تجزیه می شوند را به طور موثر مورد استفاده قرار می دهد که این حالت در مورد بی‌کلسیم فسفات وجود ندارد. با این استدلال امروزه جیره های غذایی میگو شامل

مونوفسفات سدیم یا پتاسیم است. بیان این نکته نیز حائز اهمیت است که میگوهای پنئیده ظرفیت کمی برای مصرف فیتیک فسفر دارند.

در رابطه با نیاز به عناصر کمیاب، برخی محققان افزودن مخلوط این عناصر را به میزان یک درصد به غذا پیشنهاد نموده اند. عده ای دیگر بر این اعتقادند که میگو این عناصر را از طریق آب دریا بدست آورده و تنها به افزودن مس (حداقل ۶۰ قسمت در میلیون در غذا) اکتفا می کنند، چون سخت پوستان نیاز ویژه ای به این فلز داشته و مس در ساختار هموسیانین که مشابه هموگلوبین در مهره داران است، شرکت دارد.

۷-۱-۱۷) سایر موارد

ورود مواد غذایی به بدن سخت پوستان بدون در نظر گرفتن نقش ویژه عوامل جذب کننده غذایی اهمیت ندارد. این در حالی است که ماهیت آنها تنها در تعداد اندکی از گونه ها مورد بررسی قرار گرفته است. در برخی مناطق، استفاده از عوامل رشد به ویژه آرد اسکوئید توصیه شده است، هرچند مولکول فعال آن جدا نشده است.

۲-۱۷ - غذادهی میگو در سیستم پرورش تجاری

۱-۲-۱۷) اهمیت فرآوری

میگو به سبب نوع زوائد دهانی و دهان خود بندرت قادر به بلعیدن تمام ذرات غذای توزیع شده درآب است. بنابراین، میگو غذا را تکه تکه کرده و آن را بتدریج می بلعد که این امر بطور اجتناب‌ناپذیری منجر به آبشویی ذرات غذایی می شود که پیش از این به آن اشاره شد. وعده های غذایی اغلب در شب، سپیده دم یا غروب داده می شوند و بنابراین، بدون استفاده از یک توزیع‌کننده خودکار، تامین غذا هماهنگ با ریتم تغذیه ای میگو کار دشواری است. هرچه غذا به مدت طولانی تری در آب باقی بماند، آبشویی تشدید شده و عواقب ناشی از آن وخیم تر می‌گردد. حتی اگر غذا ترکیب مطلوبی داشته باشد، درصورت غوطه وری در آب به صورت فعال تحت عمل آبشویی قرار گرفته و ارزش تغذیه ای آن نامشخص و متغیر خواهد بود. در موارد حاد ممکن است پلت ها پس از غوطه وری در آب مجدداً تجزیه شده و به شکل سوپ درآیند که در این صورت میگو قادر به خوردن آن نخواهد بود، هرچند این وضعیت تولید طبیعی را افزایش داده و بصورت غیر مستقیم در تغذیه میگو ایفای نقش می کند.

همه این موارد نقش پایداری پلت ها را در غذادهی میگو بیان کرده و اهمیت مطالعات کاربردی را با هدف بکارگیری تکنیک های موثر در حفظ پایداری خوراک نشان می دهد.

۲-۲-۱۷) انواع خوراک های اصلی

تکنیک های مختلف مورد استفاده توسط تولیدکنندگان غذای آبزیان همراه با جزئیات بیشتر در فصل ۲۱ تشریح خواهند شد. اما در اینجا لازم است تا به تعریف دو نوع از غذاهای میگو شامل خوراک های پلت شده و اکسترود شده پرداخته شود. پلت ها ممکن است به صورت خشک (فرآوری صنعتی) یا مرطوب ساخته شوند.

۱-۲-۲-۱۷) خوراک های پلت شده خشک

خوراک های مورد استفاده برای تغذیه میگو بواسطه فشردن مخلوطی از ذرات غذایی و سپس خروج آنها از طریق منافذ ریز به ضخامت ۲/۷ تا ۳/۵ میلی متر همراه با تزریق بخار تولید می شوند. پلت های تولید شده ۱/۷ تا ۲/۵ میلی متر قطر و ۵ میلی متر طول دارند. این پلت ها محکم بوده و شکل خود را در آب حفظ می کنند که بواسطه استفاده از ترکیبات چسباننده مانند خاک رس، پلیمرها، لیگنوسولفانات ها، نشاسته ژلاتینه، گلوتن گندم و غیره در ترکیب آنها می باشد. در این رابطه ترکیبات نوع فرمالدئید اوره بسیار موثر است، ولی براساس قوانین اروپا و آمریکا مصرف آنها ممنوع می باشد. دربرخی موارد هدف از کاربرد ترکیبات همبند در ساختار پلت ها بهبود عملکرد آنهاست و اغلب لازم است که عملیاتی حداقل در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و تحت فشار روی آنها انجام شود.

برخی کارخانجات تولید غذا دارای واحدهای رسیدگی غذا[1] هستند که شامل مخلوط کن هایی است که در آنها ذرات غذایی در اثر تماس با بخار به مدت چند دقیقه، مخلوط می شوند. این مرحله در مورد خوراک های دارای گلوتن گندم بسیار مفید است چون نسبت به پلت های تشکیل شده در فرآیندهای بدون واحدهای رسیدگی پایداری بیشتری دارند. از سویی باید توجه داشت که اغلب تولیدکنندگان روش‌های دقیق مورد استفاده را محرمانه نگه می دارند.

[1] maturation chambers

۲-۲-۲-۱۷) خوراک پلت شده مرطوب

این نوع پلت ها از طریق فشردن خمیر و خروج آنها از یک صفحه نازک با استفاده از دستگاههایی تولید میشوند که به طور وسیع در صنایع غذایی یا دارو سازی مورد استفاده قرار می گیرند. محصول ابتدایی به شکل اسپاگتی بوده و پس از خشک شدن و الک شدن، بر اساس دانه بندی مورد نظر تنظیم می شوند. از نظر متخصصان آبزی پروری این پلت ها دارای ارزش زیادی هستند و عمدتاً در طول مرحله نوزادی (پس از دگردیسی) مورد استفاده قرار می گیرند. در صورتیکه این پلت ها دارای گلوتن باشند پایداری آنها در آب نسبتا بالا می باشد، ضمن آنکه گلوتن شبکه ای را تشکیل داده و سایر ذرات غذایی را به دام می‌اندازد. در مجموع، طی این فرآیند اسپاگتی به قطر ۰/۸ میلی متر یا حتی ۰/۶ میلی متر مستقیماً تشکیل می شود که پس از خشک شدن براحتی می توان آن را خرد نموده و به این ترتیب، اندازه مورد نظر را تولید کرد تا میگو بتواند ذرات را مستقیما و بدون خرد کردن آن به قطعات ریز، ببلعد. تاکنون از این تکنولوژی در مقیاس صنعتی استفاده نشده است.

۳-۲-۲-۱۷)خوراک های اکسترود شده

تولید خوراک به روش اکستروژن در مقیاس صنعتی مورد استفاده است، هرچند گسترش آن کمتر از روش پلت زنی است. در این روش از نشاسته ژلاتینه شده اکسترودر به منظور چسباندن ذرات به یکدیگر استفاده می شود. همین اثر را می توان با استفاده از پروتئین های ترکیبی سویا بدست آورد.

کاربرد این فرآیند در تغذیه میگو به دلیل قابلیت حجیم شدن مواد در حین خارج شدن از منافذ، به برخی تنظیمات نیاز دارد تا توده هایی با قطر کمتر از ۳ میلی متر حاصل شود. اعمال دستاوردهای تکنولوژیک روی صفحه خروجی (ایجاد منافذی با قطر یک میلی متر) و همچنین روی لوله اکسترودر، موجب شده تا امروزه استفاده از این فرآیند به رغم هزینه بالای آن، بطور روز افزون افزایش یابد.

فرآیند پخت به روش اکستروژن راهکاری برای آینده است زیرا این فرآیند باعث می شود که ذرات بدست آمده، نرم و انعطاف پذیر باقی بمانند و ضمن حفظ پایداری از فشردگی بالایی برخوردار باشند. اگر اندازه غذای اکسترود شده مناسب باشد(حدوداً با قطر یک میلی متر)، میگو قادر خواهد بود تا همانند مصرف پلت های مرطوب، آن را به صورت کامل ببلعد.

۳-۲-۱۷) جیره های روزانه

جیره ها براساس بیومس متوسط انفرادی میگوها تنظیم شده و به این منظور حداقل از نظر تئوری، نوع گونه پرورشی و درجه حرارت مد نظر قرار می گیرد. نمونه هایی از تعیین جیره های روزانه در جدول ۴-۱۷ در مورد میگوهایی با وزن ۰/۲ تا ۵ گرم ارائه شده است.

جدول ٤-۱۷) نمونه ای از جدول غذادهی. این جیره غذایی دستیابی به ضریب تبدیل غذا به میزان حدود ۱/۸ در استخرهای ۲۰۰۰ مترمربعی را فراهم می کند.

سطح غذادهی به صورت درصد از بیوماس	میانگین وزن انفرادی میگو ها در استخر(گرم)
۲۰-۱۷	۱- ۰/۲
۱۷-۱٤	۲-۱
۱٤-۱۱	۳-۲
۱۱-۹	۵-۳

٤-۲-۱۷) روش های توزیع غذا

روش مورد استفاده برای توزیع غذا از عوامل اصلی و موثر در موفقیت یک مزرعه پرورشی است. میگو عادت به تغذیه تدریجی داشته و به محض توزیع غذا به سمت غذا حرکت نمی کند. از اینرو از نظر تئوری چندین وعده غذادهی در روز ضروری است.

در پرورش متراکم باید توزیع غذا ۴ بار در روز به صورت دستی و با قدم زدن در اطراف استخر صورت گیرد. با قرار دادن سینی های کنترل شده در کف استخر می توان به پرورش دهنده این امکان را داد تا میزان غذای خورده شده را تشخیص داده و بر این اساس مقدار غذای توزیع شده در وعده های مختلف غذایی را تنظیم کند. راه حل دیگر، استفاده از غذاده های اتوماتیک با قابلیت برنامه دهی است که میتوانند تا بیست وعده غذایی در روز را در یک استخر ۱۰۰ مترمربعی توزیع کنند. این روش توزیع، پایداری

ضعیف برخی از پلت ها را در آب جبران کرده و مصرف موثرتر آنها را بدنبال دارد. با این حال در پرورش نیمه متراکم با استفاده از استخرهای چندهکتاری، توزیع غذا معمولاً یک بار در روز آن هم در اواخر عصر بر اساس مقادیر تعیین شده از طریق مدل های رشد قابل انتظار انجام می شود.
غذادهی میگوی آب شیرین با مشکلات ویژه ای همراه است. بر خلاف خانواده هایی مانند پنئیده که در سرتاسر استخر حرکت می کنند، میگوهای آب شیرین رفتار قلمروطلبی شدیدی داشته و توزیع غذا باید در قلمروی هر حیوان به عبارت دیگر به طور هماهنگ در تمام سطح صورت گیرد.

۵-۲-۱۷) بازدهی غذا

اندازه گیری بازدهی غذادهی حتی در شرایط آزمایشگاهی به سبب خطاهای موجود در اندازه گیری میزان جذب و تغذیه مجدد از مواد حاصل از پوست اندازی و غیره کار ساده ای نیست. با این وجود، FCR اصطلاحی رایج در بین پرورش‌دهندگان است که معمولاً بر اساس غذای توزیع شده به ازای بیومس تولیدی در طول یک دوره ۳ تا ۶ماهه برآورد می شود. این معیار، شاخصی از بازدهی کلی تولید را نشان می دهد.
در میگوها FCR به نوع مزرعه پرورشی و به روش توزیع بستگی دارد. مقادیر بدست آمده از مزارع پرورشی آزمایشی (بدون استفاده از غذای طبیعی) و همچنین مزارع پرورش متراکم، معمولاً ۱/۸ تا ۲/۲ بوده که خیلی بیش از مقادیر اندازه گیری شده در ماهیهاست و احتمالاً به دلیل تولیدات ناشی از مواد پوست اندازی شده است که در نظر گرفته نشده است. در سیستم های پرورش نیمه متراکم، FCR بزرگتر است (۲/۲ تا ۲/۵)، اما در سیستم هایی با عملکرد بهتر می توان این مقادیر را به ۱/۴ تا ۱/۶ و یا حتی کمتر رساند. کاملا واضح است که دراین رابطه، تولیدات طبیعی استخر در تامین غذای حیوان نقش زیادی دارد. در برخی موارد، چنین می توان گفت که در پروش نیمه متراکم، در صورتیکه مدیریت استخر در جهت فراهم شدن شرایط مطلوب برای گونه های رقیب با میگو باشد، FCR بیشترخواهد شد. در حالیکه اگر شرایط برای افزایش ارگانیسم های مورد مصرف میگو مناسب باشد این مقدار پایین خواهد آمد. در شرایط آزمایشگاهی FCR با مقدار ۱/۳ نیز حاصل شده و انتظار می رود پیشرفت های بیشتری در آینده حاصل شود. روش توزیع، اهمیت اساسی در افزایش هر چه بیشتر مصرف غذا دارد. بنابراین، استخرهایی که سطح کمی دارند مدیریت آنها ساده تر است. از نظر تجربی، افزایش تعداد وعده ها بهبود قابل‌توجهی در مصرف غذا را بدنبال داشته و علت آن کاهش هدررفت غذا (با استفاده صحیح از سینی های غذادهی)

و افزایش قابلیت دسترسی به غذاست بطوریکه رقابت بین میگوها را کاهش می دهد. ارزش تغذیه ای و پایداری پلت ها، همراه با کنترل کیفیت آب در استخرهای پرورش میگوکه هدف آن تولید میگو تحت شرایط بهینه رشد است، در افزایش بازدهی غذا بسیار موثر است.

۳-۱۷ - خلاصه

دانش و اطلاعات در مورد تغذیه میگو جز در زمینه مصرف چربی ها، پیشرفت کمتری نسبت به تغذیه ماهی داشته است. علت آن تا حدودی مربوط به مشکلات انجام آزمایشها بر اثر رفتار تغذیه‌ای میگو و در نتیجه آبشویی غذا و همچنین پدیده پوست اندازی است. علاوه بر این، ممکن است تعیین بهینه غذا در شرایط آزمایشگاهی با آنچه که برای استخرهای پرورش مناسب است، تفاوت داشته باشد.

به رغم این موضوع، برخی اطلاعات پایه و اساسی که در بعضی موارد با نظریات متخصصان تغذیه پستانداران در تضاد است، بدست آمده است. قابلیت هضم اسید فیتیک یا کیتین، کارآیی بهتر نشاسته خام نسبت به نوع ژلاتینه آن و نیاز به کلسترول و فسفولیپیدها و غیره از جمله این موارد است. البته تعداد این ویژگی های منحصربفرد اندک است. در بسیاری از موارد (پروتئین ها، اسیدهای چرب ضروری، ویتامینها و غیره) نیازهای میگو مشابه ماهی است، اما این نیازها مشابه تمام مهره داران نمی باشد.

در حقیقت ویژگی های ناشناخته اغلب بیشتر از خصوصیات منحصربفرد میگوست. جالب اینکه تاکنون عملاً هیچ اطلاعاتی در مورد پیامدهای تغذیه ای یک پدیده ذاتی مانند پوست اندازی بدست نیامده است.

درحالیکه پرورش میگو طی چند دهه اخیر از یک فعالیت سنتی به یک فعالیت بسیار مهم با مقیاس صنعتی تبدیل شده، فرمولاسیون و ساختن غذاهای مورد نیاز نیز در مقیاس وسیع، به رغم برخی خصوصیات غیرعادی سخت پوستان، بدون ایجاد مشکل خاصی، توسعه یافته است.

شاید مهمترین دلیل این وضعیت، پرورش نیمه متراکم میگو باشد چون در این روش نیازی نیست که خوراک های مصرفی همانند سیستم های پرورش متراکم، کاملا متعادل و تامین کننده تمام نیازها باشند. با این حال نتایج در مجموع رضایت بخش بوده است. با توجه به افزایش سریع نگرانی های اقتصادی و اکولوژیک بایستی دستورالعمل های جدید را مدنظر قرار داد. مشکلات جدی ناشی از آلودگی، استفاده هر چه سریع تر از جیره هایی با آلودگی پایین را الزامی می کند. همچنین کاهش سوددهی در مزارع، ضرورت انجام مطالعات دقیق تر در مورد نیازها و ویژگی های تغذیه ای گونه های مهم پرورشی را ایجاب می کند.

«فصل ۱۸»

مواد خام و افزودنی‌های مجاز در خوراک ماهی

مواد خام واجزای سازنده مختلف مورد استفاده برای ساخت خوراک ماهی و سخت پوستان را می توان با توجه به عواملی نظیر منشاء، ترکیب، خصوصیات تغذیه ای یا فیزیکوشیمیایی خاص و یا شاخص های معیارهای اقتصادی به چندین روش تقسیم بندی نمود. در جداول مربوط به ترکیب غذا، طبقه بندی عمدتاً بر اساس منشا مواد تولیدی صورت می گیرد که در این فصل و در جداول ضمیمه B ارائه شده است. تنها مواد نیمه خالص مانند نشاسته، نمک ها و اسیدهای‌آمینه بر اساس خصوصیات شیمیایی تقسیم بندی میشوند.

معمولا یک ماده خام خود یک غذا یا به عبارت دیگر منبعی از مواد غذایی است. این مواد شامل ذرات غذایی هستند که همراه با ترکیبات غذایی سلولزی(فصل ۸) در جداول ترکیب غذا ارائه میشوند (ضمیمه B). از سوی دیگر، اجزا سازنده خاصی مورد استفاده قرار می گیرند که به جای ایجاد توازن بیشتر فرمول غذایی، ویژگی های خاصی از جمله خوش طعمی، جاذبیت رنگ یا افزایش پایداری در آب را به آن می‌بخشند. برای مثال در سایر موارد، اجزا تشکیل دهنده اولیه دارای خصوصیات منفی بوده و از نظرکاربردی، حاوی مقادیر معینی از ترکیباتی هستند که می توانند در درجات مختلف مضر باشند. ماهیت و ویژگی آنها در فصل ۱۹ تشریح خواهد شد و در این فصل تنها به وجود این مواد اشاره می شود.

در این فصل، ویژگی های اصلی مواد خام به عنوان منبع مواد مغذی، جاذب ها، کاروتنوئیدها، فیبر و عوامل ضد تغذیه ای و اهمیت آنها در آبزی پروری تشریح شده و افزودنی ها به عنوان اجزا سازنده، در مفهومی گسترده مورد توجه قرار می گیرند.

۱-۱۸ - مواد خام اصلی با منشا حیوانی

۱-۱-۱۸) مزایا و معایب

این مواد تنها بخش کوچکی از غذای حیوانات پرورشی خشکی را تشکیل می دهند، اما مقدار آنها در جیره غذایی حیوانات آبزی تقریبا همیشه بیش از ۵۰ درصد است. هرچند میزان اندکی از مواد تولیدی با منشا حیوانی در تغذیه حیوانات همه چیز خوار خشک زی بکار می رود، اما امروزه کاربرد آنها در تغذیه ماهی افزایش یافته است. در صورت دقت در تنظیم جیره های غذایی بر اساس مقادیر توصیه شده معمول، مواد خام با منشاء حیوانی در مقایسه با مواد خام گیاهی خالص، امکان عملکرد رشد بهتر گونه های گوشتخوار را فراهم می سازند. دلایل مختلفی در جهت تایید این موضوع وجود دارد که چندان آشکار نیست. این دلایل شامل قابلیت هضم، پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری، خوش طعمی، غنی بودن از نظر ویتامین های گروه A و میزان عوامل رشد یا اسیدهای چرب ضروری است که معمولاً در فرآورده هایی با منشا حیوانی و بویژه حیوانات دریایی به میزان زیادی وجود دارند. مواد خام حیوانی همچنین به علت عدم داشتن ترکیبات سلولزی (فیبر) و قابل صرف نظربودن فاکتورهای ضد تغذیه ای در آنها، حائز اهمیت‌اند.

موضوع مهم در خصوص استفاده از مواد خام حیوانی، احتمال وجود پاتوژن هایی نظیر عامل پریون[1]، مسئول بیماری جنون گاوی اسفنجی (BSE[2])، در اجزا سازنده با منشا حیوانات خشک زی نظیر آرد گوشت یا آرد گوشت و استخوان است که بتازگی کشف شده است، هر چند بنظر نمی رسد که ماهی نسبت به پریون آسیب پذیر باشد.

---

[1] prion
[2] bovine spongiform encephalopathy

۲-۱-۱۸) آرد ماهی و سایر فرآورده های با منشأ دریایی

۱-۲-۱-۱۸) کلیات

این آردها منابع پروتئینی را تشکیل می دهند و چون غنی از اسیدهای‌آمینه ضروری بوده و پروفیل آنها تا حد زیادی مطابق با نیازهای مهره داران و بویژه ماهیهاست، بخوبی توسط ماهی مصرف می‌شوند. روغنهای موجود در این مواد، منبع فوق العاده ای از انرژی بوده و غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع با زنجیره طولانی هستند که حضور این اسیدهای چرب ضروری برای ماهی بسیار مهم است. این مواد خام همچنین منبع خوبی از املاح معدنی ضروری (مانند کلسیم، فسفر، منیزیم و عناصر کمیاب) و ویتامین ها (شامل ویتامین های B_{12}، A، B_3، کولین، اینوزیتول و نیز حداقلی از تمام ویتامین ها بجز آسکوربیک اسید هستند. ضمن آنکه اغلب کاروتنوئیدها را شامل می شوند.

بواسطه این ویژگی هاست که آرد ماهی نسبت به سایر مواد خام نقش قابل توجه و انکار ناپذیری در تغذیه آبزیان پرورشی ایفا می کند. از سوی دیگر، این مواد تنها به میزان کم در دسترس بوده و قیمت بالایی دارند. علاوه براین، معمولا در بازار جهانی، آبزی پروری در رقابت با سایر صنایع پرورشی (از قبیل طیور، خوک و حتی حیوانات خانگی) می باشد.

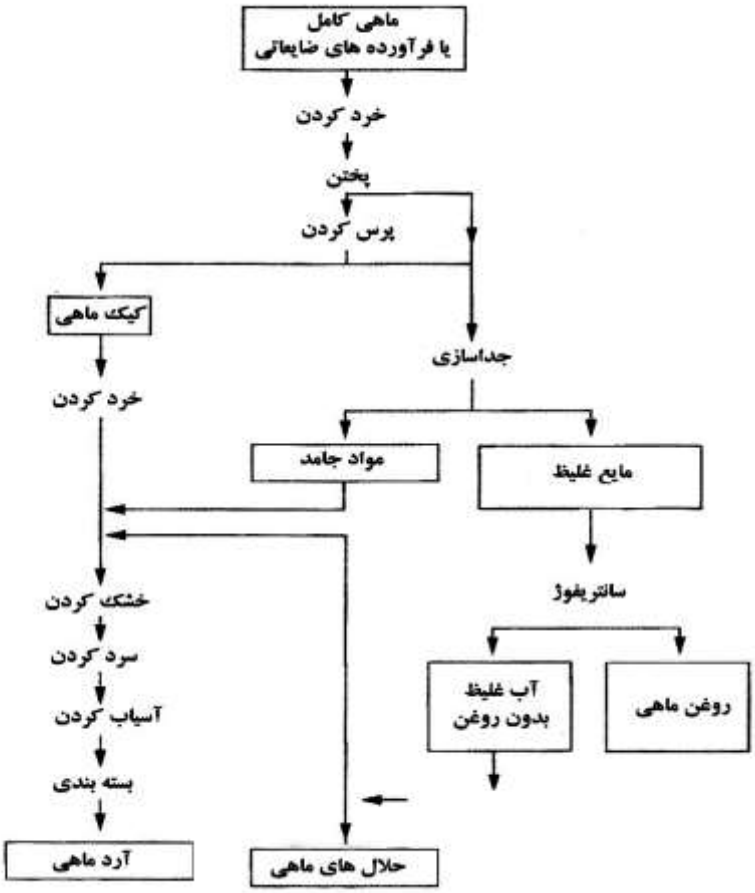
۲-۲-۱-۱۸) ساخت و کنترل کیفی آرد ماهی

مرحله اصلی در ساخت آرد ماهی، جدا کردن آب و روغن از ماده خشک (شکل ۱-۱۸) است. مواد خام ابتدا خرد شده، سپس به درون محفظه ای که دارای سیستم دوار گرم شونده است، انتقال می یابد (حدود ۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد). در این مرحله جداسازی اولیه بخش جامد (پروتئین های منعقد شده و قسمتهای استخوانی) و مایع (آب و روغن) صورت می گیرد.

با انتقال و سپس پرس کردن محصول، این فرآیند کامل شده و کیک (کنجاله) حاصله دارای بیش از ۵۰ درصد آب است. بخش مایع از محفظه لوله مانند تنگی عبور داده شده و سانتریفوژ می شود تا روغن آن گرفته شود. مایع باقیمانده غلیظ سازی و تبخیر شده و مجدداً به کیک حاصله اضافه می شود.

علاوه بر تازگی مواد خام، خشک کردن نیز عامل مهم دیگری است که کیفیت محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می دهد. این فرآیند می تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم (بدون تماس مستقیم بین محصول و منبع حرارت) صورت گیرد.

حداکثر دمای ماده اولیه اهمیت زیادی در کیفیت آرد دارد. یک آرد خوب نباید در معرض دمای بیش از ۹۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد. آردهای ساخته شده در دمای پایین از چندین سال پیش به بازار ارائه شده اند و محصولاتی را شامل می شوند که حداکثر دمای پخت یا خشک نمودن آنها به بیش از ۷۰ درجه سانتیگراد نمی رسد. در مورد تمام این آردها، سطح رطوبت باقی مانده حداکثر ۱۰ درصد بوده که دوام کافی فرآورده جهت خرید و فروش را تضمین می کند.



شکل ۱-۱۸) نمایی از روند ساخت آرد ماهی

مهمترین مشخصه کیفیت آرد ماهی که تحت تاثیر دمای فرآیند فرآوری است، قابلیت هضم پروتئین می‌باشد. این شاخص را می توان در ماهی و سخت پوستانی اندازه‌گیری کرد که آرد ماهی از غذای آنها تشکیل می شود یا در سمورآبی که حیوانی گوشتخوار بوده و تحقیق در مورد آن نسبت به حیوانات آبزی بسیار ساده تر است. بررسی قابلیت هضم در محیط آزمایشگاهی نتایج قابل اعتمادی را مشابه بررسی های داخل بدن موجود زنده فراهم نمی کند. با این وجود، می توان از این نتایج برای ارزیابی اولیه کیفیت آرد استفاده نمود. این موضوع در مورد آزمایش Torry و آزمایشهای چند آنزیمی صدق می کند. در این آزمایشها اثرات متابولیک زیانبار احتمالی ترکیباتی که ممکن است در جریان فساد ماهی، قبل یا هنگام فرآوری ظاهر شوند، مورد توجه قرارنمی گیرد. آمین های بیوژنیک اثر مثبتی بر فساد ماهی قبل از تبدیل شدن به آرد دارند. بطورکلی، اندازه گیری آمین های بیوژنیک چهارگانه خسته کننده بوده و بندرت انجام می شود. گیزرولین یکی از ترکیبات شناسایی شده و از گروه هیستامین می باشد ولی بسیار سمی تر از آن است. این ترکیب باعث تخریب سنگدان و به دنبال آن استفراغ سیاه می شود. این ماده را می توان با یک آزمایش ساده داخل بدن جوجه ها یا بوقلمون های جوان اندازه گرفت. اندازه گیری بازهای پورینی فرار(TVBN[1]) اطلاعات مشابه ای را بدست می دهد، ولی استفاده از آن به تنهایی داده های چندان قابل اعتمادی را ارائه نمی کند. معیارهای دیگر پیشنهادی در محیط آزمایشگاه، اندازه گیری گروههای سولفیدریل و پیوندهای دی سولفید است. هیچیک از این موارد، اطلاعاتی را بدست نمی دهد که بتوان آن را به میزان خیلی زیادی با عملکرد داخل بدن موجود زنده مرتبط دانست.

تکنیک های ساخت مختلفی مشابه با شمای کلی ارائه شده وجود دارند. این تکنیک ها در جهت کاهش قابل توجه هزینه های فرآوری و بهینه سازی کیفیت محصول نهایی، در حال بهبود می باشند. افزایش قابلیت هضم موضوع مهمی است که امکان کاهش مواد دفعی را در آبزیان پرورشی فراهم می کند.

۳-۲-۱-۱۸) تقسیم بندی فرآورده های مختلف

آرد ماهی : تمامی انواع آردهایی که از ماهی کامل ساخته می شوند ترکیب شیمیایی مشابهی دارند (۶۶ تا ۷۱ درصد پروتئین، ۹ تا ۱۲درصد چربی، ۱۲ تا ۱۵درصد خاکستر، به ضمیمه B مراجعه شود).

[1] total volatile basic-nitrogen

اما به رغم این واقعیت، ممکن است از نظر قابلیت هضم یا قابلیت دسترسی به سایر مواد مغذی، متفاوت از یکدیگر باشند. کشورهای اصلی تولید کننده آرد ماهی، هر یک خط مشی کیفی مشخصی را بر اساس معیارهای مطابق با محصولات خود تعریف کرده اند. نمونه ای از کیفیت ها به شرح ذیل است:

– **کیفیت نروژی**: این دسته از آردها از ماهی هیک، مارماهی شنی، کاپلین، هرینگ، اسملت، ماهی روغنی یا کاد تولید شده و بترتیب افزایش کیفیت بر اساس استانداردهای Norseamink® و Norse LT94® طبقه بندی می شوند.

– **کیفیت دانمارکی:** این آردها عمدتا از مارماهی شنی، ساخته می شوند. اما ماهیهای دیگر نظیر sprat، pout، پیلچارد و ماکرل را نیز شامل می شوند. کیفیت مختلف با استانداردهای کیفی A، B، Aquaculture و LT مشخص می شوند.

– **کیفیت شیلی:** این آردها از ساردین و پیلچارد تهیه می شوند که بویژه از نظر نحوه کنترل کیفی که بعنوان یک فرآیند محسوب شده و جهت کسب حداکثر بازدهی بکار می رود، با انواع مذکور تفاوت دارند. بنابراین، آزمایش تخریب سنگدان (روی جوجه های جوان) به منظور تشخیص وجود یا فقدان هیستامین و گیزرولین انجام می شود. با توجه به نتایج حاصله، این دسته از آردها با استانداردهای کیفی Corpesca®، special، و LT طبقه بندی می شوند.

– **کیفیت ایسلندی:** عمدتاً از ماهی کاپلین تولید می شود که شامل آردهای استاندارد و LT هستند.

همچنین مقادیر قابل توجهی از تولیدات آرد ماهی به انواع آمریکایی(شامل منهدن)، کانادایی (شامل هرینگ)، پرویی(شامل آنچوی)، آفریقای جنوبی (شامل پیلچارد) و ژاپنی (شامل ساردین) اختصاص دارند.

– **آردهای حاصل از ضایعات ماهی(فرانسه، مراکش، سنگال) :** این آردها که با استفاده از امعاء و احشا حاصل از فیله و کنسرو ماهی و گاهی با استفاده از صید ضمنی تولید می شوند، خاکستر بیشتری داشته (۲۲ تا ۲۴ درصد) و تنها حاوی ۵۵ تا ۶۴ درصد پروتئین می باشند(ضمیمه B). علاوه بر این، ترکیب آنها کمتر قابل پیش بینی بوده و نسبت به آردهای حاصل از ماهی کامل از کیفیت پایین تری برخوردارند.

- آردهای تولیدی در کارخانجات مستقر بر روی عرشه کشتی ها (آمریکا، ژاپن، روسیه، لهستان): این آردها در کارخانه واقع در عرشه کشتی با استفاده از ضایعات حاصل از فیله ماهی سفید یا با استفاده از ماهیانی تولید میشوند که مصرف انسانی ندارند. به دلیل ناتوانی انتقال وسایل لازم برای تغلیظ روی عرشه، حلال های ماهی به آنها افزوده نمی شود. این محصول، آرد ماهی سفید نامیده شده که به منظور تغذیه مارماهی مورد مصرف قرار می گیرند. امروزه سعی می شود تا از این محصول در تغذیه میگو نیز استفاده شود. ترکیب شیمیایی آنها مشابه آردهای حاصل از امعاء و احشاست. این پودرها این مزیت را دارند که از ماهیها و فرآورده های بسیار تازه تولید می شوند، اما مدیریت فرآیندهای ساخت آنها مشکل تر از کارخانجات واقع در خشکی است. عدم استفاده از حلال های ماهی تاثیر خاصی در این آردها ندارد.

پروتئین های تغلیظ شده قابل حل ماهی: این فرآورده از طریق هیدرولیز پروتئین های ماهی با استفاده از آنزیم های گیاهی مانند papaying حاصل می شود. این فرآیند در رآکتورها به صورت پیوسته یا ناپیوسته صورت می گیرد. قسمتهای استخوانی از بخش های هیدرولیز شده جدا شده و ترکیب باقی مانده سپس از طریق سانتریفوژ از چربی ها جدا گردیده و بصورت اسپری خشک می شوند. این نوع فرآورده که اغلب به عنوان SFPC[1] شناخته می شود، املاح معدنی کم و پروتئین بالایی دارد (ضمیمه B). این مواد به مفهوم واقعی کلمه پروتئین ها را شامل نمی شوند اما غالب پپتیدها واسیدهای‌آمینه‌ای را دربردارند که حلالیت کامل را به آنها می بخشند. این ویژگی می تواند در خوراک آبزیان نامطلوب باشد، اما در این حالت قابلیت هضم نیتروژن همواره بسیار بالاست. با توجه به کیفیت مورد نظر محصول، مقدار چربی پس از خشک شدن به آنها اضافه می شود. حضور آنها در غذاهایی با منشأ دریایی ضروری نیست.

فرآورده های اتولیز شده ماهی: این فرآورده ها مشابه انواع مذکور در بالا هستند اما هیدرولیز آنها توسط آنزیم های موجود در بافت ماهی صورت می گیرد. مدیریت هیدرولیز نسبت به روش پروتئین تغلیظ شده نیاز به دقت و ظرافت بیشتری دارد. این نوع مواد به علت قیمت بالا معمولا در فرمولاسیون خوراک های معمول ماهی بکار نمی روند.

[1] Soluble fish protein concentrates

سیلوی ماهی : این مواد شامل فرآورده های مایع یا نیمه مایع حاصل از امعاء و احشا یا ضایعات ماهی است که در شرایط pH اسیدی تولید و ذخیره می شوند. به منظور رسیدن به pH ۴ تا ۴/۵، فرآیندهای مختلفی بر اساس افزودن یک محلول اسیدی (برای مثال فرمیک، هیدروکلریک یا سولفوریک) وجود دارد. این pH از تکثیر باکتری های فاسد کننده جلوگیری می کند، در حالیکه منجر به مقدار مشخصی هیدرولیز حاصل از آنزیم های بافت می شود. هیدرولیز در مدت ذخیره سازی محصول انجام می شود تا آنزیم ها از طریق اعمال روش حرارتی غیر فعال شوند. فرآیند مایع شدن کامل محصول با توجه به دما و فعالیت آنزیمی مواد خام ممکن است ساعت ها یا هفته ها بطول انجامد. ماده حاصله به همان شکل اولیه نمی تواند مصرف شود بلکه باید با آرد مخلوط شده و به شکل پلت های خشک یا مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاییکه ماهی نسبت به اسیدی بودن جیره غذایی حساس است، سیلو را باید قبل از مصرف با توجه به مقدار گنجانده شده در غذا خنثی نمود. از اینرو، ۱/۵تا ۴ درصد آهک آبدیده یا سود سوز آور به سیلو اضافه می شود تا pH حدود ۵/۵ حاصل گردد. تریپتوفان در محیط اسیدی ناپایدار است بنابراین، محصول نهایی معمولا از نظر وجود این اسید آمینه ضروری دچار کمبود است و هنگام تنظیم فرمول جیره غذایی باید این نکته مدنظر قرار گیرد. اشکالات دیگری از قبیل میزان بیش از حد زنجیره های ۳ کربنه، محدود بودن مصرف متابولیکی و تاثیر یون های اضافه شده در تعادل پلاسما نیز گزارش شده است.

٤-۲-۱-۱۸) سایر فرآورده ها با منشا دریایی

- **آرد میگو** : این محصول از قسمت سر میگو (سفالوتراکس) ساخته شده و غنی از کلسیم (حاوی مقدار کمی فسفر) و جاذبه های غذایی قوی بوده و منبعی غنی از کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب ضروری را فراهم می کنند. آرد کریل(که بندرت در بازار یافت می شوند) از لاشه کامل حیوان تولید می‌شوند، اما مقدار فلوئور این محصول، میزان گنجاندن آنها را در غذا محدود می کند.

- **آرد اسکوئید**: این آرد از نظر پروتئین غنی بوده، اما سطح املاح معدنی آنها پایین است. این مواد به دلیل خاصیت جذب کنندگی و وجود عوامل رشد، در واحدهای پرورش مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۱-۱۸) آردهای حاصل از حیوانات خشک زی

۱-۳-۱-۱۸) مقدمه

امروزه تمام فرآورده هایی که در زیر فهرست شده اند، به علت قوانین اروپا مصرف آنها برای حیواناتی نظیر ماهی ممنوع است. از آنجاییکه فرآیندهایی نظیر حرارت دادن در دماهای بالاتر باعث از بین رفتن پریون ها می شود، مصرف این مواد برای تغذیه برخی حیوانات نظیر حیوانات آبزی در آینده امکان پذیر خواهد بود.

۲-۳-۱-۱۸)آرد گوشت و استخوان(MBM[1])

این فرآورده با استفاده از ضایعات حاصل از کشتارگاهها و قصابی ها تولید می شوند. کیفیت آردهای گوشت و استخوان متغیر بوده و اغلب به سبب وجود مقدار بیش از حد املاح معدنی، مصرف آنها محدود می شود. محتوای خاکستر پودرهای حاصل از گوشت استخوان دار به ۳۵ درصد می رسد و در بهترین شرایط، حاوی ۴۵ تا ۶۰ درصد پروتئین با ارزش بیولوژیک بسیار بالا خواهند بود، اما مقادیر محدودی از اسیدهای‌آمینه گوگرددار را شامل می شوند. بنا به دلایل بهداشتی باید دمای پخت همواره بالا باشد، در نتیجه نمی توان پروتئین های با قابلیت هضم برابر با پروتئین های آرد ماهی را تولید نمود. چربیها ۸ تا ۱۰ درصد این فرآورده را تشکیل می دهند که عمدتاً شامل اسیدهای چرب اشباع یا یک غیر اشباعی و مقدار کمی اسیدهای چرب بسیار غیراشباع (HUFAs) بجز اسید آسکوربیک می باشند.

۳-۳-۱-۱۸)آرد بافت های پیوندی

این آرد ها از کلاژن باقی مانده از تولید پیه و چربی خوک ساخته می شوند. میزان پروتئین آنها بالا بوده(۷۰ تا ۸۰ درصد) و پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری آنها متناسب با نیازها می باشد. این آرد ها در مقایسه با آرد گوشت، محتوای چربی (۱تا ۳ درصد) و املاح معدنی (۱۰تا۲۰ درصد) پایین تری دارند.

[1] meal and bone meal

٤-۳-۱-۱۸) آرد پر هیدرولیز شده

این آرد توسط کشتارگاههای طیور تولید شده و اغلب حاوی کراتین است. این پروتئین در حالت طبیعی کاملا قابل هضم بوده و با استفاده از فرآیند گرمایی قوی هیدرولیز می شود. محتوای پروتئین این آرد بالاست (۸۰ تا ۸۵ درصد)، اما به علت کمبود شدید متیونین، لایزین و هیستیدین، ارزش بیولوژیک آنها بسیار پایین است. در مقابل، میزان سیستئن آنها بالاست. از این محصول صرفا می توان برای تکمیل سایر منابع پروتئینی استفاده کرد اما لازم است برای تکمیل مقدار چربی، آنها را با امعاء و احشا مخلوط نمود.

٥-۳-۱-۱۸) آرد ضایعات طیور

این آرد از ضایعاتی مانند خون و امعاء و احشا، تولید شده و نوعی از آرد گوشت را با ترکیب بسیار متغیر بوجود می آورد که در برخی کشورها به میزان زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. درصورت مخلوط کردن این پودرها با فرآورده های گیاهی، مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری آنها قابل توجه خواهد بود.

٦-۳-۱-۱۸) آرد خون

این آرد از طریق آب زدایی خون حاصل از کشتارگاهها (خشک کردن آن در یک محفظه ویژه یا اسپری خشک) تولید می شود. محتوای پروتئین آن بالاست (۸۵ درصد)، اما ارزش بیولوژیک نسبتا پایینی دارد. آرد خون دارای مقادیرکمی متیونین، ایزولوسین و آرژنین و مقادیر بیش از حد لوسین است. نکته جالب در رابطه با این محصول این است که در صورت اعمال فرآیند بمباران اتمی، از نظر لایزین قابل دسترس، غنی خواهد شد. این فرآیند در مجموع کیفیت مطلوب محصول را تضمین می کند. آرد خون به علت ویژگی چسبانندگی خود بطور روز افزون در جیره های غذایی ماهی گنجانده می شود. این محصول را می توان در ابتدای فرآوری منعقد نمود بطوریکه پس از جداسازی پلاسمای مورد استفاده از جای دیگر و خشک کردن آن با بخار، آرد سلول های قرمز خون بدست می آید که از نظر پروتئین، غنی بوده و حتی قدرت چسبندگی بیشتری را داراست.

۷-۳-۱-۱۸) سایر اجزای غذایی حاصل از حیوانات خشک زی

گاهی در شرایط آزمایشگاهی منابع پروتئینی دیگری با منشا حیوانی استفاده می شود. این مواد معمولا خالصند که از آن جمله کازئین با ارزش بیولوژیک فوق العاده یا ژلاتین به عنوان یک ماده چسباننده بسیار قوی می باشد. در مقیاس صنعتی، همچنان شیر خشک بدون چربی (معمولا همراه با آرد ماهی) یا لاکتوسرم مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۱۸ - مواد خام گیاهی اصلی

۱-۲-۱۸) مزایا و معایب

مواد خام متعدد با منشأ گیاهی وجود دارند که ارزان تر از مواد خام با منشا حیوانی هستند. بنابراین، تولیدکنندگان متمایل به جایگزینی مواد قبلی با این مواد هستند. این مواد اغلب قدرت چسبانندگی خاصی داشته که احتمالاً به سبب حضور مواد قابل هضم یا غیر قابل هضم است. این مواد همچنین منبعی از ویتامین های گروه B را تشکیل می دهند اما فاقد اسیدهای چرب غیر اشباع ضروری سری ۳-n بوده و از نظر طعم کیفیت بالایی ندارند ازینرو، با نیازهای ماهی تطابق کمی دارند. منبع اصلی انرژی این مواد نشاسته است که همواره برای ماهی نامطلوب است. این مواد دارای مقادیر قابل توجهی از هیدراتهای کربن پیچیده غشایی (نظیر پکتین، هموسلولز، پنتوزها، سلولز و لیگنین) هستند که اغلب غیر قابل هضم می باشند. مواد خام گیاهی همچنین حاوی عوامل ضد تغذیه ای مختلفی می باشند(فصل ۱۹).

۲-۲-۱۸) کنجاله دانه های روغنی

این کنجاله ها همراه با استخراج روغن تولید می شوند که نسبت به کنجاله های حیوانی پروتئین کمتری دارند (۳۰ تا ۵۰ درصد پروتئین). مقدار املاح معدنی آنها پایین است، اما دارای مقدار قابل توجهی از ترکیبات دیواره سلولی بوده ضمن آنکه شامل مواد ضدتغذیه ای بیشتری می باشند.

۱-۲-۲-۱۸) کنجاله سویا (حاوی حداکثر گلایسین)

این ماده به علت قابلیت دسترسی بالا، پایدار بودن، قیمت مناسب و بویژه ارزش تغذیه ای مطلوب، در تغذیه اغلب ماهیان پرورشی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

کنجاله سویا غنی از پروتئین است (در صورت وجود پوسته، ۴۹ درصد و در غیر این صورت ۴۴ درصد). پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری آن، به رغم کمبود متیونین متناسب با نیازهای ماهی است. این کنجاله دارای مواد ضد تغذیه ای متعدد بویژه عامل ضد تریپسین است که از طریق اعمال تیمار شدید گرمایی تا حد زیادی غیرفعال می شود. تقاضای بیشتری برای سویا از سوی سازندگان خوراک ماهی نسبت به حیوانات خشک زی وجود دارد. درصورتیکه سویا به طور کامل پخته شود، نسبت به سایر کنجاله های دانه های روغنی، حاوی سلولز و هیدراتهای‌کربن پیچیده کمتری است از اینرو، به عنوان یک ماده خام مهم در آبزی پروری شناخته می شود. همچنین فرآورده های سویا نسبت به سایر پودرهای موجود در بازار خالص تر بوده، همچنین پروتئین بیشتر و فیبر و هیدرات‌کربن کمتری دارند، ولی قیمت آن به عنوان غذای ماهی بسیار بالاست.

۲-۲-۲-۱۸) کنجاله پنبه دانه

شلغم روغنی (*Brassica napus* و *Brassica campestris*) بوفور در دسترس است. پروتئین آن بسیار متعادل بوده ولی دارای مقادیر قابل توجهی فیبر است. سویه های جدید سمیت کمتری نسبت به انواع قدیمی دارند (فصل ۱۹). با این وجود، قابلیت هضم پروتئین، ارزش انرژی زایی و محدودیت استفاده از آن برای ماهی، حتی در مورد رایج ترین گونه های پرورشی به صورت کامل مورد بررسی قرار نگرفته است.

۳-۲-۲-۱۸) آرد پنبه

آرد پنبه دانه (*Gossypium* sp.) به علت محتوای فیبر آن، کمبود لایزین، حضور گوسیپول و نیز بقایای اسید استرکولیک امروزه در اروپا مصرف نمی شود و قابلیت دسترسی زیادی ندارد. اما بواسطه غنی بودن از نظر پروتئین، به شکلی وسیع درکشورهای در حال توسعه به عنوان جزیی از غذای آبزیان پرورشی استفاده می شود. سویه های جدید به سبب افزایش محصول پنبه و فقدان گوسیپول شانس بیشتری جهت استفاده در تغذیه آبزیان دارند.

٤-۲-۲-۱۸) سایر کنجاله های دانه های روغنی

- **کنجاله آفتابگردان(*Helianthus annuus*) :** عوامل ضد تغذیه ای آن (پلی فنل ها) پایین بوده و نسبتا غنی از متیونین است. از سوی دیگر، این ماده کمبود لایزین داشته و میزان فیبر آن بالاست که همین امر استفاده از آن را در فرمولاسیون خوراک ماهی محدود می سازد.

- **کنجاله بادام زمینی (*Arachis hypogea*):** غنی از پروتئین است (۴۸ تا ۵۰ درصد) و مقدار آرژنین آن بالاست اما از نظر لایزین و متیونین کمبود دارد. در این محصول اغلب حضور آفلاتوکسین گزارش شده که ارزش این کنجاله را با وجود قابلیت هضم بسیار بالا و تقریباً فقدان عامل ضد تغذیه ای، از بین برده است.

- **کنجاله نخل روغنی(*Elaeis guineensis*) و نارگیل(*Cocos nucifera*)**: این دو محصول بترتیب حاوی تنها ۱۹ و ۲۲ درصد پروتئین بوده، در حالیکه مقدار فیبر آنها بیش از ۵۰ درصد است. این مواد جز در موارد محدود به یک محل، اهمیت کمی در تغذیه آبزیان پرورشی دارند.

۳-۲-۱۸) دانه های غلات و فرآورده های جنبی

این محصولات، فرآورده هایی با مقدار پروتئین بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بوده و عمدتا منابع انرژی را تشکیل می دهند. محتوای مواد معدنی آنها بجز فسفر به شکل فیتیک، پایین است. آنها منابع خوبی از ویتامین های گروه B و E هستند. آرد گندم(*Triticum aestivum*) یا ذرت (*Zea may*) غنی از نشاسته اند (۶۲ تا ۷۲ درصد) ولی این مواد بصورت خام در شکل خام خود نسبتا غیر قابل هضم می باشند، بویژه اگر به مقدار زیاد در غذای ماهیان گوشتخوار گنجانده شوند. در مقایسه با کنجاله‌ها، غلات از نظر محتوای پروتئین بسیار فقیر بوده و همچنین مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری آن بویژه لایزین پایین است. اعمال تیمارهای گرمایی قابلیت هضم نشاسته را افزایش می دهند و بدین ترتیب می توان آن را به عنوان منبع قابل توجهی از انرژی بشمار آورد. این قبیل نشاسته ها به دلیل خصوصیات فیزیکیشان مورد تقاضای زیادی قرار دارند. در فرآیندهای مختلف ساخت غذا (پلت کردن و بویژه پخت به روش اکستروژن) این مواد دارای تاثیر عملکرد مفیدی مشابه نشاسته‌های صنعتی تصفیه شده می باشند.

سایر غلات بدون هیچ دلیل واضحی بندرت در غذای آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد به رغم وجود کاستیهای موجود بایستی بیش از این مورد مصرف قرار گیرند.

جو دو سر به علت وجود سبوس ممکن است مشکلاتی را ایجاد نماید، برخی ذرت های خوشه ای غنی از تانین[1] بوده که می تواند سمی باشد. این موضوع هنوز در ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است.
سبوس گندم و نیم دانه (حد واسط بین آرد و سبوس) فیبر، ویتامین B و E بیشتری دارند. اگر غلات بخوبی آسیاب شوند، مواد همبند مناسبی را تشکیل داده و همچنین به عنوان عوامل حجیم کننده غذا عمل می کنند. سبوس برنج(*Oriza sativa*) به رغم وجود مقادیر زیاد ترکیبات غشایی زبر، به صورت وسیع در مناطق گرمسیری مورد استفاده قرار می گیرند.

٤-۲-۱۸) حبوبات

حبوبات دانه های گیاهان تیره بقولات هستند که کشت آنها در سالهای اخیر درکشورهای اتحادیه اروپایی رایج شده است. از جمله آنها لوبیای پهن(*Vicia faba*)، لوبیای گرگی(*Lupinus* sp) و نخودفرنگی(*Pisum sativum*) می باشد. این محصولات دارای۲۵ تا ۴۵ درصد پروتئین بوده و ترکیب آنها مشابه سویاست. هرچند لوبیای گرگی نسبتا غنی از روغن است اما از نظر نشاسته کمبود دارد. لوبیای پهن و نخود فرنگی نیز همانند کنجاله ها چربی اندکی داشته اما مقدار نشاسته آنها بیش از پروتئین است. امروزه نخودفرنگی در بازار اروپا بیشترین فراوانی را داشته و بصورت پوسته دار، خام و پخته قابل دسترس است. عوامل ضد تغذیه ای آن (کیتین ها) مشکلی را برای ماهی ایجاد نمی کند. مشتقات نخود فرنگی مذکور فوق، با در نظر گرفتن بالا بودن میزان مواد همبند در آنها اهمیت تکنولوژیک قابل ملاحظه ای دارند، هر چند استفاده از مواد به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

٥-۲-۱۸) آرد یونجه و برگ ها

آرد یونجه به خوبی در اروپا شناخته شده و به عنوان منبع متعادلی ازپروتئین، برخی ویتامین ها وکاروتنوئیدها مطرح است. این مواد کمتر در آبزی پروری استفاده می شوند، چون پروتئین آنها در ماهی قابلیت هضم کمی داشته، از سویی کاروتنوئید آنها بدون تاثیر و محتوای فیبرآنها اغلب بیش از حد است. علاوه بر این، باید در مورد اثرات ساپونین ها[2]، بویژه در سخت پوستان دقت لازم بعمل آید.

---
[1] tannins
[2] saponines

در مناطق گرمسیری محصولات کم و بیش مشابه زیادی از قبیل آرد ipil-ipil (*Leucana glauca*) وجود دارند که سمیت آنها بر اثر ماده میموزین باید بدقت کنترل شود.

٦-۲-۱۸) مواد خام حاصل از ارگانیزمهای تک سلولی

منشا این مواد خام جلبک های تک سلولی یا رشته ای (*Spirulina*، *Spirogyra*، *Cladophora*، *Chlorella*)، قارچ های پست و بویژه مخمرها (*Candida*، *Saccharomyces*، *Torula*، *Kluyveromyces*) و باکتری ها (*Methanobacter*، *Pseudomonas*، *Micrococcus* و غیره) هستند. این نوع فرآورده ها حاصل مطالعات آزمایشگاهی زیادی است که پیش بینی می شود آینده امیدوار کننده ای داشته باشند. از نظر کاربردی، مناسب بودن این ارگانیزمها برای کشت در بالای سطح زمین، روی بسترها یا مواد زائد مختلف و از نظر تئوری، امکان اصلاح سریع کیفیت تغذیه ای آنها از طریق روشهای ژنتیکی و شرایط پرورش، از مزایای استفاده از این نوع مواد خام می باشد. با این وجود، باید توجه نمود که به موازات تلاشهای زیاد برای کشت آنها در مقیاس صنعتی، هنوز مخمرها (*brewer's*، *latic* و *torula*) تنها منابع مهم پروتئین تک سلولی هستند که به میزان قابل توجهی در بازار موجود است. مخمرها منابع متعادلی از پروتئینها را تشکیل می دهند. همچنین این مواد بسیار غنی از ویتامینهای E و گروه B می باشند. یک نوع مخمر ویژه (*Phaffia rhodozemia*) به عنوان منبعی از رنگدانه های کاروتنوئیدی تولید می شود. حضور عوامل رشد که تا مدتها احتمال وجود آن می رفت، تائید نشده است، هر چند چنین بنظر می رسد که نقش محرک گلوکانهای آهیانه در رابطه با ایمنی سلولی بارز وآشکار باشد. تلخ بودن مخمر آبجو برای ماهی ناخوشایند است بنابراین، تنها مخمرهایی که تلخ نیستند را می توان مورد استفاده قرار داد.

۳-۱۸ - فرآورده های خالص سازی شده

۱-۳-۱۸) چربی ها

۱-۱-۳-۱۸) روغن ماهی

روغن ماهی حتی در سطوح بالا نیز بخوبی هضم می شوند. این روغن ها غنی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ضروری (HUFAs) و بویژه EPA وDHA، همچنین ویتامینهای محلول در چربی (A وD) میباشند. برخی از آنها (روغن قرمز حاصل از کاپلین) نیز منابع خوبی از آستاگزانتین هستند.

کیفیت روغن های ماهی به منشأ مواد خام (گونه، زمان، مناطق صید وغیره) و همچنین تازه بودن محصول مورد استفاده و روند استخراج آنها بستگی دارد. این مواد، فرآورده های حساسی بوده و باید با استفاده از آنتی اکسیدان ها (BHT ، BHA، اتوکسی کونین)، در مقابل اکسیداسیون محافظت شوند.

۲-۱-۳-۱۸) روغن های حیوانی

پیه و چربی خوک بندرت در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند. نقطه ذوب بالای این تولیدات (به سبب فراوانی اسیدهای چرب اشباع) موجب جامد ماندن آنها در دستگاه گوارش ماهی و عدم حساسیت نسبت به فعالیت لیپاز و در نتیجه غیر قابل هضم بودن آنها می گردد. علاوه براین، عملاً فاقد اسیدهای چرب ضروری بسیار غیر اشباع سری n-۳ هستند. در حال حاضر، استفاده از آنها در اتحادیه اروپایی غیرمجاز است.

۳-۱-۳-۱۸) روغن های گیاهی

منابع انرژی این روغن ها قابل مقایسه با روغن ماهی است با این تفاوت که حاوی عوامل ضد تغذیه ای ساخته شده توسط گیاهان می باشد. همچنین، این روغن ها فاقد ویتامین A یا D، آستاگزانتین بویژه اسیدهای چرب ضروری غیر اشباع می باشند. تنها اسید چرب ضروری موجود در این روغن‌ها یا لینولئیک اسید است که معمولا عامل محدود کننده ای در جیره غذایی نیست و یا لینولنیک اسید است که ماهیان آب شیرین به راحتی قادر به تبدیل آن به اسیدهای چرب ضروری بسیار غیر اشباع هستند(فصل ۷). استفاده از این تولیدات در غذای حیوانات بسیار گران است. با این وجود، در شرایط خاص اقتصادی و با توجه به میزان پوششی که توسط سایر اجزای غذایی به نیازهای آمینواسیدهای ضروری داده می شود،

میتوان از این مواد به عنوان مکمل انرژی استفاده نمود. حصول اطمینان از اینکه استفاده از روغن گیاهی کیفیت محصول نهایی را از نظر مزه و ویژگی رژیم غذایی تغییر نمی دهد، ضروری است تا به نوع نگرش به ماهیان پرورشی لطمه ای وارد نشود.

۲-۳-۱۸) نشاسته‌ها

از نشاسته ها به سبب وجود خاصیت همبندی و نیز ارزش انرژی زایی بالا استفاده می شود. این مواد از نظر نوع منشا گیاهی که تعیین کننده نسبت های آمیلوز و آمیلوپکتین و نیز اندازه دانه های نشاسته است و همچنین از نظر نوع تکنیک فرآوری صورت گرفته روی آنها به منظور ژلاتینه شدن، با یکدیگر متفاوتند(فصل ۸). نشاسته های غلات، نسبت به حبوبات قابلیت هضم بیشتری داشته و نشاسته حبوبات نیز بنوبه خود از نشاسته های غده ای قابل هضم‌ترند و در همه موارد، عمل پختن موجب تسهیل در تجزیه آنزیمی می شود. اصطلاح « پیش ژلاتینه کردن»[1] که اغلب اوقات بکار می رود فاقد صحت لازم است بطوریکه مصرف کننده باید به منظور انتخاب بهترین روش عمل آوری نشاسته (پرس کردن یا پختن همراه با فشار)، اطلاعات لازم را در مورد ویژگی های فیزیکی و شیمیایی محصول کسب نماید.

۳-۳-۱۸) اسیدهای‌آمینه خالص سازی شده

در بین اسیدهای‌آمینه مختلفی که به صورت مصنوعی یا بیولوژیک تولید شده و هم اکنون به منظور تغذیه حیوانات در دسترس می باشند، بنظر می رسد که تنها دو اسید آمینه متیونین و لایزین به شکلی موثر در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار می گیرند. به علت استفاده وسیع از پروتئین های دریایی، مقدار مورد استفاده این اسیدآمینه در بخش آبزی پروری هنوز نسبت به سایر بخش ها پایین است. افزودن این ترکیبات به جیره حیوانات آبزی، به سبب قابل حل بودن این مولکول ها در آب، نسبت به حیوانات خشک زی مشکلات بیشتری را دربردارد. البته این مساله در رابطه با سخت‌پوستان بسیارحیاتی است، زیرا گرانول ها ممکن است به مدت طولانی در آب باقی مانده و این تصور حاصل شود که حیوان نمی تواند از اسیدهای‌آمینه خالص سازی شده بخوبی استفاده کند.لایزین اسید کلریدریک[2] به صورت بیولوژیک

[1] Prigelatinistion
[2] HCL lysine

تولید می شود و چون فقط شامل ایزومر L می‌باشد، از نظر متابولیک مشکلی ایجاد نمی کند. دو شکل D و L متیونین که بصورت مصنوعی در مقیاس تجاری تولید شده (DL)، فعالیت تقریبا مشابهی دارند، اما MHA که فرآورده مصنوعی مشابه متیونین است، اثر مثبتی بر ماهی ندارد (فصل ۶).

٤-۱۸- افزودنی ها

مواردیکه در زیر فهرست شده اند ترکیبات خالص سازی شده به استثناء اسیدهای‌آمینه و کاروتنوئیدها (که به ترتیب در فصول ۶ و ۱۱ تشریح شده اند) می باشند و افزودن آنها به غذا در مقادیرکم، بنا به دلایل مختلفی مجاز است.

۱-٤-۱۸) جاذب ها

۱-۱-٤-۱۸) عملکرد

جاذب ها در مفهوم دقیق شامل موادی هستند که موجودات زنده را از فاصله مشخصی به سمت طعمه جذب می کنند. در مفهومی گسترده تر جاذب ها در سه گروه طبقه بندی می شوند: گروهی که حیوان را در نزدیکی طعمه متوقف می کنند (جلب کننده ها[1])، گروهی که حس چشایی را تحریک می کنند (برانگیزنده ها[2]) و گروهی که موجب بلعیدن غذا می شوند (تحریک کنندها[3]). این وجه تمایز در ماهیان که حس چشایی و بویایی آنها تنها در محل گیرنده هایشان متفاوتند، در حد یک تئوری است. در گونه‌هایی که تغذیه به حس بویایی بیش از حس بینایی متکی است، جاذب ها نقش مهمی در زمینه تغذیه ایفا می کنند. به رغم گرایش به سمت جایگزینی بخش قابل‌توجهی از آردهای ماهی با سایر منابع پروتئینی، امروزه همچنان هنگام تهیه فرمول اکثرغذاهای آبزیان پرورشی، آرد ماهی بیشترین استفاده را بخود اختصاص می دهد. این فرآورده ها، از جمله آرد میگو یا اسکوئید، برای ماهی جذابیت بیشتری داشته و تاکنون در رابطه با تغذیه و علاقه ماهی به مصرف آنها مشکلی وجود نداشته است. این موضوع هنگامیکه مواد خام اولیه دریایی در مقادیر ناچیز در فرمول غذا گنجانده شوند، صدق نمی کند.

---

[1] Arresantants
[2] Incistants
[3] Stimulants

در مرحله اول باید مواد خامی که اثر تهوع آور بر ماهی دارند (مانند مخمر آبجو) را از فرمول غذایی حذف نمود و هنگام تهیه فرمول جوانب احتیاط را در رابطه با این مواد در نظر گرفت. در مرحله بعد به منظور کاهش اثر نامطلوب غذای مخلوط یا به عبارت ساده تر افزایش اشتهای ماهی نسبت به غذای مخلوط، باید مواد جاذب خالص سازی شده یا نشده را به غذا اضافه کرد.

امروزه افزودن مواد جاذب به جیره های غذایی آزمایشی ساده شده یا خالص شده در آزمایشگاه به منظور تشویق ماهی در مصرف غذا انجام می شود. در سیستم های تولیدی، این مواد در افزایش بلع غذا در شرایط محیطی سخت، بعد از استرس یا هنگام استفاده از غذاهای درمانی نقش مهمی را ایفا می کنند.

۲-۱-٤-۱۸) انواع جاذب ها

مقالات ارزشمندی در زمینه تغذیه ماهی پیرامون مواد جاذب وجود دارد. ترکیبات شیمیایی با قدرت جذب کنندگی بالا، به سه گروه عمده تقسیم می شوند: اسیدهای آمینه سری L (سری D برخی مواقع اثری بهمراه نداشته و گاهی تهوع آور نیز می باشند)، بتائین (یا گلایسین – بتائین) و سایر مولکول ها که دارای یک اتم نیتروژن ۵ ظرفیتی هستند و گروه آخرکه شامل نوکلئوتیدها و نوکلئوزیدها (بویژه اینوزین واینوزین مونوفسفات) می باشند.

ظاهراً این جاذب ها عملکردی کاملا اختصاصی دارند بنحویکه برخی از این مواد که برای گونه خاصی به عنوان جاذب عمل می کنند ممکن است در سایر گونه ها تاثیری نداشته یا تهوع آور باشند. پیش بینی اثرات تشدید کننده (سینرژتیک)، کار بسیار دشواری است (برای یک گونه مشخص ممکن است مخلوط کردن چندین مواد جاذب ضعیف اثر فوق العاده ای بهمراه داشته باشد). از اینرو فراهم نمودن دستورالعملی همواره کاربردی، دشوار است. برای مثال:

- آمینواسیدهای سری L (به تنهایی یا به صورت مخلوط) در گربه ماهی کانالی، باس دریایی، ماهی پهن، مارماهی اروپایی و مارماهی ژاپنی موثرند.
- گلایسین- بتائین همراه یا بدون ترکیبات دیگر اثر جذب کنندگی بر کفشک ماهی، ماهی پهن، سیم دریایی و مارماهی دارد.
- اینوزین بویژه در کفشک، ماهی پهن، گیش ماهی و ماهی دم زرد موثر است.

استفاده از غذاهای با قابلیت آبپوشی مجدد، امکان افزودن بدون ملاحظه مواد جاذب را فراهم می کند. این کار می تواند در مزارع پرورش ماهی به منظور رفع مشکلات مربوط به بی اشتهایی (حاد یا زودگذر) آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار گیرد.

از نظر کاربردی، دو منبع رایج جاذب های طبیعی شامل پودرهای ماهی (غنی از نوکلئوتیدها) و آردهای حاصل از بی مهرگان شامل میگو و اسکوئید غنی از بازهای نیتروژنی می باشند.

۲-٤-۱۸) افزودنیهای خاص

افزودنیهای قابل استفاده در خوراک حیوانات بر اساس قوانین صریح و مطلق اروپایی برای گونه‌ها یا گروههای پرورشی تعیین می شوند. در طبقه بندی گونه ها، ماهی اغلب در طبقه سایر گونه ها قرار میگیرد. حداکثر دوز مجاز و شرایط استفاده، همچنین مصرف بصورت مجزا یا به صورت ترکیب با سایر مواد، مشخص شده است. این فهرست، داروهایی را دربرنمی‌گیرد که صرفا توسط دامپزشک تجویز میشوند اما شامل مواد غذایی نظیر ویتامین ها و عناصر کمیاب می شود.

افزودن انواع آنتی بیوتیک ها، محرک های رشد یا تنظیم کننده های اسیدیته به غذای ماهی مجاز است که در اینجا چهار گروه از این مواد مورد بررسی قرار می گیرد:

- آنتی اکسیدان ها
- امولسیون کننده ها، قوام دهنده ها، حجم دهنده ها[1]، عوامل ژلاتینه (گروه E)
- نگهدارنده ها (گروه G)
- مواد همبند و منعقد کننده ها (گروه L)

کاروتنوئیدها در گروه پنجم قرار دارند(گروه F) (به فصل ۱۱ مراجعه شود)

۱-۲-٤-۱۸) آنتی اکسیدان ها

آنتی اکسیدان ها موادی هستند که براحتی اکسید شده و به این ترتیب از سایر ترکیبات حساس به اکسیداسیون محافظت می کنند. این مواد به منظور گسستن یا کند کردن زنجیره ای از واکنش های شرکت کننده در پراکسیداسیون، استفاده می شوند.

[1] Thickeners

این واکنش های زنجیره ای با تشکیل رادیکال های آزاد در سطح پیوندهای دوگانه موجود در اسیدهای چرب شروع شده و با تشکیل ترکیبات پایدار و سمی آلدئیدی، پایان می یابد(فصل ۷). این واکنش ها تنها در بدن موجود زنده رخ نمی دهد، بلکه غذاها بویژه روغن های غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع را تحت‌تاثیر قرار می دهند(فصل ۱۹). پراکسیداسیون توسط یون های متابولیک از جمله آهن و مس تسریع شده و نه تنها اسیدهای چرب بلکه بسیاری از مواد غذایی ناپایدار مانند ویتامین A و کاروتنوئیدها را نیز تخریب می کنند.

پراکسیداسیون توسط انواع مختلفی از مولکول ها کاهش می‌یابد که با استفاده از مکانیسم های مختلف واکنش ها را تحت تاثیر قرار می دهند. این مولکول ها شامل جداکننده های اکسیژن (آسکوربیک اسید)، بازدارنده های اثر فلزات (اسید سیتریک، EDTA، آمینواسیدها) و دهنده های پروتون(توکوفرول ها، اتوکسی کوئین، BHA[1]، BHT[2]) می باشند. استفاده از ۱۵ آنتی اکسیدان در مورد تمامی گونه ها و غذاها مجاز است که رایج ترین آنها علاوه بر آسکوربیک اسید و توکوفرول که از اجزاء مواد غذایی هستند (فصل ۸)، BHA و BHT و اتوکسی کوئین[3] می باشد. توصیه می شود آنتی اکسیدان های پیشگیری کننده (جداکننده های اکسیژن و بازدارنده ها) و درمان کننده (دهنده های پروتن) برای مثال آسکوربیک اسید و آلفا توکوفرول، BHA یا BHT تواماً مورد استفاده قرار گیرند. آنتی اکسیدان ها اغلب به برخی مواد خام مورد استفاده در خوراک ماهی (مانند آردماهی، میگو یا اسکوئید، یا روغن های ماهی) و همچنین طی فرآیند ساخت غذا، اضافه می شوند.

۲-۲-٤-۱۸) مواد همبند

این دسته از مواد که بسیار رایج می باشند، با هدف تولید محصول نهایی با قابلیت پایداری در آب و تا حدودی حفظ ویژگی های فیزیکی در هوا، بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد که شامل پلی ساکاریدهای کم و بیش پیچیده هستند به شرح ذیل می باشند:

---

[1] butylhydroxyanised
[2] butylhydroxytoluene=butylmethylphenol
[3] dihydroethoxytrimethyl quinoline

- عصاره جلبکی : آلژینات (در حضور یون کلسیم ژل پایداری را ایجاد می کند)، جلبک قهوه ای و همچنین آگار-آگار و کاراگینان استخراج شده از جلبک قرمز
- عصاره گیاهان خشک زی: پکتین ها، صمغ عربی، صمغ گوار، عصاره غلاف خرنوب
- عصاره حیوانی: کیتوزان ها
- عصاره باکتریایی: صمغ های زانتان
- سایر موارد: کربوکسی متیل سلولز و سایر سلولزهای تغییر شکل یافته، محصولات صنایع شیمیایی، لیگنوسولفیت های تولید شده در صنعت کاغذ سازی، بنتونیت و سایر گل های رسی.

باید در نظر داشت که مواردی از قبیل ملاس ها، نشاسته ها (به صورت خام یا تغییر یافته)، گلوتن گندم، کازئین، کلاژن و ژلاتین که منبعی از هیدراتهای کربن یا پروتئین ها هستند، به علت ویژگی چسبندگی، می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۲-٤-۱۸) مواد نگهدارنده

از این جهت نگهداری غذاهای مرطوب استفاده می شود. سوربات پتاسیم[1] نوعی ترکیب ضد قارچ است که کاربرد گسترده ای دارد. از اسیدهای آلی یا معدنی نیز طی فرآیند ساخت سیلوی ماهی استفاده می‌شود.

٤-۲-٤-۱۸) پروبیوتیک ها

پروبیوتیک ها شامل فرآورده های میکروبی موثر از نظر بیولوژیکی هستند که از چندین نوع باکتری(جنس استرپتوکوکوس، باکتری های لاکتیک) یا هاگ های قابل احیا تولید شده و به همان صورت اولیه یا کشت شده در محیطهای مختلف (لاکتوسرم، بذر غلات سبز شده و غیره) وجود دارند. نحوه تاثیر این مواد و مکانیسم های مرتبط در این عملکرد تاکنون به صورت کامل شناسایی نشده اند، اما احتمالاً این مواد از طریق تغییر فلور روده ای در رشد تاثیر مطلوبی می‌گذارند. درگونه های مختلف ماهی، اثرات قابل توجه ناشی از استفاده این مواد طی مراحل اولیه پرورش و با استفاده از غذای زنده مشاهده شده است. تاثیر این عوامل در مراحل بعدی زندگی ماهیها هنوز به اثبات نرسیده است.

[1] potassium sorbate

توجه به این نکته ضروری است که پروبیوتیک ها از نظر منطقی به عنوان مواد افزودنی واقعی یا به عنوان مواد دارویی و درمانی محسوب می شوند.

۵-۲-٤-۱۸) آنزیم ها

هنگامیکه حیوان فاقد آنزیم گوارشی برای تجزیه یک ماده غذایی مشخص است، افزودن این آنزیم به همراه ترکیباتی با قابلیت هضم اندک به غذا اهمیت دارد.

تلاش های فراوانی به منظور انجام این کار صورت گرفته که اغلب با شکست مواجه شده اند. امروزه، ایده افزودن فیتاز به غذا به منظور افزایش استفاده از فیتیک فسفر[1] و در نهایت کاهش مقدار مواد دفعی فسفردار، در حال بررسی است. این کار در تعداد زیادی از واحدهای پرورش خوک با موفقیت صورت گرفته است. اهمیت تامین این مواد محدود به مصرف موادخام گیاهی غنی از اسید فیتیک می باشد (این مواد دارای مشکل کمبود آنزیم هستند که از این طریق می توان آن را رفع کرد).

۵-۱۸- خلاصه

امروزه مواد خام مورد استفاده در غذادهی حیوانات آبزی، اندک است. این نتایج در درجه اول ناشی از نیازهای منحصربفرد ماهی (شامل سطح بهینه بالای پروتئین ها، نیاز به اسیدهای چرب ضروری ویژه، پذیرش نسبتا پایین نشاسته، نقش جاذب ها) است که مانع از کاربرد اجزاء غذایی خاص در فرمول غذایی می شود. آردهای حیوانی به رغم قیمت بالا، برای ماهی و سخت پوستان اهمیت دارند، درحالیکه استفاده از محصولات گیاهی در خوراک آبزیان محدودیت دارد. با این حال می توان از آنها در مقادیر کم یا تحت شرایط خاص بویژه در مورد گونه های همه چیز خوار نظیر کپور، تیلاپیا یا گربه ماهی کانالی استفاده کرد. بنابراین، منطقی است که فهرست فرآورده‌های قابل استفاده در تغذیه آبزیان پرورشی در آینده افزایش یابد.

آگاهی ما در مورد ارزش مواد خام مختلف و در مناطق مختلف همچنان هنوز محدود است بنحویکه قابلیت هضم پروتئین یا انرژی و اثرات واقعی عوامل ضد تغذیه ای اغلب مورد توجه قرار نگرفته اند. این خلاء را تنها می توان با انجام تحقیقات کاربردی پرکرد که ممکن است درصورت محدود نمودن آنها به گونه های مهم در آبزی پروی، طولانی مدت باشند.

---

[1] Phytic phosphorus

«فصل ۱۹»

عوامل ضد تغذیه‌ای

ماهیت ترکیبات نامطلوب موجود در مواد خام بسیار متنوع می باشد. این مواد شامل آلاینده های مواد خام نظیر حشره کش ها یا فلزات سنگین، ترکیبات سمی موجود در فرآورده های اصلی (مثل ماهی آلوده قبل از تبدیل شدن به آرد ماهی) یا موجود در فرآورده های تولیدی طی حمل و نقل و نگهداری، می باشند. در مفهومی گسترده تر، این مواد برخی ترکیبات غشاء گیاهی را تشکیل می دهند که در صورت مصرف بیش از حد، قابلیت هضم را در حیوانات تک معده‌ای (مونوگاستریک) کاهش می دهند. نقش این مواد در تغذیه عکس مواد جاذب و اشتها آور است و اغلب به عنوان عوامل ضد تغذیه ای طبقه بندی می شوند. از آنجائیکه از یک سو مقادیر عوامل ضد تغذیه ای در جداول استاندارد ذکر نشده و از سویی دیگر، در نظر گرفتن عملکرد آنها در زمان تنظیم و فرموله کردن جیره غذایی دشوارتر از عملکرد مواد غذایی است، بنابراین در این فصل روی مفهوم دقیق این مواد تاکید خواهد شد.

۱-۱۹- کلیات

۱-۱-۱۹) طبقه بندی

ترکیباتی با ویژگی های ضد تغذیه ای که در فرآورده های گیاهی فراوان و در فرآورده های حیوانی یا میکروارگانیسم ها ناچیز هستند . این مواد شامل :

ـ مواد ضد تغذیه ای به مفهوم واقعی که مصرف مواد غذایی خاصی را محدود می کنند، نظیر عوامل ضد تریپسین

ـ ترکیباتی که بازدهی فرآیندهای هضم را محدود می کنند و ممکن است اختصاصی یا غیراختصاصی باشند، نظیر اسید فیتیک

ـ ترکیباتی که درسطح متابولیک فعال بوده و در مجموع با مواد سمی مطابقت بیشتری دارند تا عوامل ضدتغذیه ای. مثل ترکیبات ضد تیروئیدی موجود در گیاهان خانواده شب بو

ـ موادی با عملکرد چندگانه از جمله بازدارندگی اشتها

سایر طبقه بندی های احتمالی بر اساس ترکیب شیمیایی این عوامل می باشند. در بین عوامل متداول، تعداد کمی از گروههای شیمیایی شامل اسیدهای آلی و اسیدهای‌آمینه، پپتیدها یا پروتئین ها، گلوکوزیدها، ساپونین ها، پلی فنل ها و آلکالوئیدها نیز یافت می شوند.

سموم قارچی یا جلبکی گروه دیگری از عوامل ضد تغذیه ای را تشکیل می دهند که از لحاظ شیمیایی بسیار ناهمگن می باشند. هیچ نوع سیستم طبقه بندی در مورد عوامل ضد تغذیه ای در فرآورده های حیوانی وجود ندارد. با این وجود، خلاصه ای از مهمترین ترکیبات نامطلوب در عناصر سازنده حیوانی ارائه خواهد شد.

۲-۱-۱۹) نحوه وقوع و روش های مقابله

عوامل ضد تغذیه ای گاهی بصورت متابولیت ها یا ترکیباتی هستند که در فیزیولوژی گیاه نقش بخصوصی ایفا می کنند. این موضوع در مورد اسید فیتیک و بخصوص فیتین(بی فیتات کلسیم و منیزیم) که به صورت فسفر و فلزات در گیاه ذخیره می شوند، صادق است. بنابراین، اسید فیتیک و فیتات ها عمدتاً در اندام های ذخیره ای، دانه ها و غدد یافت می شوند. بنا به دلیل مشابه، استفاده از انتخاب ژنتیکی به عنوان یک شاخص، تاثیر ضعیفی در این ویژگی دارد در حالیکه میزان بلوغ و حتی شرایط کشت و پرورش می تواند منجر به ایجاد درجات مشخصی از تغییرپذیری گردد.

در سایر موارد، هیچ نوع نقش فیزیولوژیک به این ترکیبات اختصاص داده نشده و بنظر می رسد یک وسیله دفاعی برای گیاهان در برابر شکارچیان محسوب می شوند. این وضعیت برای بسیاری از آلکالوئیدها صادق است و می تواند موجب ایجاد مشکلات متعددی در حیوانات شود. در موارد حاد که سمیت بیشتری وجود دارد گیاه تحت عنوان خوراکی طبقه بندی نشده و به عنوان گیاه سمی تلقی میشود.

بنابراین، آستانه بین گیاهان غنی از عوامل نامطلوب و گیاهان سمی اغلب بر حسب دوز یا سطح حضور این مواد می باشد. در هر گونه، مواجه شدن با سویه هایی با درجات مختلف سمیت، امری عادی است. بنابراین، از لحاظ نظری می توان از طریق روشهای ژنتیکی، گیاهانی با محتوای پایین عوامل ضد تغذیه ای ایجاد نمود. ایجاد نژادهای معمولی عاری از عوامل ضد تغذیه ای زمانی امکان پذیر است که راه حلی بنیادی برای مشکلاتی که متخصصان علم تغذیه با آن مواجه اند، فراهم شده باشد.

با توجه به ماهیت شیمیایی این ترکیبات، گاهی می توان با استفاده از تیمار متناسب، اثر عامل ضدتغذیه ای را کاهش داد. گرچه اسیدهای آلی در برابر گرما فوق العاده مقاومند، اما تقریبا همواره می توان از طریق تیمار حرارتی ترکیبات دارای ماهیت پروتئینی، به نتیجه مطلوبی دست یافت. همچنین به سبب خاصیت محلول در چربی بودن بعضی از این ترکیبات، این مواد در جریان استخراج روغن (پرس کردن) جدا شده و از کنجاله ها حذف می شوند.

۲-۱۹- عوامل ضد تغذیه ای

۱-۲-۱۹) اسید فیتیک

این ترکیب از یک اینوزیتول استری شده توسط شش مولکول اسید فسفریک تشکیل شده و ترجیحا منبعی از فسفر و اینوزیتول است که یک شبه ویتامین برای ماهی محسوب می شود (فصل۹). مهره داران فاقد آنزیم هایی هستند که قادر به هیدرولیز موثر پیوندهای استری این ترکیب باشند. بنابراین، مواد مغذی موجود در فیتات ها، حداقل در حیواناتی که فلور گوارشی فعالی ندارند، از جمله ماهی ها، غیرقابل دسترس است. علاوه براین، ملکول اسید فیتیک در جریان عبور از دستگاه گوارش قادر به تولید ترکیباتی با مولکول های مختلف بخصوص به شکل نمک های فلزات دوظرفیتی نظیر کلسیم، منیزیم، منگنز، روی، کبالت و غیره می باشد. بنابراین، اگر این ملکول به شکل نمک نباشد، به یک عامل ضد تغذیه ای تبدیل می شود. اثر نامطلوب اسید فیتیک تا زمانی تداوم می یابد که در آنزیم های گوارشی خاصی تاثیر بگذارد، برای مثال، موجب کاهش قابلیت هضم پروتئین های جیره غذایی شود.

تمام این اثرات در مهره داران عالی بخوبی شناسایی شده است اما جزئیات بیشتر در رابطه با ماهیان بصورت مفصل مورد بررسی قرار نگرفته است. با این وجود، اثرات کاهشی فیتات بر مصرف پروتئین درآزادماهیان کاملا مشخص شده است.

در مقابل، در میگوهای پنئیده فیتیک فسفری تا حدی قابل دسترس می باشد. در این حیوانات اصلا فیتاز وجود ندارد، ولی بنظر می رسد با استفاده از سایر فسفاتازها، هیدرولیز امکان پذیر باشد.
چون اسید فیتیک بسیار پایدار است، هیچ روش تکنولوژیک حتی جهت هیدرولیز جزئی آن وجود ندارد. به منظور در نظر گرفتن حضور این ماده و قابلیت دسترسی پایین آن، فرض بر این است که فیتیک فسفری کمتر از فسفر موجود در فرآورده های حیوانی یا نمک های معدنی در دسترس می باشد(فصل ۱۰). واکنش های آن با عناصر کمیاب نیز در این فصل مطرح می شود. امروزه افزودن فیتازهای خالص سازی شده به جیره های غذایی توصیه می شود زیرا این روش منجر به کاهش مصرف مکمل های فسفر معدنی شده و به این ترتیب میزان فسفر دفعی رها شده به محیط زیست اطراف کاهش می یابد. سایر نمک های آلی نظیر اسید اکسالیک با خصوصیات مشابه نیز وجود دارند اما اهمیت کاربرد آنها در تغذیه آبزیان حداقل است.

۲-۲-۱۹) عوامل ضد تریپسین

این ترکیبات ماهیت پروتئینی داشته و در بذر گیاهان بوفور وجود دارند، ولی در صورت استفاده در جیره‌های غذایی با غلظت های بالا اثرات نامطلوبی بدنبال خواهند داشت. در غلات چون این ترکیبات میزان استفاده از پروتئین ها برای جوانه های گیاه را تنظیم می کنند، نقش ضد تغذیه ای آنها قابل اغماض است. در مقابل، این ترکیبات در برخی گیاهان تیره بقولات بویژه در سویا (*Glycine max*)، با غلظت های بالایی وجود دارند و به همین علت مدتهاست که کنجاله سویای خام برای مصرف حیوانی، نامناسب تشخیص داده شده است. در این گونه، حداقل دو نوع پروتئین ضد تریپسین مجزا شامل عامل Kunitz و عامل Bowman – kirk وجود دارد که نحوه عملکرد آنها در پستانداران و پرندگان طی مطالعات آزمایشگاهی بخوبی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا بواسطه تشکیل ترکیبات پایدار، بازدارندگی از فعالیت تریپسین و به میزان کمتر کموتریپسین و الاستاز ایجاد می شود که منجر به کاهش قابل توجه در قابلیت هضم پروتئین می گردد. در برخی از گونه ها به دنبال افزایش تروفی پانکراس، پس از یک دوره‌ای معین با بروز یک مکانیسم جبرانی، ترشح تریپسین به علت افزایش ترشح کولسیستوکینین فعال میگردد.

این مکانیسم جبرانی به هیچ وجه کافی نبوده و قابلیت هضم پروتئین جیره غذایی همچنان پایین باقی می‌ماند. علاوه براین، حضور این عوامل به سبب بالا بودن میزان سیستئین موجود در تریپسین می تواند منجر به کمبود آمینواسیدهای گوگرددار حتی در جیره های موازنه شده شود.

عوامل ضد تریپسین در مقابل حرارت پایدار نیستند. مطالعات تکنیکی زیادی در مورد امکان تخریب این عوامل بدون تغییر قابل ملاحظه در ارزش غذایی پروتئین ها، صورت گرفته و امروزه درجه حرارت، فشار، رطوبت و زمان مورد نیاز بخوبی مشخص شده اند. بنظر می رسد که ماهی در مقابل عوامل ضد تریپسین که در سایر گیاهان تیره بقولات (برای مثال، لوبیا) در غلظت های بسیار پایین وجود دارد، خیلی حساس باشد بنابراین از لحاظ کاربردی، صرفا کنجاله هایی که عوامل ضد تریپسین آنها فوق العاده پایین است میتوانند در خوراک های ماهی مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۲-۱۹) سایر عوامل ضد تغذیه ای پروتئینی

آنتی آمیلازها: اثر بازدارنده این مواد بر هضم نشاسته مشابه اثر آنتی تریپسین ها بر پروتئین هاست، اما نقش آنها جزئی است. از بین سایر عوامل دارای ماهیت پروتئینی، آنزیم هایی نظیر اورئاز(تجزیه کننده اوره) از عوامل دیگر ضد تغذیه ای ناپایدار در برابر حرارت موجود در سویا بوده که ظاهراً اهمیت چندانی ندارند (این ماده به سبب رها سازی آمونیاک در خون، سمی است که بطور یقین این مسئله در آبزیان دفع کننده آمونیاک اهمیت کمتری دارد)، با این وجود، این ماده به عنوان یک شاخص خوب هنگام پخت کنجاله سویا عمل می کند. سایر آنزیم ها نظیر مایروزیناز[1] (که همراه با گلیکوزینولات ها[2] شرح داده خواهند شد) و لیپوکسیداز، به عنوان آنتی ویتامین A، دارای فعالیت ضد تغذیه ای می باشند.

لکتین ها: گروه دیگری از ترکیبات پروتئینی را تشکیل می دهند که در همه جا از جمله در گیاهان عالی، میکروارگانیسم ها و حیوانات پست وجود دارند. از آنجاییکه این ترکیبات به سلول های خونی متصل شده و آنها را لخته می کنند اغلب لخته کننده خون یا هموگلوتینین نامیده می شوند. در حقیقت، ویژگی شاخص آنها میل ترکیبی ویژه با پلی ساکاریدها شامل پلی ساکاریدهای موجود در غشاهای سلولی است.

---

[1] Myrosinase
[2] glucosinolates

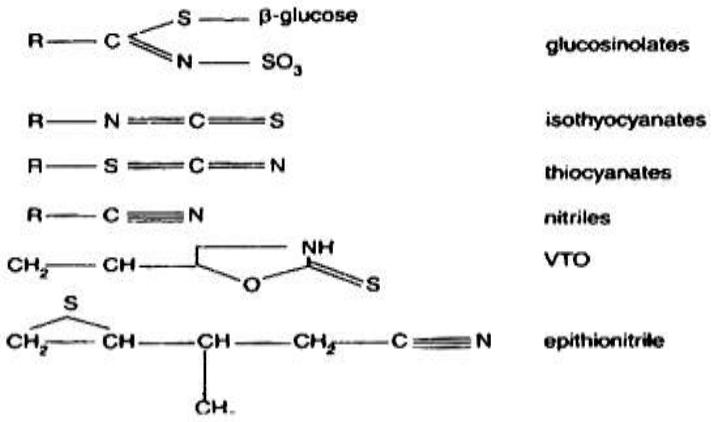
ظاهراً لکتین ها بواسطه چسبیدن به انتروسیت هایی که موجب اختلال در ویژگی جذب کنندگی آنها میشوند، اثر ضد تغذیه ای خود را بروز می دهند. چندین گیاه از تیره بقولات، بویژه نخود فرنگی (*Pisum saltivum*)، از لکتین ها غنی هستند. پختن، یکی از روش های غیرفعال کردن این عوامل است، هرچند لکتین های مقاوم در برابر حرارت (ricin) نیز وجود دارند. اثرات زیانبار این مواد روی ماهی تقریبا ناشناخته باقی مانده است.

٤-۲-۱۹) گلوکوزینولاتها و عوامل ضد تیروئیدی

این ترکیبات عمدتا در گیاهان خانواده شب بو یافت می شوند و در تمامی بخش های گیاه وجود دارند. تعداد بسیار زیادی از این ترکیبات یا توسط گیاهان ساخته شده اند یا در جریان اعمال تیمارهای تکنولوژیک بر اثر فرآیندهای تجزیه ای حاصل می شوند. تاکنون بیش از ۷۰ درصد ترکیبات شناسایی شده اند. در مجموع، این ترکیبات تا ۸ درصد از ماده خشک دانه را بخود اختصاص می دهند که در کنجاله آنها به دو برابر این مقدار می رسد. دو گونه گیاهی کلم روغنی (*Brassica napus*) و شلغم وحشی (*Brassica campestris*) که بترتیب عمدتاً در اروپا وکانادا کشت می شوند و هر دو اشتباهاً تحت نام ژنریک کلزا خوانده می شوند، از نظر محتوای گلوکوزینولات ها با هم متفاوتند بطوریکه شلغم وحشی غنی تر از کلم روغنی است.

تمام گلوکوزیدها از یک مولکول گلوکز و یک ترکیب سولفوره با زنجیره جانبی که ماهیت متغیر دارد، تشکیل می شوند. گلوکوزینولاتها به خودی خود سمی نیستند، اما مزه تلخ آنها می تواند رفتار تغذیه ای را تحت تاثیر قرار دهد. بیشتر اثرات عوامل ضد تیروئید ناشی از مولکول های حاصل از هیدرولیز گلوکوزینولات‌هاست که تحت تاثیر مایروزیناز (که یک کمپلکس آنزیمی است) تولید می شوند. فرمول ترکیباتی که معمولا به این صورت شکل می گیرند در شکل ۱-۱۹ نشان داده شده است. کم اشتهایی حیوان بهنگام مصرف غذاهای حاوی آرد دانه کلم روغنی عمدتا به سبب ایزوتیوسیانات‌هاست، حال آنکه تاثیر عوامل ضد تیروئید بیشتر به علت ۵- وینیل-۲- تیو-اکسازولیدون[1] یا VTO است که گوایترین[2] نیز نامیده می شود.

[1] 5-vinyl-2-thio-oxazolidone
[2] goitrine



شکل ۱-۱۹) فرمول شیمیایی گلوکوزینولات ها و برخی ترکیبات مشتق شده از آنها
(Larbier and Leclercq, 1992)

این مولکول از اتصال ید به هورمون های تیروئید جلوگیری می کند. این اثر را نمی توان از طریق تامین مولکول های ید در جیره غذایی جبران نمود و نتیجه آن افزایش حجم تیروئید یا گوآتر است.

روش های مختلفی برای کاهش سمیت ناشی از کنجاله های گیاهان خانواده شب بو بویژه از طریق غیر فعال کردن حرارتی مایروزیناز وجود دارد اما هیچ یک از این روش ها کاملا رضایت بخش نبوده و این مسئله زمانی تغییر نمود که متخصصان علم ژنتیک بعد از تولید محصول Zero erucic (که در آن روغن تقریبا فاقد اروسیک اسید است)، واریته های Double zero را بدست آوردند که میزان گلوکوزینولات‌ها در آنها خیلی کم است. بذر واریته Double zero کانادایی که در واقع نوعی کلم روغنی با مقادیر اندک گلوکوزینولات هاست، کانولا نامیده شد. حساسیت ماهی به گلوکوزینولات ها و مشتقات آنها از گونه‌ای به گونه دیگر و حتی درون یک گروه مشابه نظیر ماهی آزاد اقیانوس اطلس کاملاً متفاوت است.

۵-۲-۱۹) ساپونین ها

این ترکیبات همچون گلوکوزینولات ها ماهیت گلوکوزیدی دارند که در تمام قسمت های گیاه و بویژه در برگ های گونه ها یافت می شوند. از شناخته شده ترین این ترکیبات که در یونجه (*Medicago sativa*) وجود دارد، از یک مولکول گلوکز تشکیل شده که توسط اسید مدیکاژنیک استری شده است. ده ها مولکول از این نوع وجود دارند.

ساپونین ها دو خاصیت دارند: اولا به علت مزه تلخ، قادرند خوش طعمی جیره را کاهش داده و دوم اینکه بواسطه میل ترکیبی با استرول ها، در جذب آنها از روده دخالت می کنند و بازیافت نمک های صفراوی را محدود می سازند. ساپونین ها بسیار پایدارند، ولی تنوع ژنتیکی قابل توجهی دارند بطوریکه یونجه هایی با مقادیر اندک ساپونین کشت می شوند. سمیت ساپونین ها در ماهی مورد بحث و اختلاف نظر بوده و عملاً به شکلی ضعیف مورد استدلال قرارگرفته است. در رابطه با سخت پوستان هنوز مطالعات آزمایشگاهی وجود ندارد، اما سمیت ساپونین ها در این گروه از موجودات باید بالاتر از مهره داران باشد که علت آن ناتوانی بندپایان در سنتز هسته اصلی استرول به عنوان یک ضرورت است (فصل ۱۷).

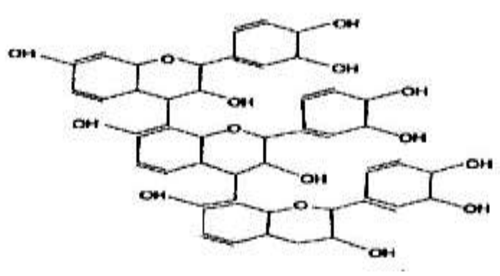
٦-۲-۱۹) گوسیپول

این ترکیب نوعی پلی فنل است که در غده های میکروسکوپی پنبه دانه (*Gossypum* sp.) بوفور وجود دارد. ظاهراً این ماده دارای عملکردی پیچیده است. بعد از خورده شدن گوسیپول، قابلیت هضم پروتئین کاهش می یابد. علاوه بر این، در صورت بالا بودن دوز مصرفی در جیره غذایی قزل آلا، رشد بشدت کاهش یافته و علائم چندگانه مسمومیت در کلیه، کبد و طحال ظاهر می شود. اعمال تیمار حرارت مرطوب به کنجاله، امکان تشکیل ترکیباتی که ۹۰ درصد گوسیپول آنها غیر فعال شده را فراهم می کند. اخیرا گونه های پرمحصولی با غده های بسیارکم تولید شده اند که فاقد گوسیپول می باشند.

گلوکوزیدهای متعددی با اثرات زیانبار وجود دارند، بخصوص گلوکوزیدهای سیانوژنیک که بر اثر هیدرولیز، سم خطرناک اسید سیانیدریک آزاد می کنند. این مواد در مانیوک (cassava) و برخی دانه‌های گیاهان تیره بقولات وجود دارند.

۷-۲-۱۹) تانن ها

تانن ها پلی فنل هایی متعلق به دو خـانواده انـد کـه تنهـا یـک دسـته از آنهـا یعنـی تـانن هـای متـراکم، در برگیرنده عوامل ضد تغذیه ای واقعی می باشند. این مواد شامل پلی‌مرهای درشت مولکولی هسـتند کـه در گرامینه ها نظیرسورگوم و برخی حبوبات لگومینه از قبیل باقلا (*vicia faba*) یا در بعضی گیاهـان شـب بـو نظیر کلم روغنی یافت می شوند. تانن ها در پوسـته دانـه هـا قـرار دارنـد. اثـر ضـد تغذیـه ای آنهـا هماننـد گلوکوزینـولات هـا و سـاپونین هـا از طریـق کـاهش اشـتها دو چنـدان مـی شـود. ایـن موضـوع بـویژه در سورگوم‌های bird resistant روشن است. اثر ضد تغذیه ای حقیقی تانن، ناشی از تشکیل کمـپلکس هـای غیراختصاصی بین تانن ها و پروتئین های خاص، بخصوص آنزیم های گوارشی است که در مفهـوم کلـی با ایجاد مانعی، قابلیت هضم را کاهش می دهد. تانن های متراکم، مولکول هایی هستند کـه بـه آسـانی از طریق حرارت دادن تخریب می شوند، ضمن اینکه با پوسته زدایی دانه ها بخش از ایـن مـواد بـه آسـانی از بین می روند. علاوه بر این، متخصصان علم ژنتیک در مورد لوبیا به واریته هایی با میزان تـانن پـایین دسـت یافته اند که پروتئین آنها قابلیت هضم بیشتری دارند.



شکل ۲-۱۹) ساختار شیمیایی تانن های متراکم (Larbier and Leclercq, 1992)

۸-۲-۱۹) آلکالوئیدها

آلکالوئیدها در مفهـومی دقیـق، مولکـول هـای نیتروژنـی مشـتق شـده از اسـیدهای‌آمینـه (شـامل لایـزین، اورنیتین، تیروزین، فنیـل آلانـین و تریپتوفـان) هسـتند. بصـورت واضـح تـر، ایـن مـواد خـانواده بزرگـی از مولکول ها را تشکیل می دهند که همواره شامل حداقل یک اتم نیتروژن، بـه عنـوان بخشـی از یـک حلقـه نامتجانس، هستند.

چندین هزار نوع از این ترکیبات شناسایی شده اند و چنین برآورد می شود که یک چهارم از گیاهان عالی حاوی این ترکیبات باشند اما این مواد به ندرت در گیاهان خوراکی یافت می شوند ضمن آنکه در گیاهان پست ناشناخته اند. برخی از آنها مانند کافئین و نیکوتین به سبب تاثیر در سیستم عصبی، شناخته شده اند. سایر آلکالوئیدها در درجات مختلف سمی اند. تمامی انواع لوپن های مورد استفاده در خوراکهای انسانی یا حیوانی حاوی آلکالوئیدها (لوپینین، لوپانین و غیره) بوده و مزه تلخ مشخصی دارند و به منظور قابل مصرف کردن این دانه ها یا آرد آنها، باید این ترکیبات را از طریق خیس کردن در آب، خارج نمود. از قرن نوزدهم واریته های تقریبا فاقد آلکالوئیدها از ۴ گونه از جمله لوپن سفید (*lupinus albus*) و لوپن ریز(*lupinus angustifolius*) که بترتیب عمدتاً در اروپا و استرالیا پرورش می‌یابند، حاصل شده است. امروزه این واریته های شیرین جایگزین واریته های تلخ شده و بخوبی توسط ماهی مصرف میشوند و عملکرد فوق العاده ای بهمراه دارند. دانه های لوپن شیرین یکی از اولین منابع پروتئین گیاهی مورد استفاده در تغذیه ماهیان پرورشی در استخرها بوده است.

آلکالوئیدهای متعدد دیگری نیز وجود دارند. در خانواده بقولات، (لگومینه ها) ترکیبات vicine و convicine وجود دارد. استفاده از چندین آلکالوئید در ماهی به طور آزمایشی، مسمومیت خطرناکی را بدنبال دارد اما مطابق با دانش امروزی، استفاده از آلکالوئیدهای حاصل از مواد خام معمولی مسمومیتی بهمراه نداشته است.

۹-۲-۱۹) سایر عوامل ضد تغذیه ای حاصل از گیاهای عالی تر

عوامل ضد تغذیه ای بیشتری را می توان به فهرست عوامل ضد تغذیه ای موجود در غذاهای ماهی افزود، هر چند تاثیر آنها ممکن است اندک بوده و از نظر علمی و اهمیت اقتصادی ناشناخته باشند. چند نمونه از آنها بدین شرح است:

- عوامل استروژنی[1] در گیاهان که از نظر شیمیایی متنوع بوده و می توانند بلوغ جنس ماده را تحت تاثیر قرار دهند.

[1] oestrogenic

- اسیدهای چرب با اثرات سمی نظیر اروسیک اسید حاصل از گیاهان شب بو یا استرکولیک اسید موجود در روغن پنبه دانه (بازدارنده واکنش های غیر اشباع نمودن اسیدهای چرب) که تقریبا به طور کامل از کنجاله ها (و آردها) قابل حذف می باشند.

- اسیدهای‌آمینه غیر پروتئینی که از طریق رقابت با اسیدهای‌آمینه تشکیل دهنده پروتئین، بعنوان سموم مسدود کننده سنتز پروتئین در RNA های پیامبر ایفای نقش می کنند. این اسیدهای‌آمینه ویژه، نظیر میموزین که در یک گیاه خوراکی بقولاتی گرمسیری *Leucaena glauca* وجود دارد، حاوی اثرات سمی بیشتری است.

- آنتی ویتامین های مختلف و غیره

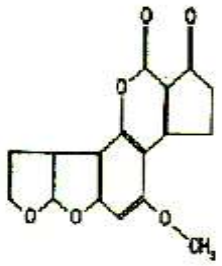
۱۰-۲-۱۹) سموم قارچی یا جلبکی

سموم قارچی آن دسته از ترکیباتی هستند که توسط قارچ های میکروسکوپی ترشح می‌شوندکه عموما کپک نامیده می شوند. برخی از این مولکول ها بسیار سمی اند، برای مثال، اثر سرطانزایی آفلاتوکسین ها ۱۰۰ بار بیشتر از اثر اغلب ترکیبات مصنوعی سرطانزای فعال است. خطر محصولات گیاهی کپک زده از مدتها پیش شناخته شده و مشخص گردیده که اجزاء خاصی از گیاهان دارای منشاء گرمسیری (مانند کنجاله های بادام زمینی) اغلب مواقع آلوده بوده و تنها بعضی مواقع آلودگی کمی دارند، چون جلوگیری از رشد کپک در محیط گرم و مرطوب دشوار است. ماهیت مایکوتوکسین ها (سموم قارچی) بتازگی تعیین شده و اندازه گیری صحیح اجزا مختلف در مقادیر بسیار جزئی، کار دشواری است. از اینرو، برآورد سمیت محصولات فاسد شده توسط میکروارگانیسم ها بویژه در مورد ماهی همچنان دشوار است. این موضوع ما را به یک شناخت مختصر محدود خواهد کرد.

۱-۱۰-۲-۱۹) آفلاتوکسین ها

این مواد، ترکیبات کاملاً متداولی هستند که توسط *Aspergillus flavus* تولید می شوند. معمول ترین ماده خام آلوده، کنجاله بادام زمینی است ولی انواع دیگری از مواد خام مانند کنجاله پنبه دانه یا نارگیل، مانیوک و غلات نیز ممکن است آلوده شوند.

مولکول های آفلاتوکسین زیر نور ماوراء بنفش روشن می شوند که از این روش برای شناسایی آنها استفاده می شود بطوریکه مولکول‌هایی با فلورسانس آبی، آفلاتوکسین های B و مولکول هایی با فلورسانس سبز، آفلاتوکسین های G نامیده می شوند. در حال حاضر ساختار مولکول های آفلاتوکسین شناسایی شده است (شکل ۳-۱۹). سمیت آنها با توجه به گونه های حیوانی متنوع است اما ظاهراً آفلاتوکسین B_1 بیشترین سمیت را دارد. ماهی آزاد اقیانوس اطلس و گربه ماهی آمریکایی در برابر سم آفلاتوکسین مقاومتر از قزل آلا می باشند. این ماهی در صورتیکه از جیره غذایی حاوی ۰/۴ ppb (میلی گرم از هر تن غذا) آفلاتوکسین B_1 در یک دوره طولانی دریافت کند، به سرطان کبد مبتلا می شود. تاکنون بر اساس مطالعات انجام شده، قزل آلا حساس ترین گونه نسبت به آفلاتوکسین هاست. علاوه بر این، اثرآفلاتوکسین ها بواسطه استرکولیک اسید تقویت می شود که منجر به خطرناکتر شدن کنجاله پنبه دانه آلوده شده با *Aspergillus flavus* می گردد. غلظت ایجاد کننده مسمومیت مزمن، از طریق حدآستانه قابل تشخیص است.



شکل ۳-۱۹) فرمول شیمیایی آفلاتوکسین ها (Larbier and Leclecrq, 1992)

۲-۱۰-۲-۱۹) سایر سموم قارچی

سموم قارچی متعددی وجود دارند که کمتر از آفلاتوکسین ها مورد شناسایی قرار گرفته اند. تریکوتسن‌های[1] ترشح شده توسط کپک های جنس *Fusarium* و زیرالنون[2] تولید شده توسط *Fusarium roseum*، همانند اوکراتوکسین های[3] ترشح شده توسط گونه های آسپرژیلوس و پنی سیلیوم، بوفور روی غلات کپک زده وجود دارند. اوکراتوکسین A در قزل آلا سمیتی نزدیک به سمیت آفلاتوکسین ها ایجاد می‌کند. در مورد سایر سموم، اغلب اثری مشاهده نشده یا هنوز در ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است. باید توجه داشت که Trichotecene–vomitoxin منجر به استفراغ در قزل آلا نمی شود، اما مصرف غذا را مختل می کند.

۳-۱۹- عوامل ضد تغذیه ای در فرآورده های حیوانی

تشریح عوامل ضد تغذیه ای فرآورده های حیوانی بسیار دشوارتر از محصولات گیاهی است، هرچند به عنوان نمونه، عوامل آنتی تریپسیک در آرد ماهی دیده شده است. همچنین آویدین[4]، پروتئین موجود در سفیده تخم مرغ خام، یک آنتی ویتامین حقیقی است. بنابراین، انواع مختلفی از ترکیبات مضر در مواد حیوانی خام نیز وجود دارند.

۱-۳-۱۹) تیامیناز

حضور آنزیم های هیدرولیز کننده تیامین در ماهی خام ، بویژه در ماهیان آب شیرین ثابت شده است. این آنزیم در ماهیان تغذیه شده با غذاهای مرطوب یا ماهیان سیلو شده یا خرد شده باعث بروز بیماری میشود. تیامیناز با حرارت دادن غیر فعال می شود و می توان بسادگی و با کاهش طول دوره تماس بین آنزیم و ماده زمینه (یعنی غذای تازه تهیه شده) و همچنین افزایش میزان تیامین خالص، از بروز چنین وقایعی جلوگیری کرد.

---

[1] Trichotecenes
[2] Zearalenone
[3] ochratoxins
[4] avidine

۲-۳-۱۹) هیستامین

هیستامین یک آمین بیوژنیک مشتق شده از هیستیدین است که توسط حیوانات ساخته شده و منجر به بروز آلرژی در حیوانات عالی می شود. همچنین این ماده پس از مرگ ماهی از طریق فعالیت باکتری ها بویژه باکتری *Proteus morganii* تولید می شود. میزان هیستامین از شاخص های ارزیابی کیفیت آرد ماهی یا حداقل تازگی فرآورده های مورد استفاده در ساخت غذاست. اما از آنجاییکه میزان هیستامین با همان سرعتی افزایش می‌یابد که ماهی فاسد می شود و پس از فساد خیلی شدید، کاهش می یابد، نمی تواند به تنهایی به عنوان شاخص ارزیابی کیفی استفاده شود. هیستامین در گوشت ماهی تن می تواند به شکلی ویژه به سطوح بالایی برسد از اینرو بروز بیماری در انسان پس از مصرف ماهی تن غنی از هیستامین مشاهده شده است. در مقابل، ظاهراً استفاده از این محصول به صورت خوراکی منجر به بروز شوک هیستامین در ماهی نمی شود.

گیزرولین ها[1]، که نام آن از سایشی که در سنگدان بوقلمون ها و مرغ ها موجب می شود گرفته شده است، از مشتقات هیستامین بوده و هنگام حرارت دهی بیش از حد تولید می شوند. این ماده همانند هیستامین به گیرنده مشابه متصل می شود ولی ۲۰۰ مرتبه فعال تر از هیستامین می باشد. هنوز روش موثری برای اندازه گیری شیمیایی این آمین که به میزان اندکی شناسایی شده، وجود ندارد و صرفا با استفاده از آزمایشهای بیولوژیک روی جوجه ها مقدار آن تعیین می شود.

۳-۳-۱۹) لیپیدهای پر اکسید شده

اسیدهای چرب غیر اشباع بویژه اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره طولانی n-۳ (HUFAs) نسبت به پراکسیده شدن که به طور طبیعی در بدن موجود زنده روی می دهد، بسیار حساسند (فصل ۷). این واکنش ها همچنین طی حرارت دادن مواد خام در فرآیندهای پلت سازی یا اکستروژن و نیز طی دوره ذخیره سازی مواد خام یا غذا روی می دهند. به این ترتیب، ترکیبات ناپایداری که بر اثر این واکنش ها ایجاد می شوند همراه با ترکیبات سمی پایدار (آلدئیدها و کتون ها) حاصله در پایان زنجیره، عوامل ضد تغذیه ای حقیقی را تشکیل می دهند.

---

[1] Gizzaroline

این مواد به صورت یکجا اندازه گیری شده و در مجموع با عنوان مواد واکنش پذیر اسید تیوباربیتوریک[1] (TBARs) بیان می شوند. این مواد باعث از بین رفتن اشتهای ماهی نسبت به غذا، القاء کمبود ویتامین C بویژه ویتامین E و همچنین ایجاد مسمومیت جدی می شوند. مسمومیت ناشی از این مواد شامل اختلال در عملکرد فعالیت گوارشی و کاهش توانایی دستگاه گوارش است که ناشی از جلوگیری از ترشح آمیلاز، لیپاز و تریپسین، همچنین توقف جزئی ترشح آنزیم های چرخه کربس و کاهش سنتز ATP در میتوکندری می باشد. بطور کلی، بیشتر علائم مشاهده شده بعد از افزودن روغن های پراکسیده شده به جیره غذایی، شامل همولیز گلبول های قرمز خون، تحلیل رفتن عضلات، تراوشات مویرگی یا کم خونی میکروسیتیک، در حقیقت بیانگر کمبود آلفا- توکوفرول هستند. این علائم ناشی از تخریب غشاهای سلولی به دنبال پراکسیده شدن اسیدهای چرب چند غیر اشباع (HUFAs) است که از طریق افزودن ویتامین E می توان از بروز آنها جلوگیری نمود. باید خاطرنشان کرد که پراکسیده شدن اسیدهای چرب در مواد خام، جیره های غذایی و حتی غذاهای تازه آماده مصرف بواسطه استفاده از آنتی اکسیدان های مصنوعی و توکوفرول ها بشدت کاهش می یابد، اما در رابطه با استات توکوفرول غیرفعال شده پیش از هیدرولیز بی‌تاثیر است.

٤-۳-۱۹) سموم جلبکی منتقل شده توسط ماهی

تعداد زیادی از ترکیباتی که برای انسان یا ماهی سمی اند توسط گونه های خاصی از فیتوپلانکتونها و در جریان پدیده هایی موسوم به کشند قرمز(red tides) ترشح می شوند. از جمله این سموم، سیگواتوکسین‌ها[2] و مایوتوکسین ها[3] هستند که توسط نوعی جلبک تک سلولی به نام *Gambierdiscus toxicus* ترشح می شوند. این جلبک روی جلبک های ماکروفیت بویژه پس از تخریب صخره های مرجانی، رشد و گسترش می یابد. ساختار سیگواتوکسین ها بتازگی شناسایی شده است. این ماده یک مولکول بسیار پیچیده است که از نظر واکنش زیستی بسیار غیرعادی بوده و می تواند کانال های سدیم غشاهای سلولی را مسدود نماید، از اینرو فوق العاده سمی است.

---

[1] Thiobarbituric
[2] Ciguatoxins
[3] Maiotoxin

فرمول مایوتوکسین ترشح شده توسط این جلبک، هنوز شناسایی نشده است. این مولکول ها در زنجیره غذایی تجمع یافته و ترجیحاً در ماهیان گوشتخوار مسن تر ساحلی متمرکز می شوند. بنابراین، این ترکیبات ظاهراً برای ماهی چندان سمی نیستند، اما همین مواد برای پرورش دهنده ای که از این ماهیان سمی یا حتی آرد حاصله از این ماهیها در آبزی پروری استفاده می کند بسیار زیانبار است، زیرا سیگواتوکسین در مقابل حرارت مقاوم است.

امکان وجود سموم باکتریایی در فرآورده های حیوانی فاسد وجود دارد که منجر به بروز بیماری های بسیار خطرناکی می شوند. با این وجود، معمولا آنها را به عنوان عوامل ضد تغذیه ای در نظر نمی گیرند. این سموم از جمله ترکیباتی هستند که موجب ضعف ایمنی غذایی می شوند. این گروه شامل سموم جلبکی می‌شوندکه قبلا به آنها اشاره شد.

٤-۱۹ - خلاصه

اثرات ناشی از عوامل ضد تغذیه ای گیاهی بر ماهی کمتر از مهره داران عالی مورد مطالعه قرار گرفته است. چون این مواد خام به دلایل اقتصادی یا دلایل تکنیکی مختلف بندرت در غذاهای آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار می گیرند، این موضوع در برخی از موارد قابل توجیه است. مطالعات پیرامون سایر موارد (عوامل آنتی تریپسین، آفلاتوکسین ها)، حساسیت بالایی را در ماهی نسبت به این عوامل نشان داده و بنابراین، کنترل بسیار دقیق بر کیفیت اجزا سازنده اولیه الزامی است. در مورد مواد خام حیوانی و بویژه مواد دارای منشاء دریایی (تنها منبع اسیدهای چرب چند غیر اشباع سری۳ -n (HUFAs)، اطلاعات بیشتری وجود دارد که البته این اطلاعات هنوز کافی نیست.

«فصل ۲۰»

فرمولاسیون غذاها در آبزی‌پروری

از آنجاییکه غذاهای ترکیبی ماهی در یک مقیاس صنعتی تولید می شوند، برای ساختن آنها از ابزارهای کامپیوتری با کارآیی بسیار بالا بویژه روش فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه استفاده می‌شود. اما در آبزی پروری، به دلیل پایین بودن دقت مربوط به ارزش مواد غذایی یا محدودیت های تکنیکی، در بازدهی و در نتیجه کارکرد این ابزارها اختلال ایجاد شده است. نگرانی اخیر در مورد حفظ محیط زیست و حتی توسعه تکنیک های مختلف از قبیل سیستم اکستروژن، دامنه پارامترهایی که باید در نظر گرفته شوند را گسترش داده و در شرایط کنونی از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. با این همه، فرمولاسیون غذای آبزیان بر پایه اصول مورد استفاده برای حیوانات خشک زی استوار است که در این فصل به تفصیل بیان می شود.

۲۰-۱ - اصول کلی

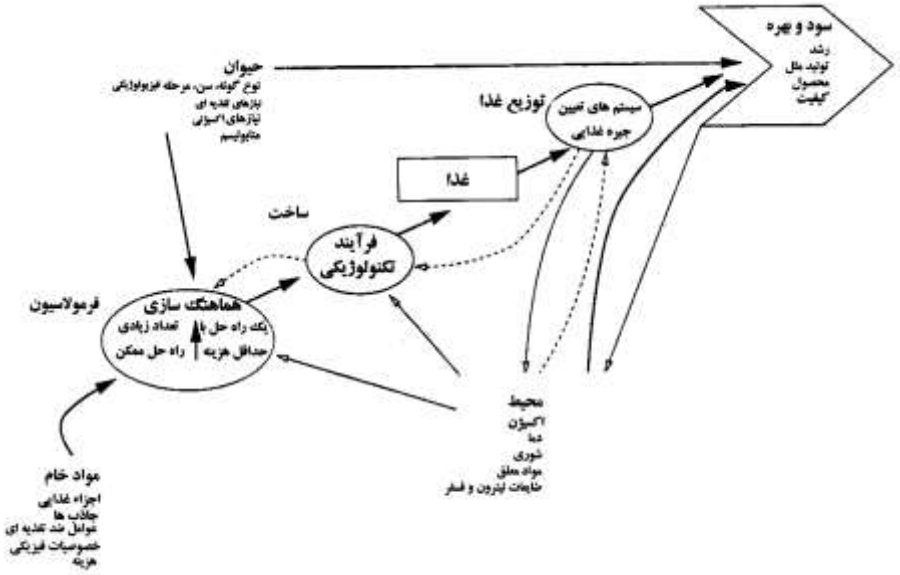
۲۰-۱-۱) اهداف اصلی

در صورت در دسترس بودن انواع مختلفی از مواد خام، دامنه متنوعی از ترکیبات در اختیار خواهد بود که با استفاده از آنها می توان فرمول های غذایی متعددی را مطابق با نیاز حیوان تنظیم نمود. مطالعات تغذیه‌ای امکان تعیین نیازهای حیوان را فراهم کرده و از علم شیمی برای شناخت محتوای عناصر غذایی مواد خام استفاده می شود. این مطالعات تواماً برآورد مناسب ترین ترکیب قابل محاسبه را امکان پذیر می سازد.

با این وجود، تعداد راهکارهای تئوری ممکن نامحدود است. تعیین فرمولاسیون غذایی با حداقل هزینه به منظور ایجاد صرفه اقتصادی، مسئله دیگری است که باید مورد توجه قرار بگیرد.

۲-۱-۲۰) طرح کلی

شناسایی مقرون به صرفه ترین غذایی که تامین کننده تمام نیازهای حیوان باشد، تنها یکی از جنبه های مسئله است که باید توسط سازنده غذا یا بصورت دقیق تر توسط تنظیم کننده فرمول غذا حل شود. بهترین غذا الزاما غذایی نیست که نیاز حیوان را با حداقل هزینه (صرفا از نظر تغذیه ای) تامین کند یا بیشترین سود را برای تولید کننده غذا یا آبزی پروران بدنبال داشته باشد. بهترین غذا، غذایی است که بیشترین سود را برای مجموعه ای از افراد و بخش های مرتبط، شامل تولیدکنندگان، پرورش دهندگان و عمل آوران، همچنین گروههای مسئول حفظ محیط زیست، تضمین کند. ارتباط موجود بین خصوصیات حیوان، عناصر سازنده و محیط زیست و نیز مفاهیم مراحل مختلف ساخت و استفاده از غذا در شکل ۱-۲۰ ارائه شده است.



شکل ۱-۲۰) مسائل مرتبط با ساخت غذا

۳-۱-۲۰) ویژگی های مرتبط با حیوان، غذا و محیط زیست

در بین خصوصیات حیوان نه تنها نیازهای غذایی بلکه رفتار تغذیه ای، توانایی هضم برخی غذاها و سایر خصوصیات از جمله ویژگیهای متابولیک نیز وجود دارند که به گونه و وضعیت فیزیولوژیک حیوان مربوط می شوند. از میان ویژگی های غذا، علاوه بر مواد مغذی که مطالعات زیادی را بخود اختصاص داده اند، مواد ضد تغذیه ای، عوامل خوش طعمی (یا بد مزگی)، همچنین برخی خصوصیات فیزیکی نیز باید مد نظر قرار گیرند. در ارتباط با مشخصات محیط زیست آب لازم است میزان اکسیژن، مواد معدنی و آلی، همچنین مواد جامد معلق مطالعه شوند. بطورکلی، بایستی پیامدهای پرورش ماهی پیرامون این عوامل مدنظر قرار گیرند.

محیط زیست روی فیزیولوژی و نیازهای تغذیه ای ماهی تاثیر گذار بوده و متقابلاً هر کدام از این عوامل بر محیط زیست اثر می گذارند. بنابراین، ضروری است که واکنش ها و تاثیرات متقابل بوجود آمده مورد توجه قرار گیرند. مطالعه پیرامون مفاهیمی مانند روش های ساخت یا توزیع غذا نیز لازم است.

۲-۲۰ - اصول و محدودیت های فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه

فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه عمده ترین روشی است که در حال حاضر مورد استفاده قرار میگیرد، گرچه این روش نیز امروزه مانند ماشین حساب کم کم در حال کنارگذاشتن است. همانطور که در کادر ۱-۲۰ ارائه شده است، اصول کلی شامل حل مجموعه ای از معادلات است.

فرض کنید مجموعه ای از مواد اولیه M موجود باشد که میزان a_{ij} هر ماده مغذی مشخص است، شاخص i به یک ماده غذایی(برای مثال لایزین) و شاخص j به جزء سازنده (برای مثال آردماهی) مربوط می شود، اگر a_{ij} نیاز یک ماده غذایی i (مثلا نیاز لایزین) باشد، برای اینکه مجموع مواد غذایی اولیه i بزرگتر یا مساوی نیازها شود، رابطه مورد استفاده به این صورت خواهد بود:

$$\sum a_{ij} x_j \geq b_i$$

در اینجا x_j درصد مواد خامی است که در فرمولاسیون گنجانده می شود و اصطلاح ماده مغذی برای مواد مغذی حقیقی، مواد مغذی درشت، انرژی، خاکستر، فیبر و غیره بکار می رود.

برآورد نهایی، مربوط به هزینه است که باید به حداقل رسانده شود. مقدار یک ماده مغذی مشخص از یک جزء سازنده می تواند عملا به صفر رسیده یا نامشخص باشد که در چنین حالتی(در صورت امکان) می توان مقدار صفر را برای آن فرض نمود بدون اینکه تغییری در عملکرد کل ایجاد شود. اما یک هزینه مجهول منفرد روند محاسبه را مختل می کند. در حقیقت، اگر نا مساوی های (m).....(۱) توسط معادلات جایگزین شوند، باید مجموعه ای از معادلات (m+۱) با n مجهول حل گردد. حل این سیستم (به جز در مواردیکه m=m است) یا غیر ممکن خواهد بود یا بی نهایت جواب خواهد داشت. اگر نامساوی ها جایگزین معادلات شوند، تعداد بی شماری پاسخ خواهیم داشت، اما با به حداقل رساندن تابع بهترین پاسخ انتخاب می شود.

$$C = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \ldots\ldots\ldots + C_m \; X_M$$

در این معادله، C هزینه یا به عبارت دیگر تضمین کننده راه حل برآورد حداقل هزینه است.

تمامی نامساوی ها مربوط به معادله حداقل هزینه مطابق با نیازها نیستند، در شرایط خاص، برای مثال، هنگامیکه مقدار یک ماده مغذی مانند آمینواسیدهای ضروری یا املاح معدنی خاص به دلیل مضر بودن مقادیر اضافی باید کاهش یابد، لازم است تا مقدار حداکثر در نظر گرفته شود. بنابراین، در رابطه با برخی مواد مغذی فرمول ذیل ارائه می شود:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2} + \ldots\ldots\ldots + a_{ij}x_j + \ldots\ldots\ldots + a_{in}x_n \geq b_i$$
$$a_{i1}x_1 + a_{i2} + \ldots\ldots\ldots + a_{ij}x_j + \ldots\ldots\ldots + a_{in}x_n \leq B_i$$

در اینجا B حداکثر مقدار مجاز است.

چون مقادیر اضافی اغلب هزینه اضافی به همراه دارند، در عمل در مورد مواد مغذی این نوع نامساوی ها کمتر بکار می روند و از فرمول حداقل هزینه حذف می شوند. اما سطح حداقلی از b_i و سطح حداکثری از B_i را می توان به منظور حفظ مقدار در یک محدوده مشخص بکار برد. استفاده از حد بالا تنها برای ترکیباتی نظیر فیبرها یا کل املاح معدنی متداول است. در موارد خاص، تنها معادلات بکار می روند.

کادر ۱-۲۰) نمایش ریاضی عوامل مورد نظر در فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه

a_{ij} = مقدار ماده خام j از یک ماده غذایی i

b_j = احتیاجات، به معنی استاندارد توصیه شده برای ماده غذایی i

B_i = حداکثر ماده غذایی قابل قبول i

x_i = درصد ماده خام j

n = تعداد اجزاء غذایی اولیه قابل دسترس

m = تعداد مواد مغذی در نظر گرفته شده

C_j = هزینه اجزاء غذایی اولیه j

نامساوی های مربوط به محدودیت های تغذیه ای

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots\dots\dots\dots + a_{1j}x_j + \dots\dots\dots\dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \qquad (1)$$

$$a_{21}x_2 + a_{22}x_2 + \dots\dots\dots\dots + a_{2j}x_j + \dots\dots\dots\dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \qquad (2)$$

$$- -$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots\dots\dots\dots + a_{mj}x_j + \dots\dots\dots\dots + a_{mn}x_n \geq b_m \qquad (m)$$

همراه با

$$x_1 + x_2 + \dots\dots x_n = 100 \qquad (m+1)$$

در رابطه با مواد مغذی خاص، نامساوی های زیر را می توان به کار برد

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots\dots\dots\dots + a_{ij}x_j + \dots\dots\dots\dots + a_{in}x_n \geq b_1 \qquad (P)$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots\dots\dots\dots + a_{ij}x_j + \dots\dots\dots\dots + a_{in}x_n \leq B_1 \qquad (P+1)$$

نامساوی ها یا معادلات مربوط به محدودیت های تکنیکی

$$x_i > d$$
$$x_k \leq e$$
$$p < x_0 < f$$
$$x_h = g$$

این نامساوی ها یا معادلات برای اهداف مختلف به کار می روند.

این مجموعه نامساوی ها یا معادلات با m+1+N که N برابر با مجموع نامساوی های (P+1) مربوط به اطلاعات تکنیکی است، راهکارهای متعددی را شامل می شود.

فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه تنها یک راه حل را در بر می گیرد، که این راه حل تابع را کوچک و ساده تر می کند.

$$C = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots\dots\dots\dots + C_J\ x_J + C_nx_n$$

به عبارت دیگر، این فرمول کمترین هزینه را به همراه دارد. جمع پذیری مقادیر $a_{ij}x_j$ که به معنی صحت معادلات و نامساوی های نوع (p) یا (p+1) می باشد، به علت خطی بودن این فرمولاسیون است.

برای مثال، چون اسیدهای آمینه ضروری از نظر انرژی با ارزشند یا حتی سطوح مذکور فوق، دارای انـرژی با حداقل هزینه اند، می توان سطحی از انرژی را ثابت نگه داشت. داده هایی نظیـر b_i یـا B_i محـدودیتهای تغذیه ای می باشند.

در صورتیکه سازنده غذا بخواهد درصد یک عنصر سازنده مشـخص را کـاهش و یـا افـزایش دهـد، سـایر خصوصیات را می توان بر اساس مقادیر x_{ij} تعیین نمود و محدویت های تکنیکی را محاسبه کرد. حتـی در صورتیکه مقدار ماده مغذی به تنهایی سودآور نباشد، این محدودیت ها می تواند حداقل مقدار یک عنصر مشخص را تعیین نماید. در مقابل، به دلایل فنی می توان استفاده از آن را حتـی در مـواردی محـدود نمـود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بنظر می رسد. می توان ملاحظه نمود که چگونه این محدودیت ها کـه استفاده از آنها صرفا بر پایه نیازهای تغذیه است، تنها هزینه فرمولی را افزایش داده و امکان در نظـر گـرفتن پاره ای از عواملی که نمی توانستند به مجموعه اولیه معادلات وارد شوند را فراهم می کنند.

۳-۲۰ - محدودیت های نظری فرمولاسیون خطی

۱-۳-۲۰) خطی بودن و جمع پذیری در تغذیه

اصول فرمولاسیون خطی به خودی خود بر پایه محاسبه مقدار مواد مغذی با استفاده از یک فرمول ریاضـی ساده استوار است که از نظر تئوری حداقل تا زمانی که مواد مغذی خام مدنظر باشند، مورد بحـث و تبـادل نظر قرار نمی گیرد. اما این موضوع همواره در مورد مواد مغذی موجود درست نمی باشد. برای مثـال، بـه عنوان اولین برآورد چنین فرض می شود که انرژی قابل هضم یک جیره تابع خطـی از ترکیبـات آن باشـد. این فرضیه توسط دانشـمندانی کـه انـرژی قابـل هضـم را انـدازه مـی گیرنـد پذیرفتـه شـده امـا بـه نـدرت بطورکامل به اثبات رسیده است. همانگونه که در رابطه با اشباع شـدن پدیـده هضـم- جـذب مشـاهده مـی شود، اگر سطح مشارکت در ترکیب (x) بالا باشد، میزان انرژی ایـن عنصـر سـازنده مـی توانـد بـه شـدت کاهش یابد. به عبارت دیگر، a_{ij} دیگر تابع ثابت x نبوده و معادلات ارائه شده در بالا را نباید بکـار بـرد. از جمله موارد کلاسیک این نوع معادلات غیرخطی، میزان انرژی نشاسـته اسـت کـه در مـورد مـاهی اگـر در مقادیر زیاد در ترکیب غذا باشد، کاهش خواهـد یافـت. ایـن اثـر هنگامیکـه نشاسـته خـام بـوده و مـاهی از فعالیت آمیلاز پایینی برخوردار است چشمگیرتر است (فصل۸).

در این شرایط، اصل فرمولاسیون خطی تنها زمانی معتبر است که معادلات به سمت معادلات پیچیده تر با امکان تخمین محتوای مواد مغذی جیره غذایی جابجا شود.

به یک نکته انتقادی جالب تر نیز باید اشاره شود. انرژی قابل هضم یک عنصر سازنده به میزان زیادی به حضور سایر اجزاء غذایی بستگی داشته که این پدیده به صورت واکنش متقابل تعریف شده و از نظر تئوری، اصل فرمولاسیون خطی را بی اعتبار می سازد. واکنش متقابل بسیار رایج است (فصل۴). برای مثال، قابلیت هضم اسیدهای چرب اشباع به واسطه حضور اسیدهای چرب غیراشباع افزوده شده از طریق سایر اجزاء غذایی، بهبود می یابد. در رابطه با نیازهای اسیدهای‌آمینه ضروری، نیاز متیونین به ورود سیستئین بستگی دارد(فصل۶). همچنین واکنش های متقابل زیادی بین ویتامین ها از جمله، کولین، ویتامین B_{12}، اسید فولیک و متیونین وجود دارد(فصل ۹).

۲-۳-۲۰) موارد غیر قطعی و ناشناخته

در شرایط وجود پارامترهای ناشناخته متعدد، اغلب می توان از نرم افزارهای کامپیوتری جهت برنامه نویسی خطی استفاده نمود. این روش در مورد فرمولاسیون غذاهای مورد مصرف ماهیانی که نیازهای آنها به طور ناقص شناخته شده یا هنگام استفاده از مواد اولیه با ترکیب ناشناخته، بکار می رود. همچنین از این روش موقتا به منظور معرفی بسیاری از خصوصیات با توجیه علمی یا فنی، استفاده می شود و با بهره گیری از سرعت بالای کامپیوترها، این موارد محاسبه می شوند. اما هر اختلاف نتایج عملی مشابه در پی ندارد. اختلافاتی که خصوصیات حیوانی را مورد ملاحظه قرار می دهند حتی بسیار بیشتر از فهرست مربوط به گونه های پرورشی بوده و اغلب سرعت رشد آنها سریع تر از رشد دانش مربوطه است. بنابراین، کمبود اطلاعات در زمینه قابلیت هضم، نیازها یا حتی مقاومت در برابر برخی عوامل ضد تغذیه ای، باید به اجبار از طریق گونه خویشاوند جبران شود. خطرات موجود در این مرحله متنوع هستند.

-در رابطه با مواد مغذی خاص نظیر ویتامین ها، وجود حدود اطمینان ضروری است. دلیلی در مورد عدم استفاده بیش از حد از مکمل های مشابه برای یک گونه مجهول همانند یک گونه شناخته شده وجود ندارد.

-برخی نیازها نظیر نیاز به آمینواسیدهای ضروری بر حسب ۱۶ گرم نیتروژن بیان می شوند که ظاهراً نه تنها در داخل یک خانواده از گونه های مشابه، بلکه در مورد تمامی ماهی ها بسیار شبیه یکدیگر باشد.

بنابراین، تنها در انتخاب پروفیل آمینواسیدهای ضروری مشابه برای یک گونه مجهول همانند آنچه که در مورد سایر گونه ها تعیین شده است، احتمال وجود خطری کوچک در نظر گرفته می شود(فصل ۶).

– در بسیاری موارد می توان به طور موقت مقدار مجهولی از نیازها را از طریق متوسط نیازهای تعیین شده در گونه های خویشاوند و حتی اگر گونه های خیلی نزدیک مورد مطالعه قرار نگرفته باشند، از طریق متوسط تعیین شده برای ماهی بطورکلی جایگزین نمود. در این حالت، ارزیابی خطر همواره دشوار است. برای مثال، در خانواده بزرگ تیلاپیا، چنین بنظر می رسد که نیازهای تغذیه ای بین گونه ها تفاوت اندکی داشته باشد اما در مورد آزاد ماهیان با رژیم گوشتخواری غالب، میزان بهینه پروتئین غذا ها و اثر صرفه‌جویی در مصرف پروتئین توسط چربی ها، بین گونه‌ها تفاوت قابل ملاحظه ای دارد.

ظاهراً قابلیت هضم یک ماده مغذی درون یک گونه مشخص، برای مثال در ماهی با تمایلات گوشتخواری، همه چیزخواری یا علفخواری، نسبتا ثابت است. بنابراین، در مورد برآورد مشابه قابلیت هضم یک عنصر مشخص در باس دریایی و قزل آلا، خطای بزرگی حاصل نمی شود. درمقابل، در بیان این موضوع که نشاسته خام قابلیت هضم برابری در ماهیان گوشتخوار دریایی همانند کپور و تیلاپیا دارد، احتمال بروز خطای قابل توجهی را افزایش می دهد.

بنابراین، رسیدن به نتیجه گیری واضح و روشن در مورد عواقب ناشی از وجود اختلاف در نتایج حاصل از برنامه نویسی خط غیر ممکن است. متاسفانه کمبود شدید داده ها مستلزم درون یابی یا برون یابی آنها می‌باشد که می تواند دقت فرمول های بهینه ای که ظاهرا بسیار دقیق است را کاملا تغییر دهد.

۳-۳-۲۰) خصوصیاتی که تعیین آنها از نظر کمّی به آسانی امکان پذیر نیست.

خوش طعمی ماده اولیه یا غذا تابع غلظت مواد خاصی است که صفات مربوط به حس چشایی نظیر طعم های ترشی، تلخی یا شیرینی را تعیین می کنند. هر چند برخی از این مواد را می توان اندازه گیری نمود، اما برآورد طعم مخلوطی از مواد امکان پذیر نیست. علاوه بر این، عوامل متنوع دیگری نظیر تردی، حلالیت یا ویسکوزیته یک جزء غذایی یا حتی فاکتورهای مربوط به حیوان نظیر سن، وضعیت فیزیولوژیک و نحوه سازگاری گونه نسبت به جیره های غذایی قبلی که می توانند تشخیص طعم را تحت تاثیر قرار دهند نیز دارای اهمیت است.

در عمل، برآورد کمّی کیفیت های چشایی از طریق برنامه نویسی خطی غیر ممکن است. همچنین، بسیاری از ویژگی های دیگر مانند خصوصیات فیزیکی ترکیب غذایی با وجود اهمیت زیاد در تکنولوژی غذادهی، مستقیما قابل اندازه گیری نمی باشند.

۴-۲۰ - روش هایی برای مقابله با مشکلات

۱-۴-۲۰) واکنش های متقابل- راه حل های مختلف

در موارد خاص، می توان واکنش های متقابل مانند واکنش متقابل بین متیونین و سیستئین را براحتی با استفاده از برنامه نویسی خطی، محاسبه کرد.

موجودی متیونین $\geq b_m$

موجودی متیونین + سیستئین $\geq b_{SAA}$

در اینجا b_m و b_{SAA} به ترتیب کل نیازهای مربوط به متیونین و آمینواسیدهای گوگرد دار است. نامساوی اول نشان می دهد که نیاز به متیونین را تنها می توان از طریق این اسیدآمینه تامین نمود. نامساوی دوم نشان می دهد که پس از تامین نیاز به متیونین، این اسید آمینه یا اسید آمینه دیگر در تامین کل نیاز به اسیدهای‌آمینه گوگرددار موثرند.

در سایر موارد نظیر واکنش های متقابل بین ویتامین ها یا اسیدهای‌آمینه پیش از این تشریح شد، به دلیل پیچیدگی نمی توان با استفاده از نامساوی های ساده تشریح کرد اما می توان شرایطی را فراهم نمود تا یک ماده غذایی در مقادیر اشباع کننده (که به علت هزینه آن در حد حداقل استاندارد تامین می شود) حضور یابد بطوریکه امکان ساده کردن مساله فراهم شود. برخی واکنش های متقابل نظیر واکنش های موجود بین فسفر و کلسیم یا لایزین و آرژنین، که اغلب به آنها استناد می شود، صرفا در حیوانات خشک زی وجود داشته و در ماهی ها یافت نمی شوند. بنابراین، برنامه‌نویسی خطی بدون هیچ شک و تردیدی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در صورتیکه واکنش های متقابل بین مواد مغذی برآورد $\sum a_{ij}$ را تغییر دهد، رعایت اصول برنامه نویسی خطی به خودی خود مختل می شود. بنابراین، اطمینان از عدم انحراف بیش از حد ضروری است که این موضوع خارج از مباحث این فصل است.

۲-۴-۲۰) نیازها، استانداردها و حدود اطمینان

ساده ترین روش برای جبران موارد غیر قطعی استفاده از حدود اطمینانی است که منطبق بر اختلاف بین استاندارها و نیازهاست (فصل۲). این حدود را می توان بنا به دلایل زیاد با بی‌دقتی در اندازه گیری، عدم تجانس حیوانات یا حتی بی‌دقتی در تعیین ترکیب مواد خام، مرتبط دانست. بنابراین، اغلب متخصصان علوم تغذیه این حدود را با توجه به محاسبات آماری یا سایر ملاحظات مربوط به آزمایش ها انتخاب می کنند. این درحالیست که سازنده غذا، این استانداردها را تغییر داده و حدود اطمینان را افزایش می دهد. همچنین سایر تغییراتی که ممکن است در داخل عناصر سازنده اولیه موجود باشد را مدنظر قرار می دهد. در موارد خاص (حداقل در پرورش حیوانات خشک زی) حدود انتخاب شده با واریانس یک جزء سازنده مشخص در ترکیب نسبت عکس دارد. هرچند، اغلب مواقع هر شرکت خط مشی خرید و آنالیز مخصوص بخود را داشته و حدود را خود انتخاب می کند. اغلب تولید کنندگان در شرایطی که لازم است غذا برای گونه ای که نیازهای آن بخوبی شناخته نشده فرموله شود، از استانداردهای مربوط به سایر گونه های شناخته شده استفاده می کنند. بسختی می توان این اقدام محتاطانه را توجیه کرد زیرا فرمولاسیونی را ارائه می کند که هر چه بیشتر از مفهوم حداقل هزینه دور می شود.

۳-۴-۲۰) فرمولاسیون با استفاده از ویژگی های ناپایدار تغذیه ای: مصرف مواد خام غیر واقعی

تغییر قابلیت هضم یک ماده اولیه همراه با سطح مشارکت آن در ترکیب، قبلا شرح داده شده است. هنگام وقوع این پدیده، تولید کنندگان از حقه ای استفاده می کنند که هر چند دقیق نیست، اما ساده است. برای مثال، به جای در نظرگرفتن نشاسته به گونه ای که با افزایش میزان آن از ۱۰ درصد به ۳۰ درصد، میزان انرژی آن از ۱۴ به ۱۰/۸ مگاژول بر کیلوگرم کاهش می یابد، چنین فرض می شود که با در اختیار داشتن سطوح چهارگانه شامل صفرتا۱۰، ۱۰ تا ۲۰ ، ۲۰ تا۳۰ و ۳۰ تا۴۰ درصد، انرژی به ترتیب در حد ۱۴، ۱۲/۴، ۱۰/۸ و ۹/۲ مگاژول بر کیلوگرم تامین می شود. تمامی این نشاسته ها هزینه یکسانی در بر دارند. این روش برای مقادیری بکار می رود که سهم هر یک از آنها در ترکیب به نسبت افزایش یا کاهش می یابد. این روش مستلزم استفاده از برخی ویژگی های فنی است که استفاده از آنها ملاحظات دیگر را نیز بهمراه دارد کادر ۲-۲۰).

کادر ۲-۲۰) مثال هایی در مورد استفاده از مشخصات فنی

۱) $x_j = p$ نیازهای تامین شده (به عنوان مثال در مورد ویتامین ها یا عناصر کمیاب) با ورود یک ماده اولیه در ترکیب

۲) $x_j \leq q$ استفاده محدود از یک ماده اولیه

- با سمیت مشخص
- کاهش دهنده اشتها
- با ویژگی های فیزیکی نامطلوب در فرآیندهای ساخت
- ناشناخته برای تولید کننده
- بسیار غیر قابل هضم و بنابراین، بسیار آلاینده
- و ...

۳) $x_j \geq r$ استفاده اجباری از یک ماده اولیه

- افزاینده اشتها
- دارای عوامل ناشناخته
- دارای مواد مغذی که نیاز به آنها به میزان ناچیزی مشخص شده است
- و ...

۴) $r \leq x_j \leq s$ تعیین حدود

- ماده اولیه ای با ویژگی های نوع ۱ و ۲
- مشخصه مربوطه(تغییرات موقتی محدود برای فرمول ها). در این حالت، نامساوی های دوتایی برای مواد اولیه اصلی به کار می رود.
- تبدیل عناصر اصلی حقیقی که ویژگی های تغذیه ای آنها با توجه به میزان آنها در ترکیب فرق می کند. به مجموعه ای از عناصر اصلی غیر حقیقی که ویژگی های آنها به طور مجزا تغییر می کند (بطور ناپیوسته).

٤-٤-٢٠) در نظر گرفتن فاکتورهای تغذیه ای مختلف با استفاده از محدودیت های تکنیکی

مواد مغذی زیادی وجود دارند که نه تنها میزان نیاز به آنها هنوز ناشناخته است، بلکه عمدتا فاقد آنالیز مواد خام می باشند. این حالت در مورد ویتامین ها و عناصر معدنی کمیاب وجود دارد. با وجود آنالیزهای زمان بر و پرهزینه، راه حل کلی عبارت است از گنجاندن ویتامین ها و احتمالا مواد معدنی به عنوان مواد اولیه در ترکیب و با مقادیر کافی. در این حالت نیازها با حدود اطمینان بالا و بدون در نظر گرفتن تامین سایر عناصر سازنده می باشد. به این ترتیب، تعیین یک مشخصه فنی نظیر درصدی از پیش مخلوط (premix) که به عنوان یک ماده خام بزرگتر در نظر گرفته می شود، جایگزین بیش از ده نامساوی می شود که می تواند صرفا به صورت نسنجیده به کار برده شود. همچنین، محدودیت های فنی امکان محاسبه ترکیباتی را فراهم می‌کنند که اندازه گیری آنها دشوار بوده یا هیچ استانداردی در مورد آنها وجود ندارد. این محدودیت ها را می توان برای سازماندهی مجدد مزایا یا معایب مختلف به صورت تجربی بکار برد. در این فصل مزایای آرد ماهی نسبت به سایر اجزاء غذایی تشریح می شود. تولید کنندگان به منظور جلوگیری از بدمزگی یا کمبود اسیدهای چرب ضروری یا آمینواسیدهای ضروری و غیره حداقل در مورد غذاهای مربوط به گونه‌های گوشتخوار، از کاهش درصد آرد ماهی در جیره غذایی کمتر از حد معینی خودداری می کنند. برعکس، عوامل ضد تغذیه ای، ترکیبات مسهل غنی از فیبر و عوامل ناخوشایند برای ماهی نظیر استفاده از مخمر آبجو، کنجاله های روغنی یا سایر فرآورده های گیاهی به عنوان مواد خام را کاهش می دهند. برای این مشخصات تغذیه ای یقینا استفاده از نامساوی های قیاسی به منظور محدود کردن عوامل ضد تغذیه ای امکان پذیر خواهد بود، ولی در حال حاضر به علت فقدان آنالیزها و عدم شناخت، عکس العمل حیوانات نسبت به این ترکیبات، امکان پذیر نمی باشد. بنابراین، راه حل تجربی در این مورد، تعیین حداقل میزان برای آرد ماهی و حداکثر میزان برای فرآورده های گیاهی به عنوان منبعی از عوامل ضد تغذیه ای و فیبر می باشد.

٥-٤-٢٠) تغییرات موقتی محدود

با گذشت زمان تغییر در هزینه مواد خام می تواند سوددهی اجزاء غذایی خاص را کاهش داده و در مقابل، فرآورده های ارزان تری را ارائه دهد. هدف اصلی از فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه امکان اعمال سریع این تغییرات بر حسب فرمول توسط تولید کنندگان است اما در صورت زیاد بودن این تغییرات، می توان برای نمونه، یک فرمول غنی از هیدراتهای کربن را با فرمول غنی از چربی ها یا مقادیر زیادی از پروتئین گیاهی را به جای پروتئین حیوانی جایگزین نمود. این کار می تواند تاثیرات نامطلوبی در پی داشته باشد. کاهش اشتهای ماهی، کاهش موقت قابلیت هضم یا حتی کاهش اعتماد به نفس پرورش دهنده ماهی که تصور می کند دو غذای متفاوت را تحت یک نام مشابه خریداری نموده است، از جمله این اثرات محسوب می شود. راه حل معمول شامل ایجاد این تغییرات با استفاده از دسته دیگری از مشخصات فنی نظیر تغییرات موقتی محدود، می باشد. بنابراین، مشخصات فنی راه حل هایی را برای دامنه گسترده ای از مسائل ارائه می کند و به رغم ماهیت تجربی، اغلب آنها بخش مهمی از دانش یا اسرار سازندگان غذا محسوب می شوند.

٥-٢٠ - عوامل مرتبط با تکنولوژی یا محیط زیست

١-٥-٢٠) فرمولاسیون و فرآیند ساخت

غذای ماهی به منظورقابل مصرف بودن باید پایداری ویژه و حتی شکل خاصی داشته باشد که هر یک از این ویژگی ها به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد خام بستگی دارد. به عبارت دیگر، آن دسته از اجزاء غذایی که به محصول نهایی حالت پودری، خمیری یا ایجاد سختی و شناوری زیاد داده یا برعکس، نسبت به آب مقاومت زیاد دارند، نباید در فرمول ها گنجانده شوند. اصلاح بافت ترکیب نهایی از طریق انتخاب فرآیند تکنولوژیک مناسب یا افزودن یک عامل همبند به ترکیب با میزان مشخصی امکان‌پذیر میشود که ممکن است خاصیت تغذیه ای نیز داشته باشد(فصل ٢١). اما در عمل، گزینش اجزاء غذایی، افزودن عوامل همبند و انتخاب فرآیند ساخت با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند.

در انتخاب فرآیندهای تکنولوژیک، سیستم اکستروژن نسبت به ساخت پلت مزایای بیشتری دارد زیرا این روش تنها روش تولید غذای شناور به همراه گنجاندن مقادیری از چربی های مورد نیاز (۲۵ تا ۳۳ درصد از کل چربی ها) در پرورش آزاد ماهیان است که با حفظ محیط زیست تطابق بیشتری دارد.

اما حتی با وجود این فرآیند نیز باید از بافت محکم پلت اطمینان حاصل کرد و انتخاب محصولاتی نظیر نشاسته ژلاتینه شده و پروتئین های طبیعی ضروری است. در این شرایط، نحوه محاسبه خصوصیات فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی افزودنی ها مشابه تعیین میزان پروتئین، ماده معدنی یا فیبر است. در این حالت، با محدود کردن اجزاء سازنده ای که به پلت حالت شکننده می دهند برای عناصر موجود در این بافت نظیر عوامل همبند، سطح حداقل تعیین می شود. به این ترتیب، تولید کننده از مجموعه ای از مشخصات فنی استفاده می کند که تنها برای یک فرآیند یا مجموعه خاصی از فرآیندها، گونه ها و مواد خام اولیه دارای اعتبار است.

در مورد تولید غذای مناسب برای میگوها، چون پایداری آن در آب مهم است، بنابراین تولید کنندگان در انتخاب روش ساخت، می توانند سیستم اکستروژن و یا پرس کردن را انتخاب نمایند و به این ترتیب، مشخصات بسیار دقیقی برای هر فرآیند به کار رفته و استفاده از عوامل همبند غیر تغذیه ای صرفا برای پلت‌زدن در نظر گرفته می شوند (فصل ۲۱).

۲-۵-۲۰) فرمولاسیون، ساخت و توزیع غذا

روش های پخش غذا و رفتار تغذیه ای حیوان، خصوصیات فیزیکی غذا را تعریف می کنند. واضح است که غذای حاصل از یک پخش کننده تحت فشار[1] یا غذایی که به صورت دستی و کاملا دقیق و سنجیده پخش می شود، دارای ترکیب بافت یکسانی نبوده و از نظر تئوری، حداقل تفاوت‌هایی در فرمولاسیون آنها وجود دارد.

[1] pressurized distributer

۳-۵-۲۰) فرمولاسیون و حفاظت از محیط زیست

امروزه ضرورت حفاظت از محیط زیست و بخصوص به حداقل رساندن آلودگی منابع آبی موضوع بسیار مهم و قابل توجهی است. آلودگی حاصل از مزارع پرورش ماهی به عوامل زیادی از جمله نوع جیره بندی و توزیع غذا، قابلیت هضم و توازن غذایی بستگی دارد (فصل ۴ تا ۷).

- خصوصیات فیزیکی غذا از اهمیت روزافزونی برخوردارند. جیره غذایی با آلودگی کم در درجه اول باید تا حد امکان کمتر در آب تجزیه شده و بسرعت خورده شوند بدون اینکه توسط ماهی بیرون انداخته شوند.

- همانطور که به آن اشاره شد، چنین غذاهایی موجب پخش یا دفع حداقل مواد دفعی می شوند.

بنابراین، مفهوم جیره های غذایی با آلودگی کم، نتایج مختلفی برای فرمولاسیون در پی دارند. در روش فرمولاسیون سنتی، صرفا مواد غذایی قابل مصرف یا قابل هضم مدنظر قرار می گیرند. فرض کنید دو ماده اولیه سازنده قابل دسترس از نظر تئوری، انرژی خامی برابر با ۲۰ و ۳۰ مگاژول بر کیلوگرم و ADC ۹۰ درصد و ۶۰ درصد را تولید می کنند. انرژی قابل هضم این دو ماده اولیه غذایی سازنده اولیه مشابه خواهد بود (۱۸ مگاژول). درحالیکه انرژی از دست رفته به شکل مدفوع با استفاده از مواد اولیه سازنده ۱و۲ به ترتیب ۲ و۱۲ مگاژول خواهد بود و بنابراین، به منظور کاهش آلودگی، ماده اول ترجیح داده می شود. برای نیل به این هدف می توان از روش های مختلف استفاده نمود. ارائه انرژی غیرقابل هضم به صورت محاسبه و به حداقل رساندن آن (از طریق محاسبات پیچیده ریاضی) امکان پذیر است. همچنین می توان حداکثر میزان مجاز برای انرژی غیر قابل هضم را تعیین نمود و یا به عبارت دیگر، ADC حداقل را برای انرژی، ماده آلی، نیتروژن و سایر مواد غذایی انتخاب کرد. روش ساده تر شامل حذف ماده غذایی با قابلیت هضم پایین و جایگزینی آنها با انواعی با قابلیت هضم بیشتر (به عنوان مثال جایگزینی آرد ماهی معمولی با آردهای LT) یا تعیین سطح حداقل برای گنجاندن مواد خام می باشد. این روش، سایر کاربردهای مشخصات فنی را ارائه می کند.

بطورخلاصه، ساخت غذاهایی با آلودگی کم، مستلزم پیشرفت هایی در زمینه فنی و تغییرات در روش فرمولاسیون به طور همزمان است.

٤-٥-٢٠) فرمولاسیون و کیفیت محصول نهایی

تا مدتهای طولانی کیفیت محصول نهایی یعنی گوشت ماهی در مقایسه با میزان رشد، FCR یا هزینه تولید به ازای هر کیلوگرم از گوشت ماهی، توجه کمی را بخود اختصاص داده بود. تولید تا حداکثر مجاز منجر به ایجاد رقابت شدید، افزایش تقاضای مصرف کنندگان و افزایش یا کاهش قیمت ها می شود. در این شرایط عرضه محصول به صورت گوشت یا پس از فرآوری به بازار باید با ارزیابی کیفی همراه باشد.

کیفیت، با در نظرگرفتن اجزاء تکنولوژیک، ارگانولپتیک و تغذیه ای آن، تعریف ساده ای ندارد. کیفیت جدا از یک ویژگی خاص، با توجه به کشور، عادات و سلایق تغذیه ای مصرف کنندگان با روش های بسیار متفاوتی تعبیر می شود. عامل تعیین کننده برخی از صفات یا ویژگی ها از جمله شکل و رنگ آمیزی توسط رنگدانه ها الزاما ژنتیکی است و سایر ویژگی ها عمدتا مربوط به نحوه پرورش و وضعیت سلامتی (از جمله فقدان نقص عضو و ایمنی غذایی) می باشد. حتی برخی منشأ تغذیه ای دارند(مانند مقدار چربی، کاروتنوئید و اسید چرب لاشه). در بیشتر مواقع، عوامل تعیین کننده پیچیده بوده و تغذیه در مفهوم گسترده تاثیر متغیری را برکیفیت اعمال می کند که هنوز بخوبی شناخته نشده است. در ارتباط با کاروتنوئیدها (فصل ۱۱) و چربی ها (فصل ۷)، نقش تغذیه بخوبی مشخص شده است. در رابطه با چربی ها، تاثیر تغذیه نه تنها از طریق فرمولاسیون (مانند توازن اسیدچرب، میزان چربی و سطح انرژی جیره) بلکه از طریق میزان جیره روزانه و جذب انرژی تعیین کننده مقدار چربی اعمال می گردد.

ظاهراً محدود سازی یا تعیین میزان حداقل برای اجزاء غذایی خاص از جمله کنجاله روغنی سویا که عامل ایجاد طعم غیر طبیعی در برخی شرایط است، از نظر جنبه های کیفی دشوار است. کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب، از ویژگیهای اصلی غذا هستند که امروزه سازندگان باید به منظور حفظ کیفیت غذا در نظر بگیرند. با این وجود، در آینده این مشخصات افزایش یافته و اهمیت روزافزون می یابند.

٦-٢٠ - سایر جنبه ها و موارد کاربرد فرمولاسیون خطی

در حال حاضر، برنامه های نرم افزاری مختلفی برای فرمولاسیون خطی موجودند (نظیر MIXIT,PORFAL)که فواید آنها یکسان نیست. اما تمامی این نرم افزار ها امکان انجام محاسبات تکمیلی را فراهم می سازند که برای تولید کنندگان از اهمیت زیادی برخوردارند.

١-٦-٢٠) محاسبه ارزش آستانه

در شرایطی که یک ماده اولیه به علت قیمت بالای آن در فرمول قرار نمی گیرد، می توان برای آن ماده غذایی حد آستانه تعیین نمود. این آستانه حداکثر قیمتی است که یک ماده غذایی می تواند داشته باشد تا در فرمول در نظر گرفته شود، در این حالت هزینه سایر اجزاء غذایی ثابت می باشد. این اطلاعات در اجرای خط مشی خرید می تواند به تولید کننده کمک شایانی کند.

در صورت تغییر قیمت همزمان دو ماده خام، این مساله پیچیده تر می شود. این روش بیشتر از نظر ریاضی ساده با واقعیت تطابق دارد، زیرا قیمت یک ماده خام (برای مثال آرد ماهی) معمولا به قیمت محصولات رقیب با آن (برای مثال، کنجاله سویا) بستگی دارد. از اینرو، این روش یک راه حل دو بعدی را ارائه میدهد که هر یک از ابعاد آن ماده خام مورد مطالعه را بنحوی در فرمول وارد می سازند. محدودیت واقعی این روش برای مواد خام کمیاب در بازارعرضه می باشد. اگر قیمت اجزاء سازنده ترکیب غذایی، خریداران را به خود جلب کند، قیمت واقعی آنها به تبعیت از قانون عرضه و تقاضا به گونه ای کاهش می‌یابد که عملا تولید کننده را مجبور می کند تا فورا آن ماده را در وعده غذایی بگنجاند.

٢-٦-٢٠) دامنه تحمل

هنگام کاهش قیمت یک ماده غذایی، نسبت آن در فرمول حداقل هزینه، افزایش می یابد، اما این افزایش بطور ناپیوسته در مراحل منتهی به حدود بردباری روی می دهد. به عبارت دیگر، از نظر تئوری، کاهش قیمت بازار در صورتی منجر به افزایش سریع نسبت آن ماده غذایی می شود که قیمت آن پایین تر از محدوده مورد نظر باشد، در صورتیکه افزایش قیمت بالاتر از این حد باشد، اثری بهمراه نخواهد داشت. به منظور داشتن یک ترکیب اقتصادی و متدولوژیک، در نظر گرفتن این نکته حائز اهمیت است.

٣-٦-٢٠) هزینه نسبت ها (سطوح استاندارد)

از لحاظ کاربردی، محدودیت های ویژه تغذیه ای یا فنی تاثیری بر قیمت فرمول نداشته و همیشه سایر مشخصات مواد مغذی یا هزینه پایین آنها رضایت بخش بوده است (مثل نیاز فسفر در فرمول های غنی از

آرد ماهی). در مقابل، برخی ازنسبت ها پرهزینه می باشند(این موضوع معمولا در مورد پروتئین ها یا اسیدهای‌آمینه ضروری محدودکننده صادق است).

در مورد اکثر مواد غذایی گران قیمت، مقادیر گنجانده شده در فرمول هرگز از نسبت های استاندارد فراتر نمی رود. این مقادیر یا سطوح ثابت نبوده یا در اصطلاح اشباع شده اند. امروزه این نسبت ها یا سطوح استاندارد تغذیه ای بر پایه هایی استوارند و میزان قطعیت هر یک از آنها متفاوت است. از اینرو، سطح استاندارد پروتئین ها دارای حدود اطمینانی با توجه به شیوه های احتیاطی مختلف است.

اگر در شرایط خاص، این مشخصه علاوه بر ثابت بودن، هزینه های بالایی نیز در پی داشته باشد، طبیعتا تولید کننده مجبور خواهد بود که این حدود را مجددا آزمایش نموده و مورد بررسی قرار دهد. بررسی هزینه سطوح استاندارد می تواند تحقیق کاربردی را به سویی هدایت کند که در آن بیشترین صرفه جویی امکان پذیر باشد.

٤-٦-٢٠) فرمولاسیون چندگانه

در این قسمت بطور خلاصه به نوعی از محاسبات اشاره می شود که علاوه بر بهینه سازی تک تک فرمول ها، محاسبه غذاهای بسیار متفاوت را با استفاده از گروه محدودی از مواد اولیه امکان پذیر می سازد. در فرمولاسیون چندگانه اجزاء سازنده اصلی مختلف را با توجه به مراحل مختلف فیزیولوژیک یا گونه ای در نظر می گیرند تا بتوانند بهترین بهره وری را از این ماده در ترکیب غذایی داشته باشد. به عبارت دیگر، فرمول های چندگانه منجر به طراحی متناسب غذا با گونه ها و وضعیت فیزیولوژیک آنها می شود. این مسئله برای تولید کنندگانی با اهمیت است که از نظر عملی، امکانات محدودی برای ذخیره سازی مواد خام داشته یا نسبت به مقدار تقریبی غذاهای تولیدی خود آگاهی دارند. هنگامیکه بخش کوچکی از غذای ماهی از طریق فرآیند ساخت غذای مصنوعی تولید می شود، ترکیب آنها بندرت تحت تاثیر فرمولاسیون چندگانه تغییر خواهد نمود.

۷-۲۰- خلاصه

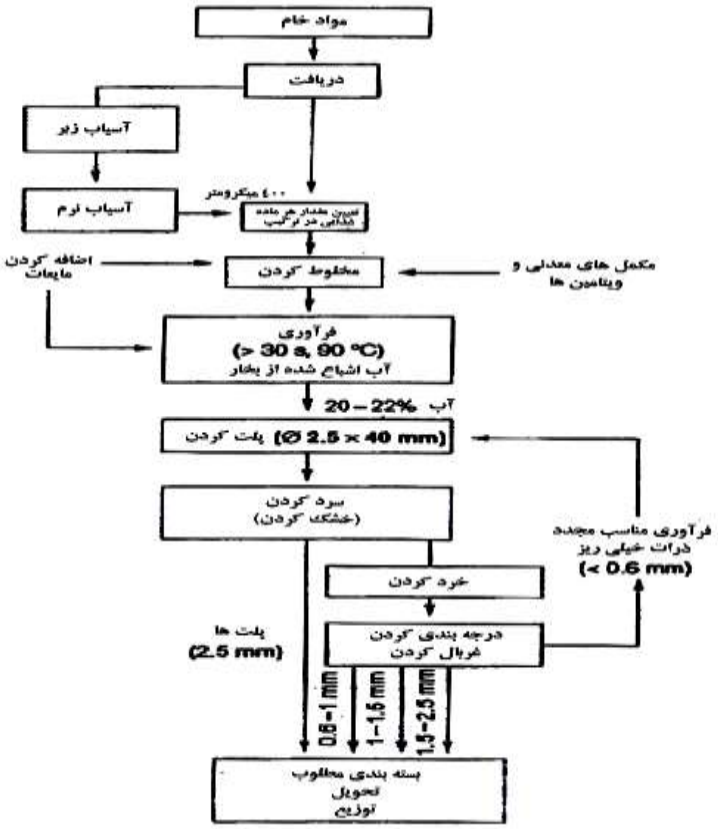
مشکلاتی که در رابطه با فرمولاسیون غذای مورد استفاده در آبزی پروری مطرح است گاهی مربوط به ویژگی های خاص تغذیه ای ماهی و سخت پوستان می باشد، اما اغلب اوقات ناشی از اختلافات موجود در دانش مربوط به این مسئله است که منجر به ایجاد خطا در سطوح استاندارد شده و جنبه های خاصی در نظر گرفته می شوند که مربوط به تغذیه در مفهوم واقعی نیستند. در بین این مسائل، حفظ محیط زیست اهمیت ویژه ای دارد و این احتمال وجود دارد که در آینده کیفیت محصول نهایی، مسائل مشابهی را مطرح سازد که تولیدکنندگان امروزی قادر به پاسخگویی به آنها نمی باشند.

«فصل ۲۱»

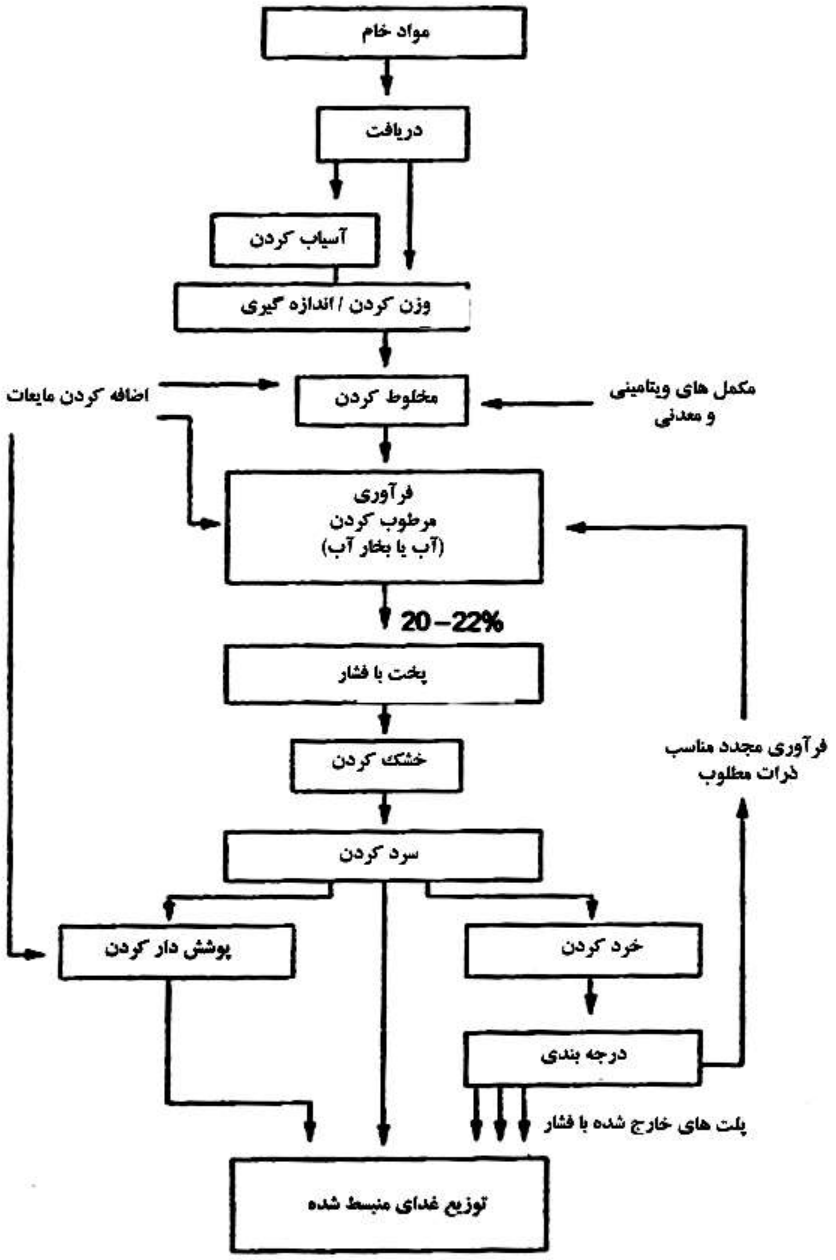
ساخت غذا

ساخت غذای ترکیبی شامل انجام مجموعه عملیاتی است که هدف نهایی آن ترکیب نمودن چندین ماده خام با نسبت هایی است که از قبل با توجه به شاخص های تغذیه ای تعیین شده اند. این هدف از طریق ترکیب اجزاء غذایی به صورت جامد (آردهایی با منشا حیوانی، کنجاله ها، غلات، مواد معدنی و ویتامینها) یا مایع (روغن ماهی، لسیتین ها، ویتامین های خاص و عوامل همبند) حاصل می شود. آسیاب نمودن قطعات جامد غیریکنواخت بودن محصول را کاهش و قابلیت هضم آن را افزایش می دهد. غذا ها در اشکال مورد نیاز ساخته می شوند تا بدین طریق، حمل و نقل و جابجایی آنها ساده تر شده، مصرف آن آسانتر صورت گرفته و آلودگی استخرها نیز کمتر می شود. ترکیب بندی و تعیین بافت غذا از جمله مهمترین کارهاست که امکان تطابق غذا با رفتار تغذیه ای حیوان را ممکن می سازد. غذاهایی که برای ماهی یا سخت پوستان تهیه می شوند شامل مواد خام حاصل از محصولات جانبی سایر صنایع (مانند کارخانجات تولید روغن، نشاسته و آرد ذرت) یا تولیدات فرآوری شده مخصوص (مانند آردماهی و روغن ها) است. این مواد خام قبل از اینکه در ترکیب غذا وارد شوند، در درجات مختلف تحت تیمارهای تکنولوژیک قرار می گیرند. در این فصل فعالیت های مربوط به ساخت غذا تشریح می شود. تنوع اشکال (اندازه های مختلف گرانول ها) و خصوصیات (مقاومت فیزیکی نسبت به حمل و نقل و آبشویی، حساسیت به آبدار شدن مجدد، ته نشین شدن و شناور شدن) در نظر گرفته شده برای خوراک آبزیان، ضرورت ایجاد سازگاری های خاص نسبت به فرآیندهای شرکت‌کننده در ساخت غذا را توجیه می کند.

سازندگان غذا اغلب ترجیح می دهند تا خطوط تخصصی شده تولید شامل فرآیندهای سنتی (آسیاب کردن، تعیین مقدار اجزاء غذایی و مخلوط کردن) و فرآیندهای ویژه (پرس کردن، اکستروژن، خشک کردن، پوشش دار کردن و خرد کردن) را بوجود آورند. مثال های از این موارد در شکل ۱-۲۱ و ۲-۲۱ ارائه شده است.



شکل ۱-۲۱) نمونه ای از فرآیند ساخت غذاهای فشرده مقاوم به آب (برای میگو)



شکل ۲-۲۱) نمونه ای از فرآیند ساخت غذاهای اکسترود شده شناور(برای ماهی آزاد و گربه ماهی)

۱-۲۱ - فرآیندهای متداول در تولید غذای آبزیان

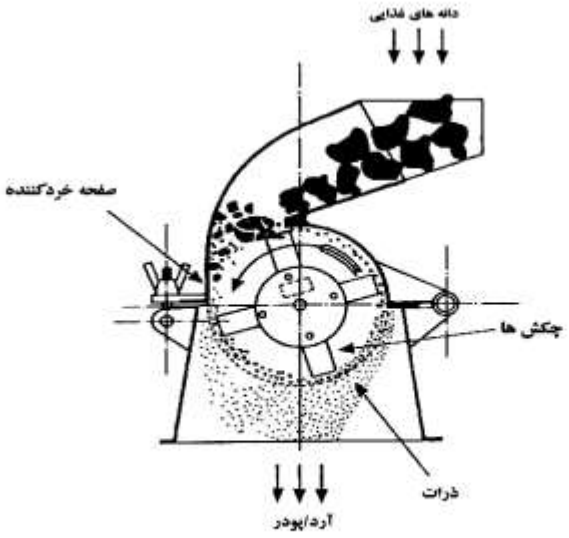
۱-۱-۲۱) آسیاب کردن

آسیاب کردن شامل تبدیل مواد خام به ذرات ریز است که منجر به همگنی بیشتر، ایجاد ترکیب پایدارتر و منظم تر شدن شکل غذا می شود. با الک شدن پودر حاصل شده، درجه خرد شدن ذرات غذایی تعیین میشود. همچنین ممکن است برخی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی ماده غذایی بر اثر افزایش دمای ناشی از فرآیند آسیاب شدن تغییرکند.

آسیاب های چکشی به علت توان بالا و چند منظوره بودن از معمول ترین ماشین آلات مورد استفاده اند. در این روش، مواد غذایی وارد محفظه ای گردیده و توسط چکش های ثابت شده روی یک قسمت گرداننده خرد می شوند. ذرات حاصله مجدداً داخل محفظه می چرخند تا به اندازه کافی کوچک شوند که بتوانند از منافذ الک در نظر گرفته شده‌ای که در قسمت های پایین دستگاه قرار گرفته، عبور کنند (شکل ۳-۲۱). فشار منفی هوا به عبور ذرات از منافذ الک کمک می کند.

سرعت برخورد محور دستگاه بین ۷۰ تا ۱۰۵ متر بر ثانیه متغیر است که برای هر آسیاب ثابت است. قطر منافذ الک از ۰/۵ میلی متر (برای غذای میگو و نوزادان ماهی) تا ۳/۵ میلی متر (برای غذای ماهی های بزرگتر) تغییر می کند. هنگامیکه منافذ الک کوچک بوده و سرعت جانبی چکش ها بالاست، اندازه ذرات کوچک می شود. میزان رطوبت و ترکیب مواد خام (مقدار روغن و فیبر) ممکن است در این رابطه تاثیر گذار باشند. قطر منافذ الک تعیین کننده حداکثر اندازه ذرات آسیاب شده است ولی دلیلی بر مقبولیت آرد حاصله از نظر درجه ریزدانگی ذرات نیست و باید بطورجداگانه اندازه گیری شود.

فرض براین است که حداکثر اندازه ذرات نباید بیش از یک سوم قطر منافذ قالب خروجی پس از فرآیند متراکم سازی و شکل دهی غذا باشد. معمولا برای غذای ماهیها متوسط اندازه ذرات کمتر یا مساوی ۵۰۰ میکرومتر توصیه می شود که در مورد ماهی های جوان و سخت پوستان باید کوچکتر باشد(۱۸۰ تا ۲۵۰ میکرومتر). زمانیکه غذا برای لارو تهیه می شود، این مقدار باید کوچکتر هم باشند(میکرومتر ۵۰ >) و آسیاب کردن در دو مرحله انجام شود. در چنین مواقعی غربال کردن تکمیلی به منظور حذف مواد سخت نظیر استخوان های ماهی ضروری است زیرا تبدیل آنها به پودر دشوار است و ممکن است قالب ها را مسدود کرده یا غذای پلت شده را شکننده سازند. یک الک ۸۰۰ میکرومتری برای دستیابی به ذراتی با اندازه متوسط ۴۰۰ تا ۵۰۰ میکرومتر کفایت می کند.



شکل ۳-۲۱) نمایی از یک آسیاب چکشی

۲-۱-۲۱) تعیین نسبت های مواد در ترکیب غذا

تعیین نسبت مواد مختلف در یک ترکیب غذایی متناسب و مطلوب از طریق اندازه گیری صورت می گیرد. اندازه گیری را می توان به صورت حجمی یا وزنی که معمول تر است، انجام داد. دقت در اندازه گیری بهنگام گنجاندن مواد گران قیمت در مقادیر کم در فرمول غذایی، بسیار مهم می باشد. هر گونه افزایش و یا کمبود مواد اولیه در فرمول می تواند هزینه اضافی را برای سازنده غذا بهمراه داشته یا پرورش دهنده ماهی را با خطر مواجه سازد. از نظر کاربردی، سازندگان غذا از ترازوها یا ماشین توزین با دامنه ای مطابق با مقادیر مورد اندازه گیری، استفاده می کنند. استفاده از دو ترازو یکی برای مواد خام پرمصرف و دیگری با دامنه های محدودتر($\frac{۱}{۵}$ تا $\frac{۱}{۱۰}$ درصد ترازوی اولی) برای مواد کم مصرف، ضروری است. ترازوها مکانیکی یا الکترونیکی هستند. امروزه در اکثر کارخانه ها از ترازوهای الکترونیکی استفاده میشود. این ترازوها به یک کامپیوتر مرکزی متصل بوده و ذخایر مواد خام را نیز مدیریت می کنند.

۳-۱-۲۱) همگن سازی (مخلوط کردن)

همگن سازی یک فرآیند ضروری در تولید غذا های ترکیبی است و شامل ترکیب نمودن یکنواخت مواد خام خرد شده در نسبت های تعیین شده برای هر یک از آنها می باشد.

یک مخلوط بواسطه همگنی آن و حفظ این همگنی در زمان و مکان توصیف می شود. اصطلاح همگنی بیانگر ویژگی فیزیکی مواد غذایی آرد شده نیست، بلکه نشان دهنده حضور مقدار دقیق هر یک از مواد اولیه در نسبتی معین از ترکیب است که تقریبا معادل مقدار نظری توصیه شده هنگام فرمولاسیون غذا می‌باشد.

بنابراین، مقدار هر یک از مواد اولیه بر همگنی ترکیب موثر است. حیوان باید کل مواد غذایی مورد نیاز برای رشد و نگهداری خود را کسب نماید، هر چند ممکن است توانایی پایینی در جذب مقادیر کم هر یک از مواد ارائه شده داشته باشد.

از طریق استفاده از عناصر کمیاب، آنیون ها یا کاتیون های مختلف (fe^{2+}، cl^{-}) که از قبل در ترکیب غذا وارد شده اند و معرف های رنگی (متیلن بلو، فلورسن) یا کریستال های رنگی میکروسکوپی که صرفاً برای این منظور اضافه شده اند، می توان همگنی ترکیب را ارزیابی کرد. تاثیر این فرآیند به میزان بسیار زیادی بستگی به ریزدانگی اجزای سازنده و مخلوط مورد استفاده دارد.

- در یک ترکیب همگن ذرات بزرگ و سبک تر توسط ذرات کوچکتر بهم می چسبند، اما در صورت بالا بودن این نسبت، ذرات ریز وسنگین تر هنگام جابجایی و بهم خوردن مخلوط، تمایل به جداشدن از سایر ذرات دارند که در اصطلاح پدیده جداسازی نامیده می شود. از طریق آسیاب کردن بزرگترین ذرات (بزرگتر از ۴۰۰ میکرومتر) یا افزودن مایعات (مانند روغن) که جداشدن ریزترین ذرات را کاهش می دهد، می توان از بروز این پدیده جلوگیری کرد.
- مخلوط کننده های افقی دو نواره از متداول ترین ماشین های مورد استفاده برای ترکیب کردن اولیه مواد پودر شده است. همچنین از این ماشین به منظور افزودن مواد چرب به صورت مایع نیز استفاده می شود. در این حالت ماشین باید پر باشد تا عمل کند و مدت زمان ترکیب کردن با توجه به فرمول تنظیم می شود که معمولا در حدود ۴ تا ۵ دقیقه است. توصیه شده که بعد از مخلوط کردن، دستگاه بسرعت تخلیه شود. مخلوط کننده های دارای پدال یا محور، انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌کنند، اما برای اضافه کردن مایعات مناسب ترند.

در این مرحله مکمل های ویتامین و معدنی یا پری میکس اضافه می شوند که شامل تمام اجزاء کوچکی هستند که به مقدار ۰/۰۰۵ تا ۰/۵ درصد در غذا وجود دارند. این مواد باید بطورجداگانه و متوالی با استفاده از محلول های رقیق کننده در یک زمینه مناسب (اغلب آرد سویا) همگن شوند. ماهیت شیمیایی ترکیب در زمانی که مواد رطوبت پذیر (بی کلسیم فسفات، آهن یا سولفات مس) یا مواد دارای خواص الکترواستاتیکی در ترکیب قرار می گیرند باید در نظر گرفته شود. در مورد مواد دارای خواص الکترواستاتیکی، اتصال مخلوط کننده به زمین ضروری است. حداکثر سطح توصیه شده در مورد مکمل های ویتامینی- معدنی در ترکیب بین ۱ تا ۴ درصد است. مقادیر کمتر خطر ناهمگنی ترکیب را بیشتر می کند.

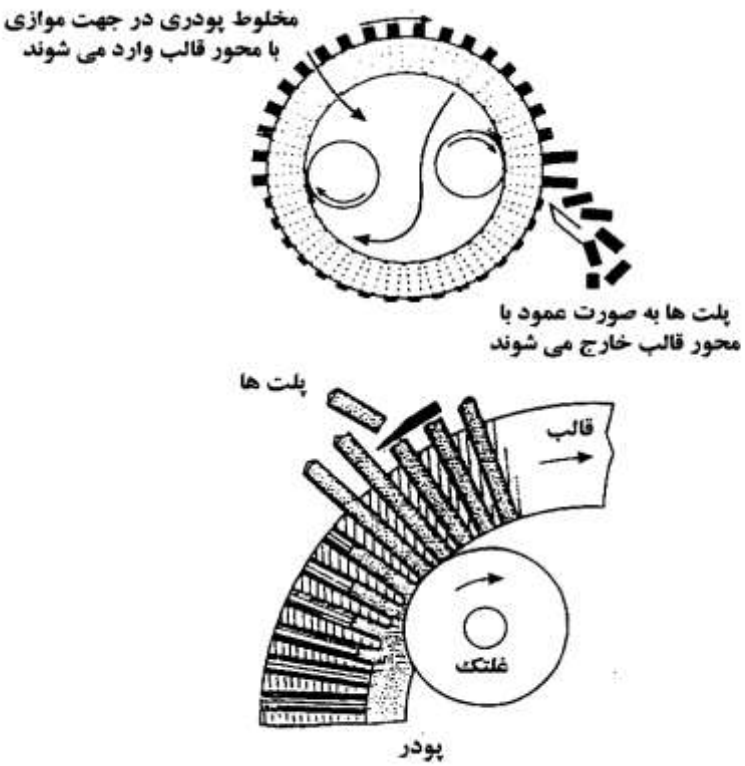
۲-۲۱ - فرآیند ساخت غذا

غذا را می توان پس از افزودن آب به صورت خمیر در آورد تا ماهی از آن تغذیه کند (مارماهی)، اما معمولا از دو روش پلت کردن و سیستم اکستروژن برای ساخت غذا استفاده می شود. روش سوم شامل ساخت پلت های مرطوب است که حد واسط دو روش اول است و تا دهه ۱۹۷۰ در ایالات متحده رواج داشت و امروزه صرفا در شرایط آزمایشگاهی استفاده می شود.

مخلوط غذایی به شکل پودر توسط غلتک هایی در امتداد قالب سوراخ دار مسطح یا حلقه مانند فشرده شده (شکل ۴-۲۱) و در نتیجه فشار وارده به شکل قطعات استوانه ای کوچک (پلت ها) با ضخامت و طول مخصوص در می آیند. ضخامت آنها از ۲/۵ تا ۶ میلی متر با توجه به اندازه و نوع گونه پرورشی متغیر است. طول پلت ها بر اساس تنظیم فاصله چاقوی برش دهنده پلت ها با لبه بیرونی قالب ها تعیین میشود و معمولا ۱/۵ تا ۲ برابر قطر پلت هاست. آب یا بخار آب قبل از شکل دهی غذا اضافه می شود.

فرآیند متراکم سازی و شکل دادن مواد بسیار حساس می باشد. ویژگی محصول تولید شده به ترکیب فرمول، عملکرد هر یک ازعوامل فیزیکی، رطوبت و گرما، ترکیبات چسباننده و خصوصیات قالب مورد استفاده، بستگی دارد. غذای پلت باید به اندازه کافی در هوا به صورت چسبیده بهم باقی مانده و مقاومت خوبی در برابر آبشویی داشته باشد. این ویژگیها را می توان از طریق اجرای مراحل ذیل به دست آورد:

- کاهش مقدار چربی غذا (حداکثر۳ تا ۴ درصد) و یا گنجاندن گلوتن گندم یا نشاسته ژلاتینه شده که چسبندگی ذرات را در ترکیب افزایش می دهند.



شکل ٤-٢١) شکل گیری پلت ها پس از هر بار فشردگی

- استفاده از قالب هایی با قدرت فشردن بیشتر که نسبت قطر به طول بیش از ۱۲ باشد. هرچه این نسبت بزرگتر باشد، پلت های سفت و متراکم تری حاصل می شود.
- افزودن مقادیر نسبتا بالای آب یا بخار(۲ تا ۶ درصد) و نگهداری مخلوط در دمای نسبتا بالا (۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد) به مدت ۲ تا ۵ دقیقه (به جای ۱۵ تا ۲۰ ثانیه در روش کلاسیک). در صورتیکه این دما به ۱۰۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر برسد، در اصطلاح به آن فرآیند شکل دهی حرارتی می گویند. هدف از این فرآیند افزایش هماهنگی در توزیع آب و شکل پذیری بیشتر ذرات غذایی می باشد.

- متراکم سازی اولیه مخلوط، به منظور بهینه سازی سرعت نفوذ مایعات (چربی ها) به داخل منافذ بسیار کوچک ترکیب پودری غذا.

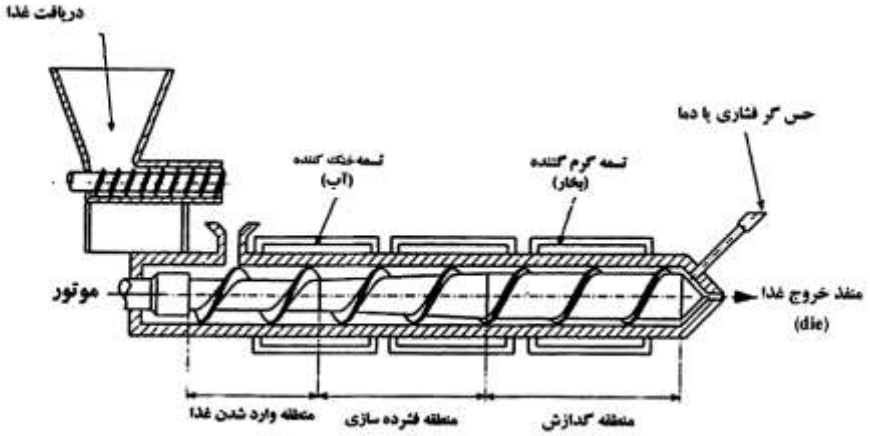
تجهیزات کارخانه پلت زنی غذا از مقدار مشخصی انرژی گرمایی و الکتریکی استفاده می کند (۱۶ تا ۴۸ کیلووات ساعت انرژی گرمایی و ۱۹ تا ۳۷ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی). مصرف انرژی در صورت ضخامت زیاد قالب پلت زنی و نیاز به فرآیندهای دیگری از قبیل متراکم سازی اولیه (۲۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی الکتریکی) افزایش می یابد که از نظر عملی شامل دو مرحله فشرده سازی متوالی است.

فرآیند متراکم سازی حدود $\frac{۲}{۳}$ کل انرژی مورد نیاز برای ساخت غذا را مصرف می کند. این فرآیند منجر به گرم شدن محصول می شود، بنحویکه دمای غذا هنگام خارج شدن از دستگاه ۷۰ تا ۸۵ درجه سانتیگراد خواهد بود. بنابراین، به منظور جلوگیری از خطر هر گونه کپک زدگی بخصوص در صورت وجود دما و رطوبت بالا، باید پلت ها سرد و خشک شوند.

۱-۲-۲۱) سیستم پخت اکستروژن

این فرآیند شامل تحت تاثیر قرار گرفتن مخلوط غذایی توسط ترکیبی از دو عامل فشار (۳۰ تا ۱۲۰ بار) ودما (۹۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد) در یک دوره زمانی کوتاه (کمتر از ۳۰ ثانیه) و شکل گیری آن در نتیجه فشار وارد آمده از طریق یک یا چند منفذ خروجی (die) می باشد (شکل۵-۲۱). به دلیل قابلیت پایین انتشار حرارتی اجزاء غذایی و چسبندگی بالای آنها، باید با استفاده از اکسترودرهای یک یا دومحوری که در داخل یک محفظه، ترکیب به صورت یک لایه نازک درآید. در مورد اکسترودرهای تک محور، بین محور چرخشی و محفظه و در مورد اکسترودرهای دو محور، بین محور ها اصطکاک به وجود می آید. به منظور افزایش تراکم محصول، بسته به ماشین، اشکال مختلفی از موانع در مقابل جریان حرکت غذا در امتداد محفظه قرار داده می شود. رطوبت ترکیب شامل مایعات حاصل از ایجاد فشار و دمای بالا می باشد. پس از عبور ترکیب از منافذ خروجی و قرار گرفتن در معرض فشار جوی بخش زیادی از این آب تبخیر می شود. این فرآیند منجر به ایجاد ساختار متخلخل در غذا می‌شود.

محصول اکسترود شده منبسط بوده و توسط یک کارد مخصوص بریده شده و در شرایط رطوبت ۱۰ تا ۱۲ درصد سرد و خشک می شود. از نظر کاربردی، بعضی مواقع خوراک های اکسترود شده و منبسط شده از هم قابل تشخیصند. خوراک های اخیر یک نوع از خوراک های اولی هستند. زمانیکه غذا قبل از اکسترود شدن با استفاده همزمان از آب و بخار آب شکل دهی می شود (اکسترودرهای تک محور)، در اصطلاح اکستروژن مرطوب گفته می شود. در این حالت رطوبت ترکیب طی یک دقیقه از ۷ تا ۸ درصد به ۱۸ تا ۱۹ درصد می رسد. اگر چربی غذا بالا باشد، زمان طولانی تری برای این منظور مورد نیاز است (برای مثال حدود ۳ دقیقه برای ۷ درصد چربی). درمقابل، بعضی از دستگاهها بدون افزودن آب عمل میکنند که در اصطلاح اکستروژن خشک نامیده می شود و معمولا اساسی تر است. در شیوه های حد واسط آب یا بخار به طور مستقیم به داخل مخزن وارد می شود.



شکل ۵-۲۱) نمایی از یک اکسترودر با محور منفرد(ترسیم توسط Alain SIRE,INRA,Nantes)

سیستم اکستروژن فرآیند پیچیده ای است که بصورت همزمان فرآیندهای مخلوط کردن، پخت و تعیین ساختار بافت ترکیب را انجام می دهد. انجام همزمان این سه کارکرد عامل ایجاد روش چند منظوره با کارآیی بسیار بالا می باشد. به رغم این مسئله، به سبب زیاد بودن تعداد پارامترهای دخیل در این سیستم شامل ماهیت و بافت ترکیبات، خصوصیات ژئومتریک و کنترل های اکسترودر، مکانیسم این روش بخوبی شناخته نشده اند.

به منظور ساخت غذاهایی با رطوبت متوسط (۳۸ تا ۴۰ درصد)، محور های منفرد یا دو قلوی موجود در سیستم اکستروژن مناسبند اما ممکن است این غذاها پس از تولید به خشک کردن نیاز داشته باشند که در این صورت ترکیب حاصله ساختار ویژه اش را از دست داده و خصوصیات جدیدی کسب می کند. فرآیند اکستروژن غذا باگلوتن گندم در حضور رطوبت بالا و دمای پایین (کمتر از ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد) از متلاشی شدن غذا در آب جلوگیری کرده و امکان غوطه وری غذاهای ته نشین شده در آب را برای چندین ساعت فراهم می کند تا توسط آبزی مورد استفاده قرار گیرد (غذای میگوهای پنئیده). سرد کردن لحظه ای غذا به منظور جلوگیری از متلاشی شدن بخش پایانی سیستم اکستروژن، آن را از سایر روش ها متمایز می کند. در مقابل، سطح پایین آبدار بودن، دماهای بالاتر(۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد) و فشردگی و تراکم ترکیب، امکان تولید غذاهایی با خصوصیات منبسط شده، شناور یا کمی غوطه ور را فراهم می کند که متناسب با سطوح متفاوت جذب مجدد آب، می توانند برای گونه های مختلف مثل گربه ماهی، ماهی آزاد و یا قزل آلای پروش یافته در دریا مورد استفاده قرار گیرند. نوع نشاسته ای که در سطح ۸ تا ۱۲ درصد در غذا گنجانده شده و از قبل به صورت مطلوبی فرآوری شده، میزان انبساط و یکنواختی جذب مجدد آب غذا را تنظیم می کند. دستگاههای دارای محور های دوقلو به علت اصول عملکردی آنها، به منظور گنجاندن سطح بالایی از روغن (عملا ۲۲ درصد)، قبل از فرآیند اکستروژن استفاده می شوند.

دستگاههای اکسترودر بسیار متنوعند و در اغلب مواقع محصولات تولیدی توسط هر یک از آنها قابل مقایسه با یکدیگر نیستند. تفاوت آنها گذشته از کار متراکم سازی و شکل دهی غذا، این است که شامل فرآیندهایی اساسی هستند که در طی آنها برخی اجزاء سازنده غذا می توانند بطور مطلوبی اصلاح شوند (نشاسته) یا اینکه به میزا ن قابل توجهی تغییر کنند(پروتئین ها، ویتامین ها بویژه ویتامین C و اسیدهای چرب غیر اشباع) که فرآیندی پرهزینه محسوب می شود. برای مثال، در یک مدت زمان مشابه، هزینه صرف شده ۲/۵ برابر فرآیند متراکم سازی و شکل دهی غذاست. این بهینه سازی هزینه برای تولید غذایی ویژه ضروری است. با این وجود، چند منظوره بودن این روش منجر به افزایش روزافزون استفاده از آن برای ساخت غذای آبزیان دریایی شده است.

۲-۲-۲۱) فرآیندهای تکمیلی

۱-۲-۲-۲۱) خشک کردن- سرد کردن

سرد کردن از طریق ایجاد جریانی از هوا روی لایه ای از پلت های غیر متحرک (پخش شده یا نشده) (در سرد کننده های عمودی) یا قرار گرفته روی یک نوار نقاله (در سرد کننده های افقی و مدور) انجام می شود. معمولا پس از خروج غذا از سرد کننده ها، غذا الک شده و ذرات پلت نشده مجدداً به قسمت پرس فرستاده می شوند.

در شرایط دمای محیطی، میزان رطوبت محصول در مدت زمان ۹ تا ۱۴ دقیقه از۱۵تا ۱۶درصد به ۹ تا ۱۰ درصد کاهش می یابد. اگر جریان هوا گرم باشد (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد)، آب بیشتری از محصول گرفته می شود. با تشکیل یک لایه حفاظتی در اطراف پلت ها، فرآیند خشک کردن می تواند به میزان قابل توجهی بر بهبود ویژگی های مکانیکی پلت ها تاثیر گذار باشد. به منظور حفظ انسجام پلت ها باید در زمان خشک کردن، از بهم زدن آنها اجتناب شود که در این صورت پلت ها در آب مقاوم تر خواهند بود.

۱-۲-۲-۲۱) خرد کردن

غذای پلت شده یا اکسترود شده معمولا قطر کمی داشته و پس از خشک کردن و سرد شدن توسط سیلندرهای شیاردار (با فاصله ۳ میلی متر از یکدیگر) خرد می شوند و سپس مطابق با اندازه دهان آبزیان پرورشی مورد نظر، الک می شوند. برای مثال، اندازه ذرات خرد شده برای میگوها ۰/۶ تا ۲/۴ میلی متر و ماهیان جوان ۱/۵ تا ۳ میلی متر است. این اندازه تا حدودی متناسب با طول بدن ماهی است. برای نمونه، در ماهی قزل آلا اندازه ذرات خرد شده ۰/۰۲۵ برابر طول بدن ماهی است. در صورتی که هنگام الک کردن، بیش از ۲۵ تا ۳۵ درصد غذا را ذرات خیلی ریز تشکیل دهند، این غذا قابل استفاده نیست و باید دوباره در چرخه تولید قرار گیرد.

۳-۲-۲-۲۱) پوشش دار کردن

به منظور گنجاندن اسیدهای چرب ضروری، ویتامین های محلول در چربی و حتی محلول در آب به صورت امولسیون (ویتامین C) درون جیره غذایی، محصولات پلت یا اکسترود شده با استفاده از چربی ها

پوشش دار می شوند. علاوه بر این، پوشش دار کردن به صورت یک لایه هیدروفوب خواهد بود تا سرعت حل شدن و آبشویی در آب کاهش یابد. چربی ها که در دمای معمولی بصورت مایع هستند روی ذرات غذایی سرد و خشک شده، اسپری شده و سپس در دستگاههای پوشش دهنده محور دار یا استوانه‌ای مخلوط می شوند.

به این ترتیب، چربی ها به داخل حفره های خالی شده از آب نفوذ می کنند. بعضی از انواع غذاهای میگو، در دو مرحله متوالی پوشش دار می شوند. یک مرحله با افزودنی های قابل حل در آب و در مقادیر بسیار کم (ویتامین ها و جذب کننده ها) و مرحله بعدی پوشش دار کردن با روغن و افزودنی های قابل حل در چربی. ظرفیت معمول پلت ها برای جذب روغن، تنها ۳ تا ۴ درصد است درحالیکه غذاهای منبسط و حجیم شده ظرفیت جذب بیشتری دارند(بیش از ۱۰ درصد). این مقدار به میزان کمی از طریق گنجاندن روغن در ترکیب افزایش می یابد.

۳-۲-۲۱) استفاده از عوامل همبند

به علت بالا بودن میزان پروتئین حیوانی و مقادیر کم مواد خام طبیعی گیاهی، غذای آبزیان گوشتخوار حاوی مقادیر کمی از عوامل همبند طبیعی است. بنابراین، گنجاندن عوامل همبند به صورت مواد افزودنی اجتناب ناپذیر است. برخی از این مواد نظیر گلوتن گندم یا نشاسته ژلاتینه شده دارای ارزش غذایی نیز هستند، در حالیکه سایر مواد خام مانند کربوکسی متیل سلولز، آلژینات، کاراگینان ها، آگار و صمغ های مختلف، بی اثر بوده و به عنوان ژل یا مواد چسباننده در صنایع غذایی بکار می روند. عوامل همبند مصنوعی بصورت صنعتی تولید و به فروش می رسند. با این وجود، برخی از آنها نظیر فرمالدهید با وجود موثر بودن، استفاده از آن به دلیل مضر بودن برای گونه های هدف و مصرف کننده توصیه نمی شود.

شایان ذکر است که هنگام تولید غذا با استفاده از روش های صنعتی که پیش از این به آنها اشاره شد، تاثیر عوامل همبند در غذا از بین می رود. در صورت کافی نبودن میزان رطوبت، فرآوری مکانیکی-گرمایی موجب از بین رفتن ساختار ژل ها می شود. در صورت بالا بودن رطوبت غذا (۴۵ تا ۵۰ درصد) باید قبل از توزیع آن، آب اضافی را از طریق فرآیند خشک کردن از بین برد که این فرآیند همیشه پر هزینه بوده است. درمقابل، در صورتیکه فرمول غذا حاوی نسبت های بالایی از فرآورده های جانبی حاصل از گوشت تازه باشد، عوامل همبند از نوع ژله ای استفاده می شود.

آلژینات سدیم (۱/۵ درصد) همراه با ۱۵ درصد آب در حضور کلسیم (به شکل چسب) به صورت ماده چسباننده عمل می کند و در سطح وسیع در تغذیه میگو مورد استفاده قرار می گیرد. فرآوری در محل‌های پرورش در مقیاس کوچک با استفاده از ماشین های ساده (چرخ گوشت و ماشین پرس) انجام میشود.

۳-۲۱ - روش های توصیف یک غذای ترکیبی

کیفیت یک غذا از طریق روش های مختلف و با توجه به هدف تهیه و نحوه استفاده از آن تعیین می شود. شاخص های مختلفی در ارتباط با فرآیند ساخت غذا وجود دارد اما بیشتر معیارها مربوط به رفتار تغذیه ای حیوان مصرف کننده از غذای تولیدی است.

۱-۳-۲۱) خصوصیات فیزیکی و هندسی

۱-۱-۳-۲۱) اندازه ذرات

در تغذیه ماهیان جوان اندازه ذرات خرد شده از طریق پیش الک شدن تحلیلی تعیین می شود. نمونه ای از غذا (حدودا ۱۰۰ گرم) از بالا به داخل مجموعه ای از الک ها ریخته می شود. ابعاد چشمه الک ها بصورت تصاعد هندسی افزایش می یابد (استاندارد AFNOR NF X 11-501). بعد از لرزاندن الک ها در شرایط کنترل شده(۱۵ دقیقه) مقادیر موجود در هر الک وزن شده و نتایج به صورت درصد نشان داده می شود. هیستوگرام نتایج اغلب مستقیما مورد استفاده قرار نمی گیرد، اما پس از تطابق با قوانین آماری (استاندارد AFNOR NF X 11-635,636) امکان محاسبه اندازه متوسط ذرات و انحراف معیار آن که نشان دهنده میزان عدم یکنواختی در توزیع گرانول هاست، فراهم می شود.

۲-۱-۳-۲۱) چگالی یا وزن

واحد چگالی به تراکم یک قطعه غذای پلت شده یا اکسترود شده به شکل منفرد اطلاق می گردد. این واحد، جذب غذا از محیط توسط حیوان را تحت تاثیر قرار می دهد و از طریق محاسبه نسبت حجم جامد گرانول (قطعات کالیبره شده شیشه ای یا شنی) یا مایع (آب یا جیوه) به وزن آنها در یک ترکیب مشخص حاصل شده و با واحد گرم بر سانتی مترمکعب بیان می شود.

چنانچه در ترکیب غذا مواد غیرمتخلخل وجود داشته باشد، امکان استفاده از آب یا جیوه پس از پوشش دارکردن نمونه دریک ماده هیدروفوب که در دمای اتاق جامد است (موم پارافین یا پیه) وجود دارد. در مواقعی که غذای اکسترودشده متخلخل است مایع از طریق قطعات هم اندازه شنی و شیشه ای (۱ تا ۲ میلی متر) جایگزین می شود. سپس تحت شرایط کنترل شده، قبل و بعد از معرفی نمونه تولید (استاندارد AFNOR NF A 95-112)، بسته بندی می شوند.

چگالی ظاهری، تراکم گروهی از ذرات منفرد است. از آنجاییکه این ویژگی در پر کردن کیسه ها و سیستم های اندازه گیری حایز اهمیت است، کاربرد یک شاخص تجربی طی بسته بندی، حمل و نقل و توزیع غذا تاثیر بسزایی به همراه دارد. چگالی ظاهری از طریق وزن کردن حجم مشخصی از غذا (۲ لیتر) که توسط یک قیف به داخل یک کانتینر ریخته می شود، ارزیابی می گردد. چگالی ظاهری اغلب به صورت کیلوگرم بر مترمکعب و گاهی بصورت گرم بر لیتر بیان می شود.

۲-۳-۲۱) خصوصیات مکانیکی غذا در شرایط جوی

۱-۲-۳-۲۱- مقاومت در برابر سائیدگی

شکنندگی یک ترکیب غذایی از طریق اندازه گیری مقدار ذرات ریز شکسته شده غذا هنگام وارد کردن یکسری ضربات و تکان ها یا قراردادن در مقابل جریان فشرده هوا (روش Holmen) ارزیابی می شود. بر اساس یک قرارداد، ذرات ریز ذراتی هستند که از توری دارای منافذی معادل ۰/۸ ضخامت عادی غذا عبور کنند. رابطه مسقیمی بین نتایج حاصله از دو تکنیک وجود دارد. روش Holmen سریع تر بوده و در مورد غذاهای متراکم تر و دارای شکنندگی کمتر مصداق ندارد. آزمایش دیگر ساییدن غذا در یک آسیاب کوچک در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۱۰ تا ۲۰ ثانیه (*Quick test*) می باشد که اخیراً پیشنهاد شده است. قوام یا ماندگاری عکس حالت شکنندگی است (به درصد).

۲-۲-۳-۲۱) مقاومت در برابر خرد شدگی

در غذاهای اکسترود شده یا پلت شده با مقطع مدور که دارای طول مشخص و قطر یکسانی هستند، سختی از طریق تعیین حداکثر مقاومت نسبت به فشار شعاعی وارده بر پلت ها تعریف می شود. این ویژگی به صورت مگاپاسکال (MPa) بیان می شود.

نیروی خردکنندگی با استفاده از یک دستگاه فشاری – کششی اندازه گیری می شود. رسم نمودار متناسب با جابجایی امکان محاسبه انرژی خردکنندگی را فراهم می کند. این روش در مورد غذاهای دارای شکل نامنظم مفید است. ماشین های ساده شده، امکان اندازه گیری شاخص سختی را از طریق استفاده از یک نیروی نقطه ای فراهم می کنند.

در مورد غذاهای غنی از چربی، نیمه مرطوب یا آبدار، هیچ گونه خصوصیتی که نشان دهنده سختی آنها باشد قابل توصیف نیست. در نظر گرفتن معیارهای قوام و بویژه سختی در مورد این غذاها، اهمیت آنها را کاهش می دهد. از طریق آنالیز برخی آزمایشات تجربی روی گوشت یا میوه، می توان در سرعت و زمان مشخص طی دو نوبت فشردگی، در محصول تغییر شکل ایجاد کرد. با استفاده از دو پیک به دست آمده روی نمودار می توان سختی (ارتفاع اولین پیک)، وضعیت الاستیکی و میزان انسجام یا انعطاف پذیری (نسبت مساحت های دو پیک) را تعیین کرد.

۳-۳-۲۱) ویژگی های رفتاری غذا در محیط آبی

۱-۳-۳-۲۱) گرایش به جذب مجدد آب

به منظور برآورد این ویژگی از یک آزمایش ساده استفاده می شود. در این آزمایش نمونه های مختلف در سبدهای توری سیمی قرار گرفته و در داخل آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده می شوند و بعد از خشک کردن در یک کاغذ صافی، میزان آب جذب شده توسط نمونه یا جذب مجدد آب (نسبت وزن محصول آبدار شده به وزن آغازین محصول خشک) متناسب با مدت زمان غوطه وری نمونه در آب، اندازه گیری می شود. یک روش ساده تر، تعیین میزان آب جذب شده در یک دوره زمانی ثابت است که معمولا بین ۸ تا ۱۵ دقیقه است. با قرار دان نمونه در خلا جزئی (۳ دقیقه) این زمان کاهش می یابد. اما این روش با خطا همراه است که باید با توجه به احتمال آبشویی غذا تصحیح شود. طبق همین اصل می توان میزان جذب روغن را اندازه گیری کرد. در این رابطه مدت زمان غوطه وری کوتاهتر است (یک دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد).

۲-۳-۳-۲۱) ماندگاری در آب

میزان مقاومت غذا در برابر حل شدن در آب یا ماندگاری در آب در مورد گونه های شکارچی، چراگر یا دیتریت خوار نظیر کفشک، میگوهای پنئیده و به میزان کمتر کپور معمولی، بسیار حائز اهمیت است.

۳-۳-۳-۲۱) روش های ایستایی

در این روش نه غذا و نه آب حرکت داده نمی شوند: سرعت تورم و آبشویی غذای فرورفته در آب با استفاده از مشاهده مستقیم به صورت ظاهری نسبت به زمان برآورد می شود. یک روش مکمل، ریختن غذا در یک الک (۲/۴ میلی متری) قرار گرفته در آب است. اجزا باقی مانده جمع آوری شده و خشک می شوند. نتایج به صورت درصد ماده خشک بیان می شوند.

٤-۳-۳-۲۱) روش های دینامیکی

جابجایی مایع نسبت به جامد : نمونه غذا در داخل یک الک ریخته شده و در آبی با جریان رو به بالا قرار می گیرد. آب ذرات را در خود حل کرده و کدورت آب نشان دهنده میزان مواد حل شده است که از طریق کدورت سنج قابل اندازه گیری است. این روش نیازی به وجود تجهیزات خشک کردن مواد و اندازه گیری مقدار مواد خشک ندارد. با این حال، اهمیت کدورت آب هنوز تعیین نشده است.

جابجایی جامد نسبت به مایع : غذا در داخل سبدهای توری سیمی ریخته شده و در هر دقیقه به طور متناوب ۱۰ بار وارد آب شده و در معرض هوا قرار می گیرد. وقتی غذا در معرض آب قرار می گیرد مواد قابل حل و ذرات کمتر از ۲ میلی متر در آب حل می شوند. پس از ۴۰ تا ۶۰ دقیقه ذرات باقی مانده در الک جمع آوری شده و در یک آون خشک می شوند تا به وزن ثابت برسند. پایداری غذا در آب نسبت به ماده خشک نمونه شاهد تحت شرایط مشابه بیان می شود. در مورد غذای میگوهای پنیئده مقاومت ۸۰ تا ۸۴ درصدی در نظر گرفته می شود. در شرایط آزمایشگاهی مدت زمان مورد نیاز برای حفظ پایداری و ساختار غذا حدود ۳ ساعت است. نمونه هایی از ویژگی های غذا در جدول ۱-۲۱ ارائه شده است. ارتباط بین شاخص ها اغلب پیچیده است.

جدول ١-٢١) ویژگی های اصلی غذای آبزیان پرورشی (نمونه ها)

ویژگی ها	غذاهای شناور	غذاهای با سرعت پایین غوطه وری	غذاهای غوطه ور پایدار در آب
انبساط قطری	١/٢-١/٦		٠/٩٨-١/٠٢
چگالی (گرم بر سانتی مترمکعب)			٠/٧٨-٠/٩٥
چگالی ظاهری (گرم بر مترمکعب)	٣٥٠-٤٠٠		٥٢٠-٨٢٠
سختی(مگا پاسکال)		٣٩٠-٤٥٠	٠/٤ - ٠/٩
مقاومت در برابر سایش (٪)	٩٦-٩٧		٩٨-٩٩
جذب مجدد آب بعد از ٨ دقیقه (٪)	١٤٠-٢٢٠		٦٠-٧٠
پایداری در آب (٪)			٨٢-٨٥

گرچه جذب مجدد آب،مصرف غذا را تسهیل می کند، اما به همان نسبت پایداری غـذا را در آب کـاهش می دهد. در مورد غذاهای غیر منبسط برای میگوهای پنئیده، هیچ ارتباطی بین دوام و پایداری غـذا در هـوا و پایداری در آب در مورد غذاهای اکسترودشده یا پلت شده، وجود ندارد.

٤-٢١ - خلاصه

تهیه غذا برای آبزیان شبیه روش های کلاسیک تولید غذاست با این تفـاوت کـه تجهیـزات بیشـتری مـورد نیاز است. این روش به مدیریت مناسب فرآیند آسـیاب کـردن، روش هـای تعیـین سـاختار غـذا (سیسـتم اکستروژن و پلت کردن)، سرد - خشک کردن و همچنین در نظر گرفتن ملاحظاتی به منظور حفظ ارزش بیولوژیک پروتئین ها در غذا بستگی دارد.

انتخاب نوع روش ساخت غذا باید متناسب با آبزی پرورشی باشد ضمن آنکه هزینـه هـای تولیـد و بعضـی مواقع پیامدهای زیست محیطی نیز اهمیت دارند. هرچند، اغلب مواقع روش اکستروژن به علـت دارا بـودن قابلیت تنوع و تغییر و نیز سهولت استفاده روش مناسبی تلقی می شود اما جوابگوی تمام مشـکلات نیسـت.

این روش پرهزینه است و در حال حاضر بخوبی مدیریت نمی شود، بنابراین کاربرد آن می تواند نتایج متغیری در پی داشته باشد. در برخی موارد از روش پلت کردن به جای این روش استفاده می شود که در این صورت فرآیندهایی نظیر تیمار حرارتی یا متراکم سازی اولیه در نظر گرفته می شوند. روش پلت کردن مناسب ترین روش برای تولید غذاهای شناور می باشد.

در نهایت، راهکارهای مختلفی برای بررسی و توصیف خصوصیات فیزیکی غذاها وجود دارند که در اولین گام امکان ارائه روش بهینه سازی شده ای را برای یک هدف مشخص فراهم می کنند.

«فصل ۲۲»

روش های غذادهی

از نظر اجرایی، غذادهی ماهی به سه دلیل عمده با مشکلات بخصوصی مواجه است. اولاً، پرورش‌دهنده باید با توجه به رفتار ماهی، از مصرف موثر تمامی غذای توزیع شده در آب اطمینان حاصل کند. ثانیاً، غذای مصرف نشده منجر به کاهش کیفیت محیط پرورش ماهی یا حتی آلودگی محیطهای آبی مجاور شده، همچنین افت اقتصادی را بدنبال دارد. و مورد آخر اینکه نیازهای غذادهی ماهی نسبت به پارامترهای مختلف بخصوص دمای محیط پرورش متفاوت است که پرورش دهنده را ملزم به اعمال یک تغییر دائمی در مقدار غذای توزیع شده می کند. ازنظرکاربردی، یک پرورش دهنده باید تا حد ممکن با توجه به نیازهای مورد نظر ماهی مقدار غذای مجاز را در یک زمان مشخص تنظیم کند (که در اصطلاح جیره غذایی[1] نامیده می شود)، همچنین از بین روش های غذادهی، مناسب ترین روش توزیع غذا را انتخاب کند.

۱-۲۲ - اساس جیره های غذایی

۱-۱-۲۲) تاثیر تعیین جیره ها در رشد و ضریب تبدیل غذا

در مورد یک غذا ، گونه و شرایط پرورش مشخص، نرخ رشد ویژه (SGR) و نرخ تبدیل غذایی(FCR) به نرخ غذادهی ماهی (FR) بستگی دارد. حداکثر رشد و بازدهی غذادهی در یک سطح غذادهی مشابه، حاصل نمی شود.

[1] Feed ration

تمهیدات اتخاذ شده توسط پرورش دهنده در ارتباط با غذادهی، اختلاف بین سطوح غذادهی مرتبط با این دو عامل را تعیین می کند. با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و سایر ملاحظات، دستیابی به حداکثر رشد و حداقل هزینه های غذادهی امکان پذیر است. کسب حداکثر رشد در فرآیند غذادهی، هزینه بالایی را می طلبد. برای مثال، پرورش آزمایشی قزل آلای قهوه ای در دریا، هزینه اضافی ناشی از غذادهی تا حد سیری در مقایسه با جیره ای معادل ۸۵ درصد این مقدار، حدود ۱۲ درصد برآورد شد. تفاوت بین افزایش وزن بین دو سطح غذادهی در طی ۱۰ روز از رشد که برابر با ۸ درصد دوره آزمایش بود، ۱۲/۳ درصد بود. با این وجود، این تغییر در افزایش وزن و استفاده از غذا متناسب با نرخ غذادهی، یک اقدام قابل اجرا در شرایط غذادهی است که هنوز مورد بحث و اختلاف است. در صورت تغذیه قزل آلا از طریق غذادهی خودتقاضایی کنترل شده (روشی که در آن ریتم های غذادهی و میزان تقاضای ماهی در نظر گرفته می شود) و استفاده از سطوح یکسان غذادهی، حداکثر رشد و حداقل هزینه غذادهی حاصل می شود (فصل ۳).

ذکر این نکته حائز اهمیت است که مقدار غذای در نظر گرفته شده برای محاسبه FCR ممکن است میزان غذای مصرف شده توسط ماهی را بیش از مقدار واقعی آن نشان می دهد. زمانی که حداکثر رشد مدنظر باشد، افزایش جیره غذایی ممکن است خطرات ناشی از افزایش مواد دفعی را بیشتر کند.

۲-۱-۲۲) غذادهی تا حد سیری

چون برآورد چشمی مقدار غذای خورده شده به طور مستقیم یا غیر مستقیم در محیطهای آبی به آسانی امکان پذیر نیست، از اینرو برآورد سیری در ماهی نسبت به حیوانات خشک زی دشوار تر است.

در این رابطه از دو روش متفاوت می توان استفاده کرد:

- در روش اول، در حالیکه رفتار ماهی کنترل می شود، تمامی غذایی که ماهی قادر به خوردن آن است در اختیارش قرار داده می شود. توقف در گرفتن غذا نشان دهنده ایجاد وقفه موقتی نسبت به وعده غذایی است. سیری موقت از طریق توزیع مقدار مشخصی غذا با دست تا زمانی که حیوان غذای داده شده را رد کند، حاصل می شود. اما سیری واقعی فقط با دادن تعداد کافی وعده غذایی

(دو وعده غذایی یا بیشتر) با توجه به اندازه، گونه و دمای محیط به وجود می آید. این عوامل و نیز ماهیت جیره غذایی، زمان انتقال روده ای را تعیین می کنند.

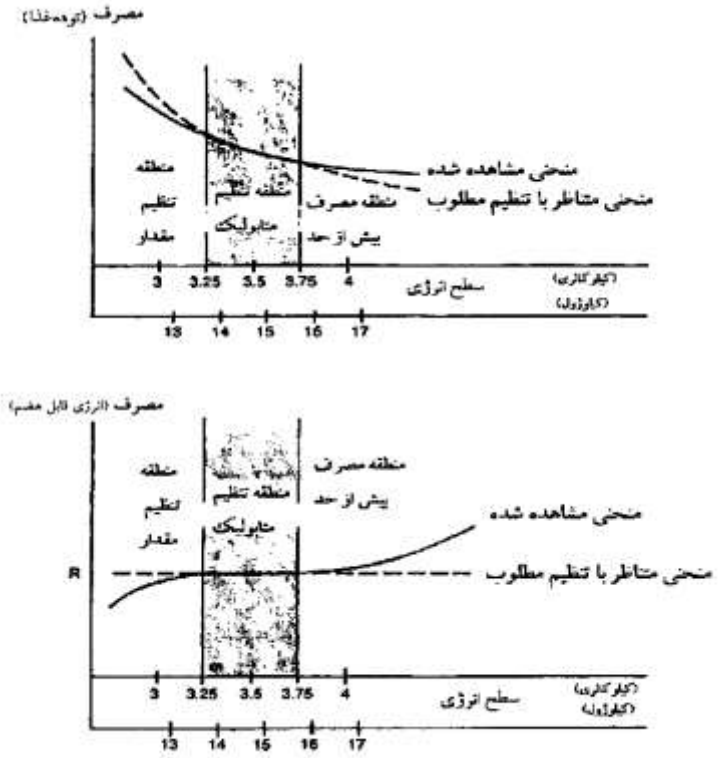
- در روش دوم مقداری غذای اضافی که برای ماهی قابل دسترس باشد در استخر باقی گذاشته می شود (مصرف خودتقاضایی غذا توسط ماهی) تا حیوان با توجه به نیازش مصرف کند. انجام و کنترل این روش ساده تر از روش قبل است.

به عنوان یک قاعده کلی، مدیریت توزیع غذا تا رسیدن به مرحله سیری پیچیده و دشوار است و موجب هدر رفت غذا، کاهش بازدهی و تخریب و آلودگی محیط پرورش می شود که این امر تغییر عملکرد بیولوژیک را به دنبال دارد. بواسطه شدت انرژی مشکلات ناشی از این مسئله وخیم تر می شود. گاهی اوقات از طریق کنترل مواد زائد امکان محدود نمودن این مواد وجود دارد. بقایای غذایی را می توان از طریق نصب توری هایی در قسمت خروجی استخر با عبور کافی جریان آب و قرار دادن صفحاتی در زیر ایستگاههای غذادهی (روشی که اغلب در مراکز پرورش میگو استفاده می شود) جمع آوری نمود. با این وجود، انجام این اقدامات اصلاحی به ندرت رضایت بخشند.

۳-۱-۲۲) تراکم انرژی غذا و تنظیم مصرف توسط ماهی

همانند حیوانات خشک زی، مصرف غذا در ماهی از طریق محتوای انرژی غذا تنظیم می شود و حیوان میزان مصرف غذا را به نحوی از طریق ارضای نیازهای انرژی خود، تنظیم می کند. مقدار مصرف کم انرژی با افزایش حجم معده محدود می شود که در برخی موارد برای داشتن رشد مطلوب، کافی نیست (شکل ۱-۲۲). در مقابل، میزان جذب انرژی از غذاهای پرانرژی موجود، بواسطه ظرفیت پذیرش ماهی محدود نشده و می تواند فراتر از نیازها باشد. این وضعیت همانند وعده های غذایی کوتاه مدت، موجب فعال شدن سریع واکنش های فیزیولوژیک موثر در سیری نمی شود. در چنین مواردی، غذای اضافی به شکل چربی در بخش هایی از بدن شامل عضله، بافت های چرب، کبد و بافت های پیوندی و ... که هر یک با توجه به گونه اهمیت متفاوتی دارند، ذخیره می شوند (فصل ۶). چنانچه قرار است ماهیهای بزرگ به منظور فرآوری تخلیه شکمی شوند، باید جیره روزانه را به منظور به حداقل رساندن ضایعات، محدود نمود. بنابراین، سطوح جیره های روزانه باید بر اساس خصوصیات غذا تنظیم شود.

از لحاظ عملی، از آنجاکه به سازندگان غذا توصیه می شود تا بین سطوح انرژی و سایر مواد غذایی (پروتئین ها یا اسیدهای آمینه، ویتامین ها، مینرال ها و ...) تعادل ایجاد کند، پرورش دهنده ماهی صرفا باید نگران مقدار انرژی غذا باشد. همچنین، سازندگان غذا باید اهمیت عواملی نظیر قابلیت هضم غذا را در نظر داشته باشند. مقدار انرژی معمولا به صورت کیلوژول بر گرم یا مگا ژول بر کیلوگرم انرژی قابل هضم بیان می شود (از نظر عملی، هنوز کیلوکالری نیز استفاده می شود، رجوع به فصل ۴). هنگام تنظیم جیره غذایی توجه به انرژی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.



شکل ۱-۲۲) تنظیم میزان مصرف غذا متناسب با سطح انرژی غذا.
R : نیازهای انرژی ; m : حداقل سطح انرژی

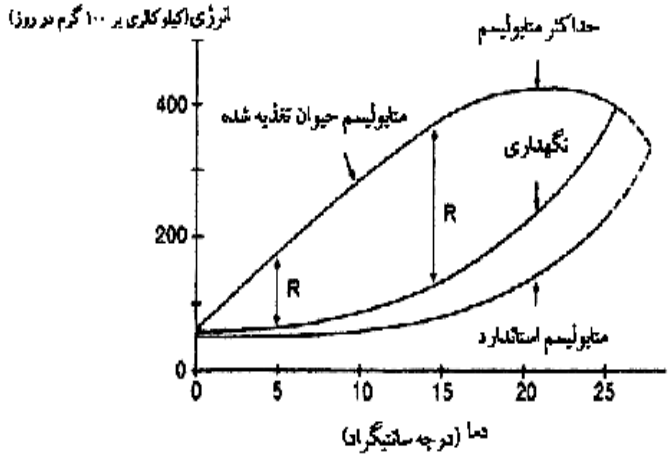
۲-۲۲ - عوامل اصلی موثر برتعیین نرخ غذادهی

۱-۲-۲۲) اندازه ماهی، دما و رشد مورد نظر

عوامل بسیاری در تعیین نیازهای غذایی ماهی دخالت دارند که یا با آبزی (گونه، اندازه، مرحله رشد و وضعیت فیزیولوژیکی) یا با محیط (دما، شوری، کیفیت آب و مقدار اکسیژن محلول) مرتبط هستند. معمولا اندازه آبزی و دمای آب ازسایر موارد نقش مهم تری دارند. با این وجود، حتی در یک دمای مشخص، عامل اندازه به منظور تعیین نیازها کافی نیست. از میان سایر عوامل، نیازهای مربوط به نگهداری و رشد نیز که تابعی از نرخ رشد و پتانسیل ژنتیکی هستند، تعیین کننده خواهند بود. به عبارت دیگر، علاوه بر وزن بدن، پتانسیل رشد نیز میزان نیازها را تعیین می کند.

اصل کلی اثر دمای آب بر رشد به خوبی شناخته شده است. نیازهای همراه با افزایش دما تا یک حد آستانه مشخص که اپتیمم گرمایی برای یک گونه است افزایش یافته و سپس کاهش می یابد (فصل ۲ و جدول ۵-۵). سطح اپتیمم دمایی تقریبا مطابق با بهترین بازدهی غذایی است، زیرا در این سطح ارتباط بین بخشی از غذایی که برای رشد و بخشی که برای نگهداری استفاده می شود، به حداکثر خود می رسد (شکل ۲-۲۲ و جدول ۵-۵). با این وجود، تاثیر دما در مورد همه گونه های پرورشی هنوز تعیین نشده و این نوع مدل سازی برای تعداد زیادی از گونه ها دشوار است.

بعلاوه، عوامل زیاد دیگری نظیر سلامتی، وضعیت فیزیولوژیک، محیط پرورش، فصل (در مورد یک دمای مشخص) و غیره نیز بر نیازها تاثیر گذارند. بنابراین، برآورد واقعی از نیازهای انرژی ماهی پیچیده بوده و در صورت فقدان راهکارهای علمی، تنها از طریق مشاهدات پی در پی و راه حل های عملی حاصل از برآوردهای پرورش دهنده می توان به آن دست یافت. از لحاظ عملکرد اقتصادی مزرعه پرورش ماهی، میزان بازدهی سطوح غذادهی به میزان قابل توجهی به استفاده از روش های ارائه شده توسط خود پرورش دهنده در منطقه بستگی دارد.



شکل ۲-۲۲) اثر دما بر مصرف (کیلو کالری بر ۱۰۰ گرم در روز) و حفظ انرژی (R).

۲-۲-۲۲) محدودیت های مربوط به محیط پرورش

در ارتباط با محیط پرورش عوامل مختلفی بر سطح غذادهی تاثیر گذارند که مهمترین آنها غلظت اکسیژن محلول است. نیاز ماهی به اکسیژن، مستقیما به مقدار غذای داده شده بستگی دارد. برای مثال قزل آلا برای متابولیسم یک کیلوگرم غذا به حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم اکسیژن نیاز دارد. در صورتیکه کسب این مقدار اکسیژن از محیط برای ماهی دشوار باشد، به علت صرف انرژی زیاد برای جذب اکسیژن (کارکرد عضلانی مرتبط با تنفس)، بهره برداری موثر از غذا کاهش می یابد. کمتر از یک حد آستانه مشخص (۴ تا ۵ میلی گرم در لیتر برای قزل آلا) مصرف غذا کاهش یافته و نرخ رشد کند می شود. بالاتر از این سطح به رغم کافی بودن میزان اکسیژن در دسترس، به دلیل کاهش مصرف انرژی برای جذب اکسیژن، این امکان وجود دارد تا همراه با افزایش میزان اکسیژن محلول، مقدار مصرف و هضم و جذب غذا توسط ماهی افزایش یابد. در صورت نامناسب بودن سطح اکسیژن محلول متناسب با نیاز گونه ها، پرورش دهنده باید جیره غذایی را کاهش دهد. این امر در مورد مزارع نیمه متراکم و گونه هایی که قادر به ادامه حیات در سطوح پایین تر اکسیژن هستند (کپور معمولی) از اهمیت کمتری برخوردار است.

امروزه، روش های هوادهی به طور روز افزونی مورد استفاده قرار می گیرند تا امکان پرورش آبزیان در محیطی بدون محدودیت اکسیژنی فراهم شده و میزان تولید در واحد سطح در حد قابل توجهی نسبت به شرایط طبیعی بالا رود.

سایر عوامل محیطی به ویژه عوامل محدود کننده اکسیژن قابل دسترس برای ماهیها را باید در نظر گرفت. این عوامل عملکرد صحیح آبشش ها را از طریق مسدود کردن (مواد معلق، آهن کلوئیدی)، نکروز، هایپرپلازی (آمونیاک) و یا از طریق ترشح عصبی موکوس (pH اسیدی، مواد محرک) تحت تاثیر قرار می دهند. همچنین یون نیتریت نیز باید کنترل شود چون از طریق تشکیل متاهموگلوبین، استفاده از اکسیژن را در موجود زنده محدود می کند.

۳-۲-۲۲) تنظیم دفع مواد زائد

مراکز پرورش متراکم آبزیان از استانداردهای مربوط به دفع مواد زائد تبعیت می کنند که مقدار آن در مورد مزارع دارای آب جریان دار به صورت غلظت و در مورد مزارع پروش ماهی در دریا به صورت جریان (میزان تخلیه در واحد زمان) بیان می شوند. در حال حاضر آلایندهای تحت استاندارد شامل مواد دفعی حاصل از هضم (مواد معلق) و ترشحات متابولیک است. اکسیژن خواهی بیولوژیک (BOD) که به متابولیسم باکتریایی تجزیه کننده مواد زائد مربوط می شود، مستقیما با دفع مواد معلق ارتباط دارد. این شاخص معمولا طی یک دوره ۵ روزه (BOD5) اندازه گیری می شود. سایر شاخص ها نظیر دفع مواد دارویی احتمالاً در آینده تحت نظارت قرار می گیرند. این استانداردها میزان نهایی غذایی که در واحد زمان(برای مثال ۲۴ ساعت) توزیع می شود را محدود می کند. چنین شرایطی در بعضی مواقع در مزارع پرورشی آزاد ماهیان در فصل تابستان اعمال می شود.

تحت این شرایط، پرورش دهنده ماهی باید حداکثر مقدار توزیع غذا (Q) را برای ۲۴ ساعت با توجه به جریان آب و استانداردهای مربوط به مواد زائد، با استفاده از فرمول ذیل تعیین نماید:

$$Q_{kg/j} = \frac{D^3{}_{m/j} \times N_{mg/L}}{E_{g/kg}}$$

D = جریان عبور آب از مزرعه پرورش ماهی

N = استاندارد به کار رفته برای سیستم[1]

E = مقدار ماده دفع شده از طریق هضم یا ترشح به ازای هر کیلوگرم از غذا

باید توجه داشت که چون اکسیژن را می توان با استفاده از تجهیزات مناسب تعدیل کرد بنابراین، مقدار اکسیژن اولیه آب در فرمول در نظر گرفته نمی شود.

۳-۲۲ - تعیین سطح غذادهی

نرخ غذادهی را می توان با توجه به رشد مورد نظر، که می تواند رشد استاندارد یا یک مقدار خاص مورد نظر باشد، انتخاب کرد. این نرخ یا از طریق جداول غذادهی و یا استفاده از نتایج قبلی برآورد می شود.

۱-۳-۲۲) جداول غذادهی

در مورد غذاهای تجاری معمولا فقط گونه، اندازه یا وزن ماهی و دمای آب را در نظر گرفته می شود. این جداول در مورد غذای مورد مصرف و مزارعی که بهترین عملکرد از آنها انتظار می رود، اعمال میشوند (معمولا به صورتی مبهم بر اساس حد واسط بین بهینه سازی رشد و FCR تنظیم می شوند). بنابراین، این جداول باید به عنوان راهنما مورد ملاحظه قرار گرفته و نسبت به ویژگی های منحصر به فرد ماهی، محیط پرورش و حتی فصل تنظیم شوند.

یک جدول نیازهای انرژی، مقدار انرژی مورد نیاز برای یک ماهی با وزن متوسط و دمای مشخص را ارائه می کند. گاهی اوقات استفاده از جداول به دخالت ها یا تنظیماتی در مورد وزن بدن، دما یا هر دو عامل بطور همزمان نیازمند است (کادر ۱-۲۲).

نیازهای انرژی ماهی با توجه به نیازهای نگهداری (تغذیه در حد زنده ماندن)، نرخ رشد، دما و ضایعات غذایی در حین غذا خوردن، محاسبه می شود.

---

[1] این استاندارد از طریق قانون گذاری تعیین می شود. در فرانسه در مناطق مختلف، متغیر است. برای مثال، ppm ۱-۰/۱ در مورد نیتروژن آمونیاکی ($N.NH_4$)

کادر ۱-۲۲) محاسبه اندازه جیره غذایی روزانه از طریق اعمال تنظیمات در وزن بدن و دما

گرچه تغییرات اندازه جیره غذایی نسبت به وزن بدن و دما بصورت خطی نیست، اما یک تنظیم خطی برای یک برآورد کافی است.

تنظیم وزن ها

فرض می شود t_1 و t_2 دماها و P_1 و P_2 وزن های به دست آمده در جداول دماها و وزن های واقعی باشند، همچنین فرض می شود در دمای t_1 ، TP_1t_1 اندازه جیره برای وزن P_1 و TP_2t_1 برای وزن P_1 ، اندازه جیره TPt_1 برای وزن P طبق رمول زیر برابر خواهد بود با:

$$TPt_1 = TP_1t_1 + (TP_2t_1 - TP_1t_1) \times \frac{p - p_1}{p_2 - p_1}$$

TPt_2 برای دمای t_2 را می توان از روش مشابهی محاسبه نمود:

$$TPt_2 = TP_1t_2 + (TP_2t_2 - TP_1t_2) \times \frac{p - p_1}{p_2 - p_1}$$

تنظیم دماها

فرض کنیم TPt اندازه جیره به دست آمده برای وزن P و دمای t است.

$$TPt = TPt_1 + (TPt_1 - TP\,t_1) \times \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$$

یک روش ساده شده ای که در کادر۲-۲۲ خلاصه شده، توسط Cho (1992) پیشنهاد گردیده است. یک مثال از کاربرد این روش در جدول ۱-۲۲ آمده است. بر طبق محاسبات چو (۱۹۹۲)، ممکن است برآورد نظری FCR با کمک FR توصیه شده، نقطه عطفی برای پرورش دهنده باشد.

کادر ۲-۲۲) محاسبه نیازهای انرژی ماهی (Cho,1992)

تعیین ضریب رشد یک گونه

$$GC = \frac{M_f^{1/3} - M_i^{1/3}}{t \times \sum \theta}$$

این ضریب کاملا تجربی برای چند گونـه از آزادماهیـان (قـزل آلا، قـزل آلای قهـوه ای، آزادمـاهی اقیـانوس اطلس و چینوک) تعیین شده که از نظر مقدار، نسبتاً ثابت است. تعیین این ضریب و تایید ثابت بودن آن بـرای سایر گونه ها ضروری است.

پیش بینی وزن بدن در زمان t با توجه به وزن بدن در زمان صفر

$$M_1 = M_0^{1/3} + (GC \times t \times \sum \theta)^3$$

محاسبه افزایش انرژی GE از طریق افزایش بیوماس

$$GE = (M_t - M_0) \times dm \times ev$$

dm = مقدار مواد خشک

ev = مقدار انرژی

برآورد نیازهای انرژی به منظور نگهداری (EM) بر حسب کیلوژول در روز

$$EM = (-1.O4 + 3.26\theta + 0.05\theta^2) \times M^{0.824}$$

برآورد افزایش گرمای ناشی از خوردن غذا(HiF)

$$HiF = 0.6EM$$

محاسبه هدررفت انرژی از طریق ادرار و آبشش ها

$$ELUG = 0.06(GE + EM + HiF)$$

محاسبه کل نیاز انرژی (ER)

$$ER = GE + EM + HiF + ELUG$$

جدول ١-٢٢) پیش بینی های وزن بدن (گرم)، نیازهای انرژی (کیلـوژول انـرژی قابـل هضـم در ١٠٠ گرم در روز) و نرخ غذادهی (درصد) در٣ دما، در قزل آلا (Cho,1995)

١٥ درجه سانتیگراد			١٠ درجه سانتیگراد			٥ درجه سانتیگراد			هفته
درصد	کیلوژول	گرم	درصد	کیلوژول	گرم	درصد	کیلوژول	گرم	
		١			١			١	٠
٦/١٤	١/٠٤	١/٧	٣/٩٨	٠/٦٨	١/٤	١/٩٣	٠/٣٣	١/٢	١
٥/١٧	١/٤٥	٢/٥	٣/٥٦	٠/٨٥	١/٩	١/٨٢	٠/٣٧	١/٤	٢
٤/٤٧	١/٩٤	٣/٧	٣/٢٢	١/٠٥	٢/٥	١/٧٣	٠/٤٢	١/٧	٣
٣/٩٦	٢/٥٠	٥/٢	٢/٩٥	١/٢٨	٣/٣	١/٦٥	٠/٤٦	١/٩	٤
٣/٥٥	٣/١٤	٧/٠	٢/٧٢	١/٥٢	٤/٢	١/٥٨	٠/٥٢	٢/٢	٥
٣/٢٣	٣/٨٥	٩/٢	٢/٥٣	١/٧٩	٥/٢	١/٥١	٠/٥٧	٢/٥	٦
٢/٩٧	٤/٦٥	١١/٨	٢/٣٦	٢/٠٩	٦/٤	١/٤٥	٠/٦٣	٢/٩	٧
٢/٧٥	٥/٥٣	١٤/٩	٢/٢٢	٢/٤٠	٧/٧	١/٣٩	٠/٦٩	٣/٣	٨
٢/٥٦	٦/٥٠	١٨/٥	٢/١٠	٢/٧٥	٩/٢	١/٣٤	٠/٧٥	٣/٧	٩
٢/٤٠	٧/٥٥	٢٢/٦	١/٩٩	٣/١٢	١٠/٩	١/٢٩	٠/٨٢	٤/٢	١٠
٢/٢٦	٨/٦٩	٢٧/٣	١/٨٩	٣/٥١	١٢/٨	١/٢٥	٠/٨٩	٤/٧	١١
٢/١٤	٩/٩٢	٣٢/٦	١/٨٠	٣/٩٣	١٤/٩	١/٢١	٠/٩٦	٥/٢	١٢
٢/٠٣	١١/٢٣	٣٨/٥	١/٧٢	٤/٣٧	١٧/٣	١/١٧	١/٠٣	٥/٨	١٣
١/٩٣	١٢/٦٤	٤٥/١	١/٦٥	٤/٨٥	١٩/٨	١/١٤	١/١١	٦/٤	١٤
١/٨٤	١٤/١٤	٥٢/٤	١/٥٩	٥/٣٥	٢٢/٦	١/١٠	١/١٩	٧/٠	١٥
١/٧٧	١٥/٧٣	٦٠/٥	١/٥٣	٥/٨٧	٢٥/٧	١/٠٧	١/٢٨	٧/٧	١٦
١/٦٩	١٧/٤٢	٦٩/٣	١/٤٧	٦/٤٢	٢٩/٠	١/٠٤	١/٣٧	٨/٤	١٧
١/٦٣	١٩/٢٠	٧٩/٠	١/٤٢	٧/٠٠	٣٢/٦	١/٠٢	١/٤٦	٩/٢	١٨
١/٥٧	٢١/٠٨	٨٩/٥	١/٣٧	٧/٦١	٣٦/٤	٠/٩٩	١/٥٥	١٠/٠	١٩
١/٥١	٢٣/٠٥	١٠٠/٩	١/٣٣	٨/٢٥	٤٠/٦	٠/٩٧	١/٦٥	١٠/٩	٢٠
١/٤٦	٢٥/١٣	١١٣/٣	١/٢٩	٨/٩١	٤٥/١	٠/٩٤	١/٧٥	١١/٨	٢١
١/٤٢	٢٧/٣٠	١٢٦/٦	١/٢٥	٩/٦١	٤٩/٩	٠/٩٢	١/٨٦	١٢/٨	٢٢
١/٣٧	٢٩/٥٧	١٤١/٠	١/٢٢	١٠/٣٣	٥٥/٠	٠/٩٠	١/٩٦	١٣/٩	٢٣
١/٣٣	٣١/٩٥	١٥٦/٤	١/١٨	١١/٠٨	٦٠/٥	٠/٨٨	٢/٠٨	١٤/٩	٢٤
١/٣٠	٣٤/٤٢	١٧٢/٨	١/١٥	١١/٨٦	٦٦/٣	٠/٨٦	٢/١٩	١٦/١	٢٥
١/٢٦	٣٧/٠٠	١٩٠/٤	١/١٢	١٢/٦٧	٧٢/٤	٠/٨٥	٢/٣١	١٧/٣	٢٦
١/٢٣	٣٩/٦٩	٢٠٩/١	١/١٠	١٣/٥١	٧٩/٠	٠/٨٣	٢/٤٣	١٨/٥	٢٧
١/١٩	٤٢/٤٨	٢٢٩/١	١/٠٧	١٤/٣٨	٨٥/٩	٠/٨١	٢/٥٥	١٩/٨	٢٨
١/١٧	٤٥/٣٧	٢٥٠/٢	١/٠٥	١٥/٢٨	٩٣/٢	٠/٨٠	٢/٦٨	٢١/٢	٢٩
١/١٤	٤٨/٣٧	٢٧٢/٦	١/٠٢	١٦/٢١	١٠٠/٩	٠/٧٨	٢/٨١	٢٢/٦	٣٠
١/١١	٥١/٤٨	٢٩٦/٣	١/٠٠	١٧/١٧	١٠٩/١	٠/٧٧	٢/٩٥	٢٤/١	٣١
١/٠٩	٥٤/٦٩	٣٢١/٤	٠/٩٨	١٨/١٦	١١٧/٦	٠/٧٥	٣/٠٩	٢٥/٧	٣٢
١/٠٦	٥٨/٠٢	٣٤٧/٨	٠/٩٦	١٩/١٨	١٢٦/٦	٠/٧٤	٣/٢٣.	٢٧/٣	٣٣
١/٠٤	٦١/٤٥	٣٧٥/٦	٠/٩٤	٢٠/٢٤	١٣٦/١	٠/٧٣	٣/٣٨	٢٩/٠	٣٤
١/٠٢	٦٥/٠٠	٤٠٤/٩	٠/٩٢	٢١/٣٢	١٤٦/٠	٠/٧٢	٣/٥٢	٣٠/٧	٣٥
١/٠٠	٦٨/٦٦	٤٣٥/٧	٠/٩٠	٢٢/٤٤	١٥٦/٤	٠/٧٠	٣/٦٨	٣٢/٦	٣٦
٠/٩٨	٧٢/٤٣	٤٦٨/٠	٠/٨٩	٢٣/٥٩	١٦٧/٢	٠/٦٩	٣/٨٣	٣٤/٥	٣٧
٠/٩٦	٧٦/٣١	٥٠١/٨	٠/٨٧	٢٤/٧٧	١٧٨/٦	٠/٦٨	٣/٩٩	٣٦/٤	٣٨
٠/٩٤	٨٠/٣٠	٥٣٧/٢	٠/٨٦	٢٥/٩٨	١٩٠/٤	٠/٦٧	٤/١٦	٣٨/٥	٣٩
٠/٩٢	٨٤/٤١	٥٧٤/٣	٠/٨٤	٢٧/٢٢	٢٠٢/٨	٠/٦٦	٤/٣٢	٤٠/٦	٤٠

اطلاعـات مـورد نیـاز بـرای تشـکیل ایـن جـداول صـرفا بـرای تعـداد محـدودی از گونـه هـا (تعـدادی از آزادماهیان) موجود است. نیازهای انرژی در ماهی تحت تاثیر عوامل زیادی قرار دارد و به همین دلیل بایـد از طریق کنترل رشد آبزیان مورد پرورش، کافی بودن انرژی جیره غذایی توزیع شده با توجـه بـه نیازهـای ماهی تضمین شود.

۲-۳-۲۲) سطوح غذادهی بر اساس اطلاعات قبلی

سطوح غذادهی را می توان بر اساس وزن متوسـط گروهـی از ماهیهـا در پایـان یـک دوره زمـانی خـاص، تعیین نمود. این روش به دانش کامل و همه جانبه در مورد پتانسیل رشد و همچنین تغییر در FCR متناسب با اندازه ماهی نیاز دارد. همچنین فرض می شود که ماهی ها تحت شرایط بهینه ای پرورش داده مـی شـوند یا در صورت فقدان این شرایط، هدف مورد نظر کمتر یا برابر با پتانسیل آبزیان مورد پرورش خواهـد بـود. در صورت حصول وزن مشخص با جیره معین، دو پارامتر نرخ رشد و نسبت غذا بـه افـزایش وزن جیـره در طول دوره پرورش، مورد نیاز هستند.

۱-۲-۳-۲۲) استفاده از نرخ رشد ویژه بر طبق نتایج قبلی

اگر P_2 وزن نهایی مورد نظر باشد در نتیجه:

$$P_2 = P_1(1+SGR_P)^D$$

P_1= وزن در آخرین وزن کشی

SGR_P= نرخ رشد ویژه طی دوره قبلی

D = زمان بر حسب روز برای تغییر P_1 به P_2

بر حسب مورد، مقدار مجهول در معادله، P_2 یا D می باشد.

از معایب این روش تخمینی بودن رشد در دوره قبلی است. در صورت برآورد نادرست این مقدار، برآورد رشد دوره پیش بینی شده دقیق نخواهد بود. در صورتیکه اختلاف درجه حرارت بـین دو دوره زیـاد باشـد، از این روش استفاده نمی شود.

همچنین باید توجه نمود که SGR نمـی توانـد بهتـرین پـارامتر بـرای بـرآورد رشـد باشـد و ممکـن اسـت خطاهای مشخصی در برآورد مقادیر بالای D را موجب شود. بطورکلی، همین اصل را می تـوان در مـورد هر یک از دیگر پارامترهای رشد بکار برد.

٤-٢٢- روش های توزیع غذا

١-٤-٢٢) توزیع دستی

توزیع دستی غذا هنوز هم به میـزان گسـترده ای اسـتفاده مـی شـود. از مزیـت ایـن روش نظـارت بـر رفتـار ماهیهاست، بخصوص هنگامیکه به آسانی قابل مشاهده باشند. اما هزینه این روش نسبتاً بالاست.

٢-٤-٢٢) توزیع اتوماتیک

با توجه به تجهیزات انتخاب شده، توزیع اتوماتیک امکان توزیع چند مرحله ای یـا مسـتمر غـذا را در طـول دوره غذادهی فراهم می کند. در این رابطه سیستم های مختلفی از نوارهای نقاله توزیـع کننـده مـداوم غـذا در طول روز تا ماشین های اتوماتیکی که جیره های روزانه را محاسبه، وزن و توزیع می کنند، مـی تواننـد مورد استفاده قرار گیرند. مهمترین عامل تعیین کننده در مورد انتخاب این سیستم ها، هزینه است.

در برخی موارد، توزیع اتوماتیک غذا امکان اصلاح FCR را بویژه در مورد گونه هـایی کـه هنـوز بخـوبی اهلی نشده اند و به دلیل رفتارهای تغذیه ای خاص به سختی مشاهده می شوند (مثل قزل‌آلای قهـوه ای یـا آزاد ماهی اقیانوس اطلس)، فراهم می کند. همچنین، تفسیم بندی مناسب جیره روزانـه در محـدود نمـودن خطرات و عواقب ناشی از توزیع حجم زیادی از غـذا در زمـان هـای نامناسـب، حـائز اهمیـت اسـت؛ مثـل توزیع مقدار زیادی غذا در قفس های دریایی هنگام جزرکه جابجایی آب بـین قفـس هـا بـه منظـور تـامین اکسیژن مورد نیاز کافی نیست.

به منظور کاهش هزینه ها و بالا بردن سود حاصله ممکن است روش های مختلف غذادهی بـا هـم ترکیـب شوند. برای مثال، در پایان روز و به دنبال توزیع اتوماتیک ٨٠ درصـد از جیـره محاسـبه شـده، غـذادهی بـه صورت دستی می تواند علاوه بر مشاهده دقیق رفتار ماهیها، به منظور سیر کردن کامـل آنها مفید باشد. اما

دربیشتر موارد برآورد مقدار نیازهای ماهی به عنوان ضرورت کسب اطمینان از مدیریت غذادهی بـه قـوت خود باقی است.

۳-٤-۲۲) غذاده های تقاضایی

در این سیستم با استفاده از یک ابزار مناسب (پاندول تماسی بـا کنتـرل مکـانیکی یـا الکترونیکـی)، مـاهی میتواند مقدار غذایی که به آن تمایل دارد را دریافت نمایـد. مقـدار غـذایی کـه در داخـل دسـتگاه ریختـه می‌شود، بر اساس محاسبه جیره روزانه توسط پرورش دهنده ماهی تعیین می گردد. اما بطـورکلی، بیشـتر از میزان برآورد شده است. با نصب یک وسیله الکترونیکی مـی تـوان تـاخیر مـاهی در پاسـخ بـه تقاضـا را از طریق حرکت پاندول و همچنین مقدار غذای توزیع شده در هر نوبت تقاضا را به منظور محدود نمـودن هـدررفت غذایی مرتبط با به حرکت درآوردن پاندول توسط ماهی یا سایر عوامل بیرونی (حرکت آب، باد) کنترل نمود.
این سیستم غذادهی اغلب به سبب افزایش رقابت بین ماهیها و در نتیجه افزایش اختلاف وزن در آنها مـورد انتقاد قرار دارد. این مشکل را می توان با نصب تعـداد بیشـتری غـذاده یـا اصـلاح و بهبـود روش توزیـع تـا حدی کاهش داد. یک روش تکمیلی که در استخرهای جریان دار مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیـرد، نصـب غذاده ها در قسمت یک سوم پایانی استخرهاست تا بدین طریق، ماهیان غذاخورده به دلیل نیاز بـه اکسـیژن بیشتر به قسمت ورودی استخر حرکت کرده و امکان دسترسی سایر ماهی ها به نقاط غذادهی فراهم شـود. کاربرد غذاده های تقاضایی عملاً روشی نسبتا جدید است اما این روش به دلیـل برخـی ابهامـات در مـورد کیفیت محصول تولیدی به ویژه از نظر محتوای چربی مورد انتقاد است. ضمن آنکه، هزینه های مربـوط بـه نصب تجهیزات به منظور بهینـه سـازی توزیـع (کنتـرل الکترونیکـی)، پـرورش دهنـده را بـا تردیـد مواجـه می‌سازد. با این حال، مشخصه این روش فراهم نمودن شرایط مصرف اختیاری غذا توسط مـاهی اسـت کـه ممکن است در آینده به نحو مطلوبی توسعه یابد.

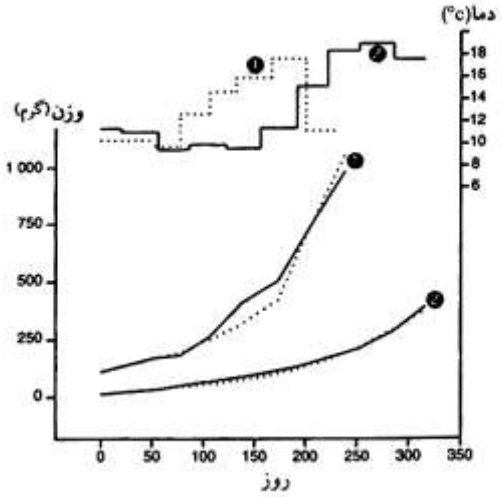
۵-۲۲ - خلاصه

پرورش دهندگان ماهی برخوردهای متفاوتی نسبت به روش های غذادهی دارند بطوریکه از روش های دستی با استفاده از نرخ های غذادهی تجربی گرفته تا روش های اتوماتیک با استفاده از برنامه ریزی های کامپیوتری را در سطح گسترده ای به کار می گیرند. اما تا به امروز، مدل های کمی برای ماشینی کردن غذادهی طراحی شده اند. محققان بیشتر به تعیین نیازها علاقه مندند تا تعیین روشی که در آن پرورش دهنده بتواند این نیازها را از طریق توزیع مناسب غذا برآورده سازد. استفاده از مایکروکامپیوترها به عنوان ابزاری قوی راههای زیادی را به منظور تلفیق پارامترهای موثر در احتیاجات غذایی آبزیان و تعیین جیره‌ای که باید دریافت کنند، پیش روی پرورش دهندگان باز می کند.

ضمیمه A

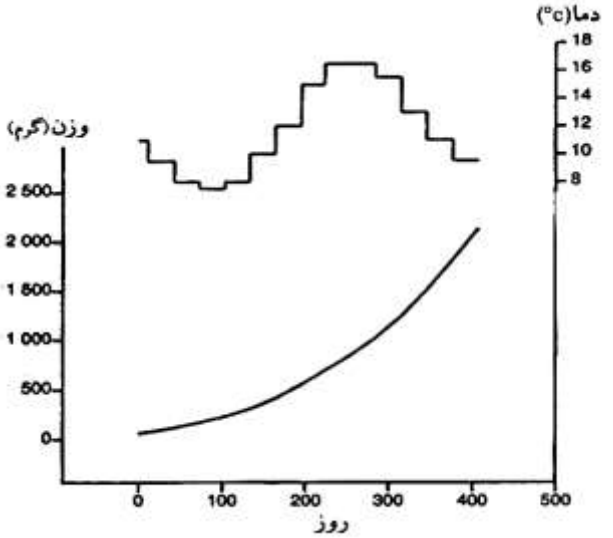
منحنی های تئوری رشد با استفاده از مدل Mueller-Feuga (فصل۲، کادرهای ۲-۱و۲-۲) در شکل های A-۱ تا ۸- A رسم شدند. مقادیر پارامترهای عملکردهای سوماتیک و دمایی در توضیحات و علائم ارائه شده در شکل ها بیان شده اند.

منحنی های رشد در اشکال ۹-A و ۱۰-A با استفاده از مدل بسیار ساده تر رسم شده اند، درحالیکه منحنی های شکل ۱۱-A مطابق با داده های واقعی و بدون هیچ گونه مدل سازی هستند.

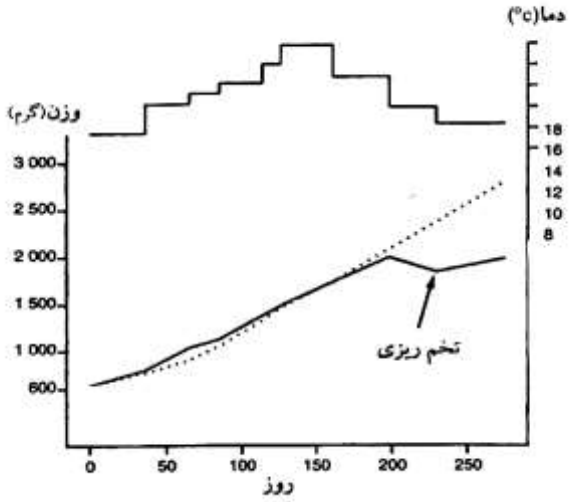


شکل ۱-A) منحنی رشد افزایش وزن بدن قزل آلای قهوه ای در آب شیرین. اثر دما(دوره گرمایی ۱و۲)، مقادیر مشاهده شده (ــ)، منحنی های مدل سازی شده (---)، ۰/۱۱۹= α، ۰/۱۴۰=β، ۲۴= θ_M و ۱=Γ (داده ها از SEMII[1])

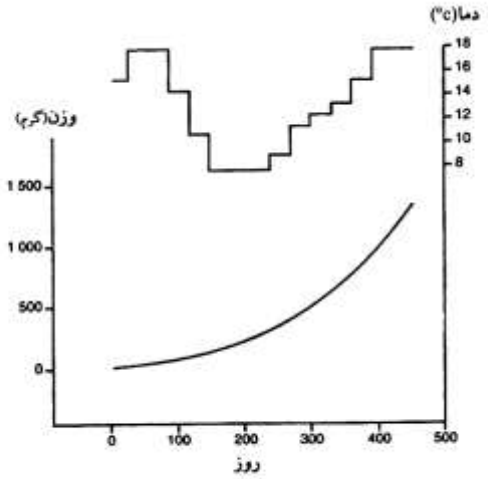
[1] Salmoniculture Experimental INRA-IFREMER,29450 Sizun



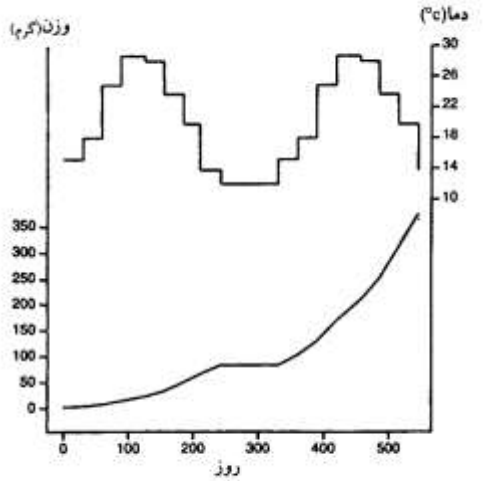
شکل ۲-A) افزایش وزن قزل آلای قهـوه ای (مرحلـه آب دریـا) بـرای رژیـم حرارتـی منظـور شـده α =۰/۱۲۸، β=۰/۱۵٦، θ_M =۲۰ و Γ=۱ **(داده ها از** SEMII)



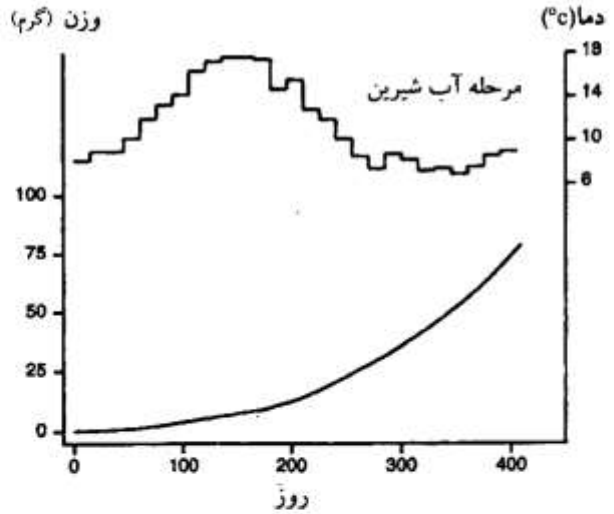
شکل ۳-A) اثر بلوغ جنسی بر افزایش وزن قزل آلای قهوه ای، مقیاس بندی مطابق با مدل محاسبه شده (خط نقطه چین) برای رژیم حرارتی منظور شده (داده ها از SEMII)

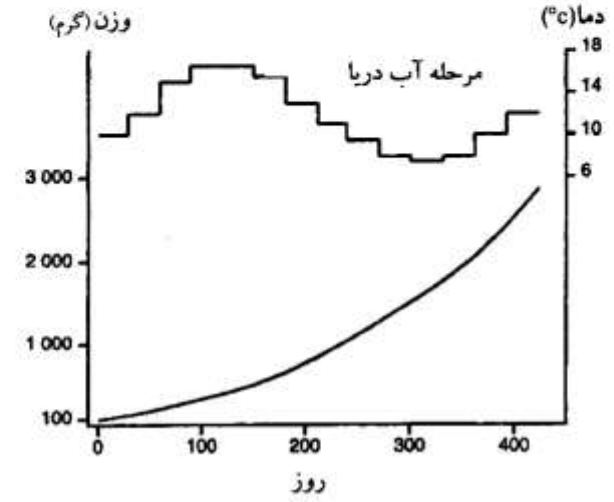


شکل ٤-A) افزایش وزن قزل آلا در دامنـه گرمـایی منظورشـده; ۰/۱۱۵ =α، ۰/۱۳۷ =β ، ۲۲ =θ_M و ۱ =Γ (داده ها از SEMII)

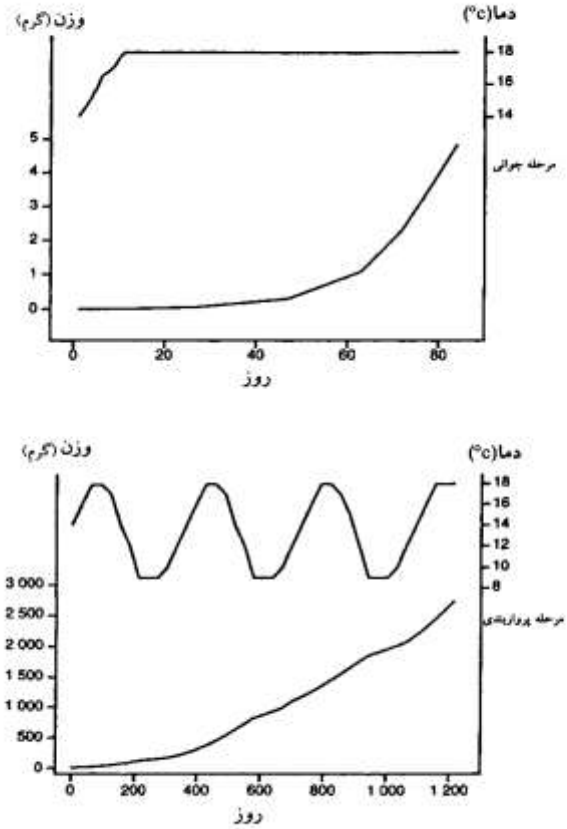


شکل ٥-A) افزایش وزن باس دریایی در مرحله رشد در رژیم هـای حرارتـی منظـور شـده; ۰/۱۲۳ =α، ۰/۱٤۰ =β، ۳۱/۵ =θ_M و ۱ =Γ (داده ها از IFREMER)



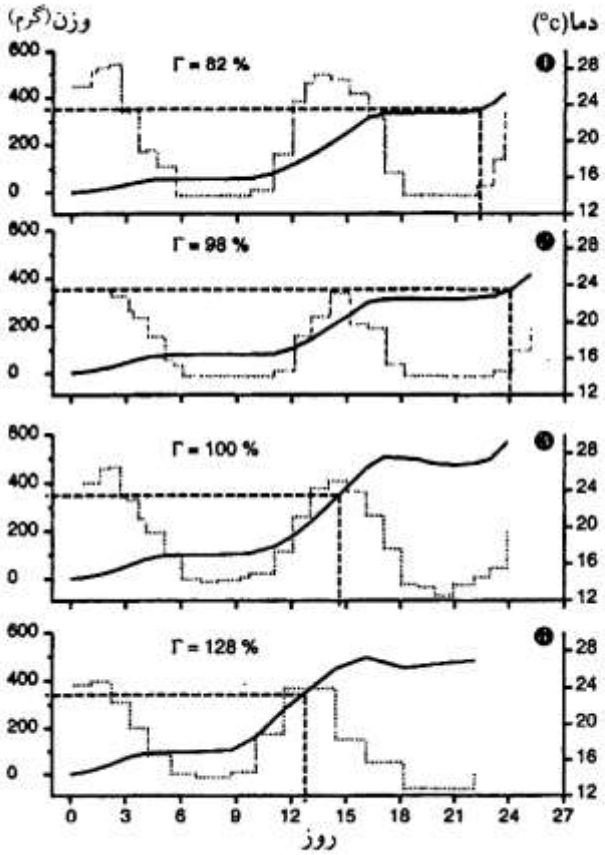


شکل ٦-A) افزایش وزن جمعیت نروژی آزاد ماهی اقیانوس اطلس در مراحل آب شیرین و آب شور در رژیمهای حرارتی منظور شده. بالا: مرحله آب شیرین: ۰/۱۲۹= α، ۰/۱۴۰= β، ۲۰= θ_M و ۱= Γ ; پایین: مرحله آب دریا: ۰/۱۲۸= α، ۰/۱۵۷= β، ۲۰= θ_M و ۱= Γ (داده ها از IFREMER و SEMII)



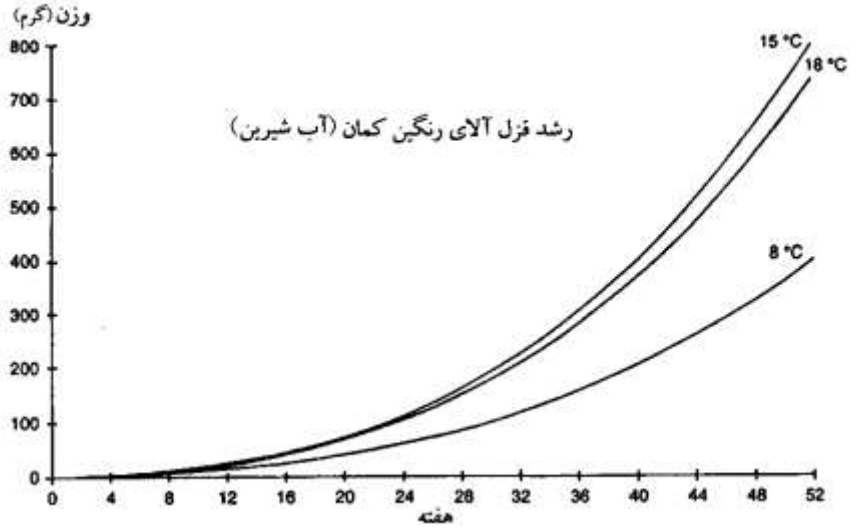
شکل ۷-A) افزایش وزن ماهی کفشک پرورشی در مرحله جوانی و پروار در رژیم های حرارتی منظـور شده. مقادیر پارامترها در جدول مشخص شده است (داده ها از IFREMER) :

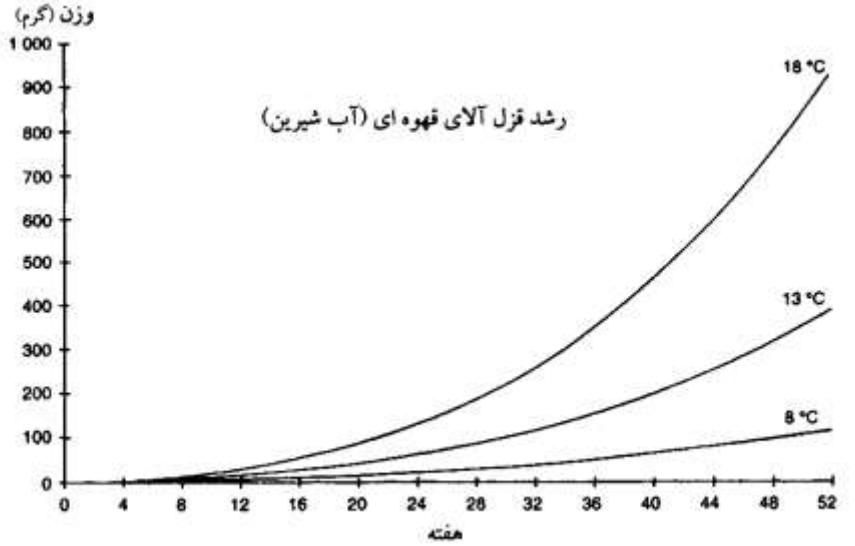
وزن	α	β	Θ_M
یک کیلوگرم >	۰/۱۲۳۵	۰/۱۴۰	۲۴/۸
یک کیلوگرم <	۰/۱۳۰۵	۰/۱۴۰	۲۴/۸



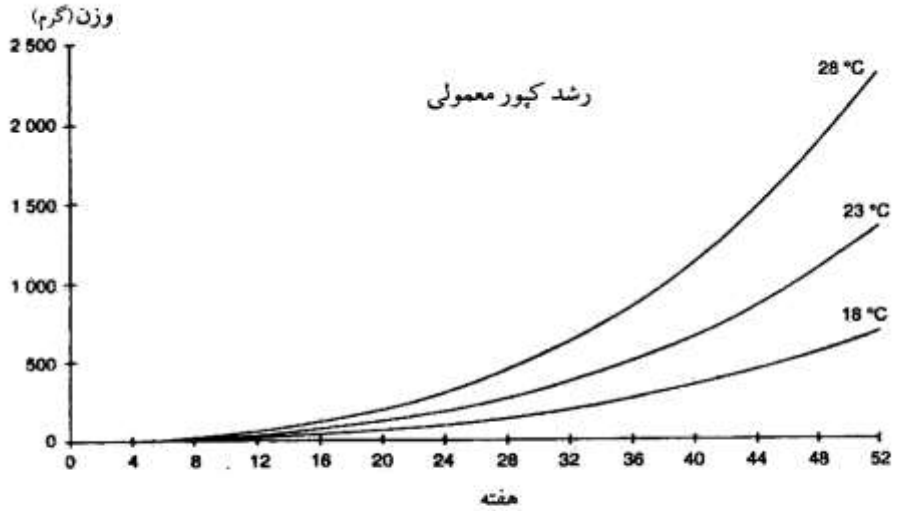
شکل ٨-A) افزایش رشد سیم دریایی سر طلایی تحت تاثیر عملکرد و نوع رژیم نوری. در هر مورد، ٠/٥= m ، ٠/١٣٦= α، ٠/١٩٦٥= β ، ٣١/٥= θ_M . شاخص Γ برای هر عملکرد و هر نوع مکان در جدول زیر مشخص شده است (داده ها از IFREMER):

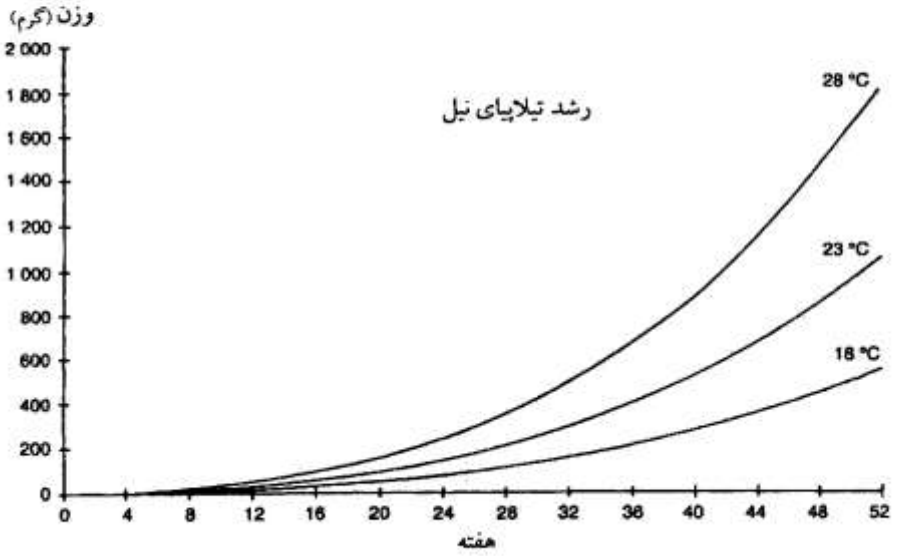
Γ	نوع مکان	عملکرد
٠/٨٢	بسته	١
٠/٩٨	بسته	٢
١	باز	٣
١/٢٨	باز	٤



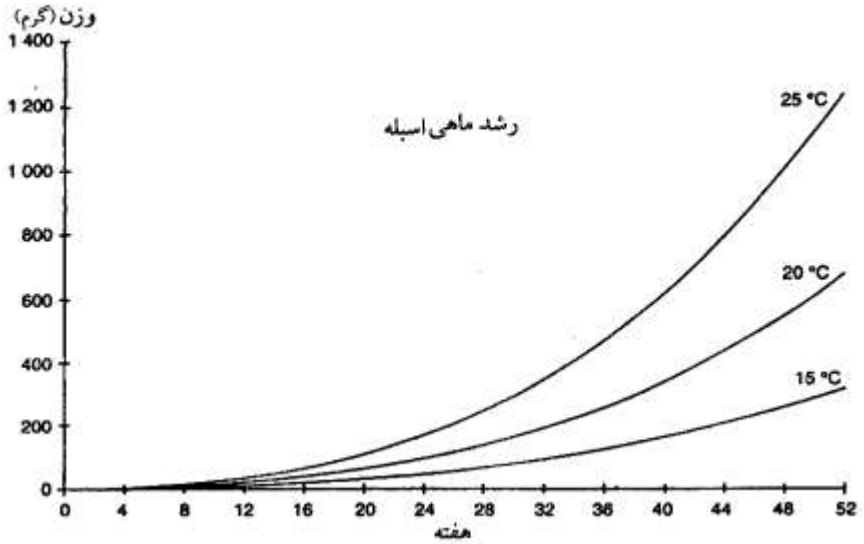


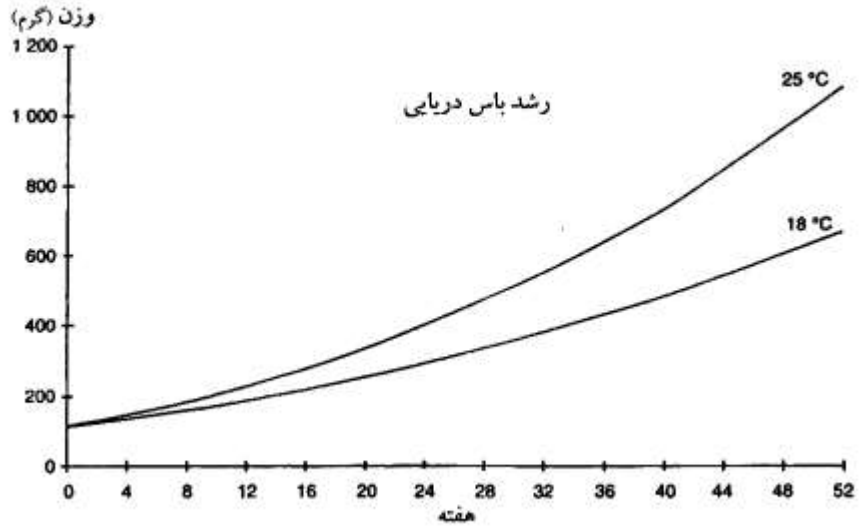
شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



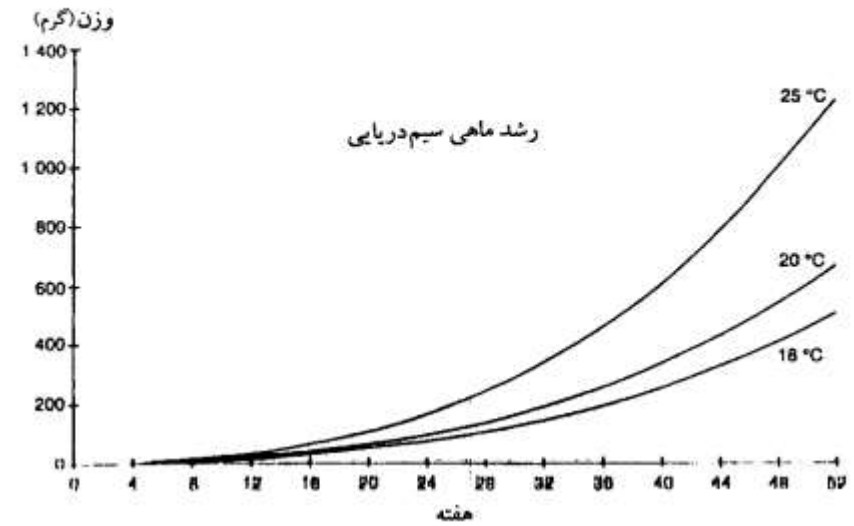


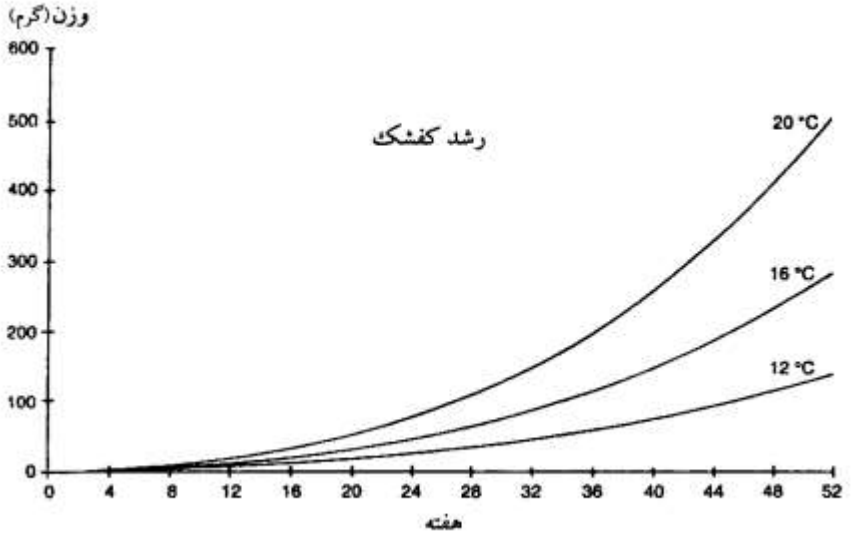
ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



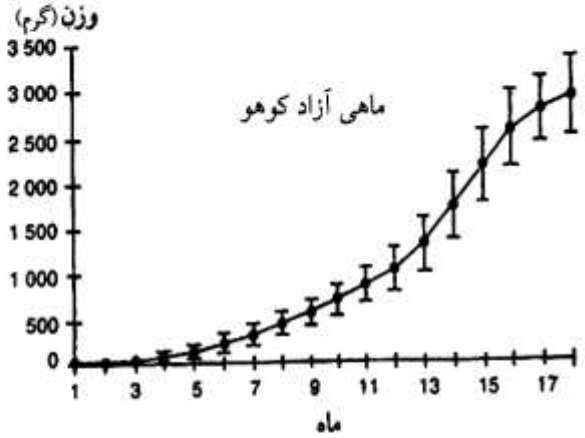


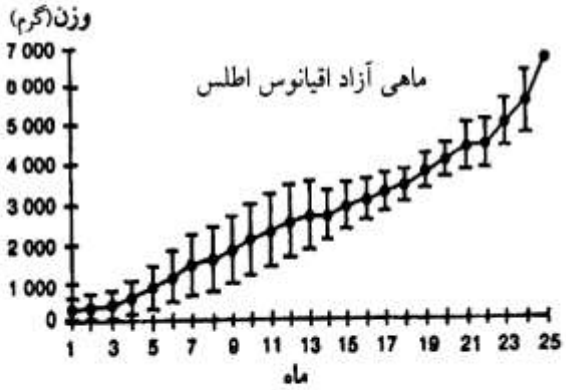
ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



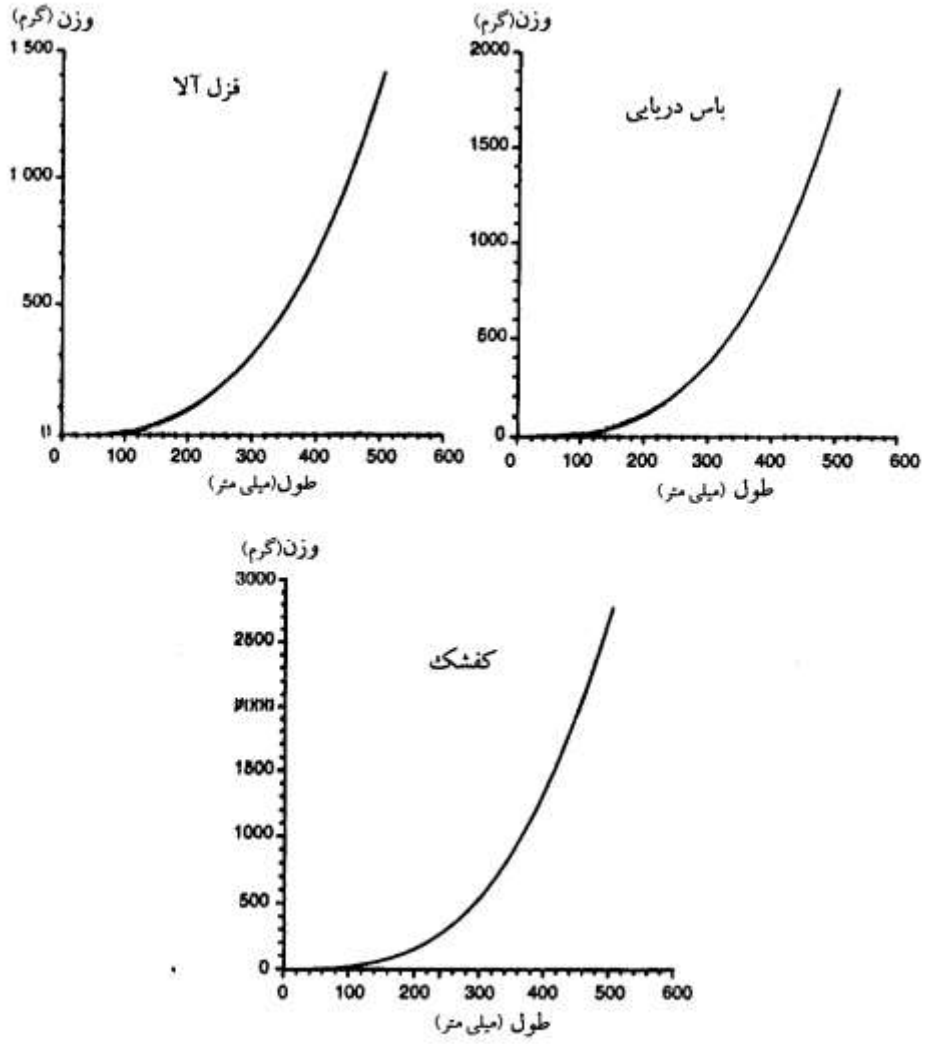


ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)





شکل ۱۰-A) منحنی های رشد واقعی (وزن) مشاهده شده در ماهی آزاد اقیانوس اطلس و ماهی آزاد کوهو تحت شرایط مطلوب



شکل ۱۱-A) ارتباط بین طول و وزن بدن در سه گونه ماهی

ضمیمه B

ترکیب و ارزش تغذیه ای مواد خام

جداول این ضمیمه ترکیب شیمیایی و سایر خصوصیات تغذیه ای (انرژی و پروتئین های قابل هضم، فسفر قابل دسترس) چند ماده غذایی اصلی مورد استفاده در غذای ماهی و سخت پوستان را ارائه می کنند.
این جداول به طور عمده از نتایج منتشر شده از تحقیقات توسط INRA ، تحت عنوان غذادهی حیوانات تک معده ای، خوک ها، خرگوش ها و ماکیان (INRA,1984) گرفته شده است، ضمن آنکه برخی از اجزاء اوایه سازنده غذا به این جداول اضافه شده اند. این مواد شامل فرآورده هایی هستند که به صورت تخصصی تر در غذادهی حیوانات آبزی مورد استفاده قرار می گیرند (برای مثال آرد میگو و اسکوئید).
سایر موارد اضافه شده اسیدهای چرب ضروری سری n-3 و n-6 هستند که در تغذیه آبزیان پرورشی بسیار مهم می باشند مثل کلسترول که یک ماده غذایی ضروری برای سخت پوستان محسوب می شود.
علائم اختصاری اقتباس شده شامل موارد ذیل است:

- اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند (HUFA) : اسیدهای چرب n-3 و n-6 با بیش از ۱۸ اتم کربن.
- اسیدهای چرب چند غیر اشباع (PUFA):اسیدهای چرب n-3 یا n-6 شامل ۱۸ اتم کربن

باید توجه داشت که بطور کلی PUFAs با ۱۸ اتم کربن، C18:3 , n-3 و C18:2 , n-6 صرفا می توانند نیازهای اسیدهای چرب ضروری ماهیان آب شیرین را تامین کنند(فصل ۷).

جدول B.1) ترکیبات شیمیایی برخی مواد اولیه غذایی (مقدار به درصد)

جدول شماره ۱

ویژگی های ماده غذایی	آرد ماهی			
	کم چرب ۷۲	کم چرب ۶۵	پرچرب ۷۲	پرچرب ۶۵
ماده خشک	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲
کربوهیدرات	–	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–	–
قندها	–	–	–	–
سلولز	–	–	–	–
ADF	–	–	–	.–
NDF	–	–	–	–
پروتئین های خام	۷۱/۳	٦٤/۹	۷۱/٦	٦٦/۲
لایزین	٥/٤۲	٥/۰٤	٥/٤۸	٥/۰۳
متیونین	۲/۰۷	۱/۸۱	۲/۰۸	۱/۹۲
متیونین-سیستئین	۲/۷۱	۲/۳۹	۲/۸۰	۲/٥۲
ترپتوفان	۰/۷٥	۰/٦٥	۰/۷۹	۰/۷۰
ترئونین	۳/۱۰	۲/۷۳	۳/۰٦	۲/۸۸
لوسین	٥/۲۰	٤/۸۱	٥/۲۰	٥/۱۰
ایزولوسین	۳/۳٥	۳/۰٤	۳/٤۲	۳/۱۱
والین	۳/۸۰	۳/٥٥	۳/۸۸	۳/٦۷
هیستیدین	۱/٦۳	۱/٥۸	۱/٦۱	۱/٥۲
آرژنین	٤/۰٦	۳/۷۱	۳/۹۲	۳/۷۷
فنیل آلانین+تیروزین	٥/۰۰	٤/۸۱	٤/۸٥	٤/۸۳
چربی ها	۱/۸۰	٥/٥	۹/٥	۹/٦
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۳۹	۱/۱۹	۲/۰٥	۱/٦
اسیدهای چرب تک اشباع	۱/۰۰	۳/۰۷	٥/۳۰	٤/۸۲
n-6 HUFA	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰٦	۰/۰٥
n-6 PUFA	۰/۰٤	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۷
n-3 HUFA	۰/۲٦	۰/۸۰	۱/۳۹	۱/۲۷
n-3 PUFA	۰/۲۸	۰/۸۷	۱/٥۰	۱/۳۷
کلسترول	–	–	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	۱٦/۸	۲۱/٤	۱۱/۰	۱٥/٦
کلسیم	٤/۲۰	٦/۳۰	۲/۷۰	۳/۹۰
فسفر کل	۲/۷٥	۳/٥۰	۱/۸۰	۲/٥٥
سدیم	۰/۹٥	۱/۰۰	۰/۷۷	۰/۹۰
پتاسیم	۰/۷٤	۰/۷۰	۰/۹۰	۰/۷٥
کلرین	۱/۲۰	۱/۳۰	۱/۰۰	۱/۱٥
منیزیم	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۰
انرژی خام				
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۳۰	٤/٦۰	٤/۹٤	٤/۷۸
MJ.kg $^{-1}$	۱۸/۰	۱۹/۳	۲۰/۷	۱۸/۷
انرژی قابل هضم				
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۷۷	۳/۷۳	٤/٤۱	٤/۱٤
MJ.kg $^{-1}$	۱٥/۸	۱٥/٦	۱۸/٥	۱۷/۳
پروتئین های قابل هضم	٦٤/۲	٥۸/۱	٦٤/٤	٥۹/٦
فسفر قابل دسترس	۲/۳٥	۳/۰۰	۱/٥۳	۲/۲۰

جدول شماره ۲

ویژگی های ماده غذایی	پروتئین تغلیظ شده قابل حل ماهی		
	آردماهیLT (با دمای پایین)	CPSP G	CPSP 90
ماده خشک	**۹۲**	۹۵	۹۵
کربوهیدرات	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	–	–	–
ADF	–	–	–
NDF	–	–	–
پروتئین های خام	**۷٤/۲**	**۷۰/۰**	**۸۳/۳**
لایزین	٦/۹٤	٤/٦۷	٥/٦۷
متیونین	۲/٤۳	۲/۰۸	۲/٤۸
متیونین-سیستئین	۲/۹۳	۲/۲۳	۳/۲٥
تریپتوفان	۰/۷٥	۰/٥۲	۰/٦۲
ترئونین	۲/٦٥	۲/٦٦	۳/۱٦
لوسین	٦/٦۸	٤/۱۸	٤/۹۸
ایزولوسین	٤/۰٤	۲/٥۲	۳/۰۰
والین	٤/۳۸	۳/۰۰	۳/٥٦
هیستیدین	۱/۷٤	۱/٤۱	۱/٦۸
آرژنین	٥/٥٥	٤/٥۲	٥/۳۸
فنیل آلانین+تیروزین	٥/۹٤	٤/٤۰	٥/۲٤
چربی ها	**۱۱/۰**	**۱۸-۲۰**	**۷/٥**
اسیدهای چرب اشباع شده	۲/۱٦	–	–
اسیدهای چرب تک اشباع	٥/۹٤	–	–
n-6 HUFA	۰/۰٦	–	–
n-6 PUFA	۰/۲۰	–	–
n-3 HUFA	۱/٤۷	–	–
n-3 PUFA	۱/٥۸	–	–
کلسترول	–	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	**۱۱/۷**	**٥/۳**	۷/۱
کلسیم	۳/۲۷	۰/٦۰	۰/٦۰
فسفر کل	۰/۷۰	۰/٦۰	۰/۸۰
سدیم	–	–	–
پتاسیم	–	–	–
کلرین	–	–	–
منیزیم	–	–	–
انرژی خام			
Mcal.kg $^{-1}$	٥/۲۳	٥/۹۰	٥/۳۸
MJ.kg $^{-1}$	۲۱/۹	۲٤/٦	۲۲/٥
انرژی قابل هضم			
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۷٦	٥/۲۳	٥/۱٦
MJ.kg $^{-1}$	۱۹/۹	۲٤/۰	۲۱/٦
پروتئین های قابل هضم	٦۷/۹	٦٥/٦	۷۹/۱
فسفر قابل دسترس	۰/٦۰	۰/٥۱	۰/٦۰

جدول شماره ۳

ویژگی های ماده غذایی	آرد اسکوئید	آرد میگو
ماده خشک	**۹۲/۰**	۸۸/۰
کربوهیدرات	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**۷۸/۰**	**۳۹/۵**
لایزین	٤/۸۵	۲/۱۷
متیونین	۲/۱٦	۰/۸۲
متیونین–سیستئین	۳/۱۷	۱/٤۱
تریپتوفان	–	۰/٤۲
تریونین	۳/۱۷	۱/٤۲
لوسین	۵/۱۰	۲/٦۰
ایزولوسین	۳/۰۰	۱/٤٦
والین	۲/۸۲	۱/۸۳
هیستیدین	۲/۱۲	۰/۹۰
آرژنین	۵/۲۰	۲/۳۵
فنیل آلانین+تیروزین	–	۱/۵۹
چربی ها	**٦/۰**	**۳/۲**
اسیدهای چرب اشباع شده	۱/۷۸	–
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۵٦	–
n-6 HUFA	۰/۰۳	–
n-6 PUFA	۰/۰٤	–
n-3 HUFA	۲/۷۲	–
n-3 PUFA	۲/۷۲	–
کلسترول	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	**۱۱/۰**	**۲۷/۲**
کلسیم	۰/۱۰	–
فسفر کل	۰/٦۰	–
سدیم	۱/۱۰	–
پتاسیم	–	–
کلرین	–	–
منیزیم	–	–
انرژی خام	٤/۷۰	
$Mcal.kg^{-1}$	۱۹/۸	۳/٦۰
$MJ.kg^{-1}$		۱۵/۰
انرژی قابل هضم	٤/۰	
$Mcal.kg^{-1}$	۱٦/۸	۳/۳۰
$MJ.kg^{-1}$		۱۳/۸
پروتئین های قابل هضم	۷۰/۰	۳٦/۳
فسفر قابل دسترس	–	–

جدول شماره ٤

ویژگی های ماده غذایی	آرد گوشت	
	۵۰	۶۰
ماده خشک	**۹۳/۰**	**۹۳/۰**
کربوهیدرات	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**۵۰/۰**	**٦۰/۰**
لایزین	۲/۸۰	۳/٤٦
متیونین	۰/۷۰	۰/۸۵
متیونین-سیستئین	۱/۲۰	۱/۳۹
تریپتوفان	۰/۲۸	۰/۳٦
ترئونین	۱/۷۹	۱/۱۵
لوسین	۳/۱۰	۳/۸۲
ایزولوسین	۱/٤۰	۱/۹٤
والین	۲/۳۰	۲/۸۰
هیستیدین	۰/۹۵	۱/۱۳
آرژنین	۳/٤۸	۳/۸۹
فنیل آلانین+تیروزین	۲/۷۵	۳/۳٦
چربی ها	**۵/۰**	**٤/۰**
اسیدهای چرب اشباع شده	۲/۳۸	۱/۹۰
اسیدهای چرب تک اشباع	۲/۰۱	۱/٦۱
n-6 HUFA	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز
n-6 PUFA	۰/۱٦	۰/۱۲
n-3 HUFA	–	–
n-3 PUFA	۰/۰۳	۰/۰۲٤
کلسترول	۰/۰۳۵	۰/۰۲۸
املاح معدنی (خاکستر)	**۳۲/٦**	**۲۲/۵**
کلسیم	۱۰/۲۰	۷/۰۵
فسفر کل	٤/۸۵	۳/۳۵
سدیم	۰/۷٦	۰/۵۲
پتاسیم	۰/۵٤	۰/۳۷
کلرین	۰/٦۵	۰/٤۵
منیزیم	۰/۷٦	۰/۵۲
انرژی خام	۳/۲۸	۳/۷۵
Mcal.kg $^{-1}$	۱۳/۷۰	۱۵/٦۹
MJ.kg $^{-1}$		
انرژی قابل هضم	۲/۸۱	۳/۲۱
Mcal.kg $^{-1}$	۱۱/۷	۱۳/٤
MJ.kg $^{-1}$		
پروتئین های قابل هضم	٤۲/۵	۵۱/۰
فسفر قابل دسترس	۳/۹۰	۲/۷۰

جدول شماره ٥

ویژگی های ماده غذایی	آرد بافت های پیوندی	آرد پر هیدرولیز شده	آرد خون
ماده خشک	**٩٣/٠**	**٩٣/٠**	**٩٣/٠**
کربوهیدرات	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	–	–	–
ADF	–	–	–
NDF	–	–	–
پروتئین های خام	**٦٧/٢**	**٨٥/٨**	**٨٤/٠**
لایزین	٣/٧٢	١/٨٤	٧/٦٢
متیونین	٠/٩٥	٠/٥٣	٠/٩٣
متیونین–سیستئین	١/٥٧	٤/٠٨	١/٦٨
تریپتوفان	٠/٣٨	٠/٤٣	١/٠٦
ترئونین	٢/٢٧	٣/٩١	٤/٠٠
لوسین	٤/٠٠	٧/١٤	١١/٥٨
ایزولوسین	١/٩٦	٣/٩٥	٠/٧٩
والین	٣/١٠	٦/٨٨	٧/٠٢
هیستیدین	١/١٢	٠/٥٨	٥/١٨
آرژنین	٤/٤٢	٥/٦٦	٣/٦٣
فنیل آلانین+تیروزین	٣/٧٤	٧/٠١	٦/٩٧
چربی ها	**١٠/١**	**٣/٥**	**١/١**
اسیدهای چرب اشباع شده	٤/٨٠	٠/٩٣	–
اسیدهای چرب تک اشباع	٤/٠٦	١/٥١	–
n-6 HUFA	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز	–
n-6 PUFA	٠/٣١	٠/٦٨	–
n-3 HUFA	–	–	–
n-3 PUFA	٠/٠٦	٠/٠٤	–
کلسترول	٠/٠٧	٠/٠١	–
املاح معدنی (خاکستر)	**١٥/٠**	**٣/٢**	**٤/٥**
کلسیم	٤/١٠	٠/٢٠	٠/٣٠
فسفر کل	٢/١٠	٠/٧٠	٠.٢٥
سدیم	١/٠٠	–	٠/٣٢
پتاسیم	٠/٤٠	٠/٢٤	٠/١٠
کلرین	–	–	٠/٤٠
منیزیم	٠/١٢	٠/١٨	٠/٢٢
انرژی خام			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/٧١	٥/١٦	٤/٨٥
$MJ.kg^{-1}$	١٩/٦٩	٢١/٦٠	٢٠/٢٧
انرژی قابل هضم			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/٠٨	٤/٥٠	٤/٣١
$MJ.kg^{-1}$	١٧/١	١٨/٨	١٨/١
پروتئین های قابل هضم	٥٧/٨	٧٤/٦	٧٤/٨
فسفر قابل دسترس	١/٨٠	٠/٦٠	٠/٢٢

جدول شماره ٦

ویژگی های ماده غذایی	لاکتروسرم	کازئین لاکتیک
ماده خشک	**٩٥/٠**	**٩١/٠**
کربوهیدرات	٧١/٦	٤/٨
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	٦٦/٥	–
سلولز	–	–
ADF	-.	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**١٣/٣**	**٨٢/٠**
لایزین	١/١٢	٦/٧٢
متیونین	٠/٢٢	٢/٢٩
متیونین-سیستئین	٠/٥٠	٢/٥٧
تریپتوفان	٠/١٥	١/٣٩
ترئونین	٠/٧٢	٤/٠٢
لوسین	١/١٤	٧/٥٤
ایزولوسین	٠/٧٢	٥/٠٠
والین	٠/٦٧	٥/٩١
هیستیدین	٠/٢٤	٢/٥٤
آرژنین	٠/٣٣	٣/٣٦
فنیل آلانین+تیروزین	٠/٧٧	٩/٢٦
چربی ها	**١/٣**	**١/٥**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	٠/٨١
اسیدهای چرب تک اشباع	–	٠/٣٧
n-6 HUFA	–	مقدار ناچیز
n-6 PUFA	–	٠/٠٣
n-3 HUFA	–	٠/٠٠
n-3 PUFA	–	٠/٠٠
کلسترول	–	٠/٠١
املاح معدنی (خاکستر)	**٨/٨**	**٢/٧**
کلسیم	٠/٩٤	٠/١٢
فسفر کل	٠/٧٠	٠/٤١
سدیم	٠/٨٠	٠/٠٠٤
پتاسیم	٢/٢٣	٠/٠٠٦
کلرین	١/٢٠	٠/٠٤
منیزیم	٠/١٢	٠/٠٠٢
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٧٢	٥/٠١
MJ.kg $^{-1}$	١٥/٥٨	٢٠/٩٥
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٢٠	٤/٧٨
MJ.kg $^{-1}$	١٣/٤٠	٢٠/٠
پروتئین های قابل هضم	١١/٥	٧٨/٧
فسفر قابل دسترس	–	–

جدول شماره ۷

ویژگی های ماده غذایی	کنجاله سویا		کنجاله کلزا (نوع دو صفر)
	۴۴	۵۰	
ماده خشک	۸۸/۰	۸۸/۰	۸۹/۰
کربوهیدرات	۳۰/۳	۲۸/۵	۳۳/۳
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۳/۳	۳/۱	۵/۲
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	۱۰/۰	۸/۷	۸/۳
سلولز	۷/٤	۳/٤	۱۱/۷
ADF	۹/٦	۵/۳	۱۸/۵
NDF	۱۳/۵	۷/۵	۲۵/۵
پروتئین های خام	٤۲/۵	٤۸/۰	**۳۸/۷**
لایزین	۲/۷۰	۳/۰۵	۱/۹۷
متیونین	۰/۵۹	۰/٦٦	۰/۷٦
متیونین–سیستئین	۱/۲۷	۱/٤۳	۱/۷۳
تریپتوفان	۰/۵۷	۰/٦۵	۰/٤۳
ترئونین	۱/٦۷	۱/۸۸	۱/۵۷
لوسین	۳/۲٦	۳/٦۸	۲/٤۳
ایزولوسین	۲/۱٤	۲/٤۲	۱/٤٤
والین	۲/۱۸	۲/٤٦	۱/۸٤
هیستیدین	۱/۰۵	۱/۱۹	۰/۹۲
آرژنین	۳/۱۸	۳/۵۹	۲/۱۹
فنیل آلانین+تیروزین	۳/٦۵	٤/۱۲	۲/٤۵
چربی ها	**۱/۸**	**۱/۹**	**۱/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۲۳	۰/۲٤	۰/۱۱
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۹٤
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۳٤
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱٤
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**٦/۰**	**٦/۲**	**۷/۰**
کلسیم	۰/۳۰.	۰/۲۷	۰/۷۵
فسفر کل	۰/٦۲	۰/٦۹	۱/۱۰
سدیم	۰/۰۱	۱/۰۱	۰/۰۷
پتاسیم	۱/۷۰	۲/۲۰	۱/۲۵
کلرین	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز	–
منیزیم	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/٤۵
انرژی خام			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/۱۵	٤/۲۰	٤/۱۱
$MJ.kg^{-1}$	۱۷/۳٦	۱۷/۵۷	۱۷/۱۸
انرژی قابل هضم			
$Mcal.kg^{-1}$	۳/۱۱	۳/۲۳	
$MJ.kg^{-1}$	۱۳/۰	۱۳/۵	۳/٤۰
پروتئین های قابل هضم	۳٤/۱	٤۱/۱	۱٤/۲
فسفر قابل دسترس	۰/۱۰	۰/۱۰	۳٦/۰
			۰/۲۲

جدول شماره ۸

ویژگی های ماده غذایی	کنجاله نارگیل	کنجاله پنبه
ماده خشک	۹۰/۰	۹۱/۰
کربوهیدرات	٤۳/۹	۲۹/۱
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	۹/۰	–
سلولز	١٦/۰	۱۳/۰
ADF	۳۰/۰	۲۱/۱
NDF	٥٤/۰	۲۹/۸
پروتئین های خام	**۲۱/٥**	**٤۱/۰**
لایزین	۰/٦٦	۱/۷۲
متیونین	۰/۳۲	۰/٥۹
متیونین–سیستئین	۰/٦۳	۱/۲٤
تریپتوفان	۰/۱٥	۰/٤۹
تریونین	۰/٦۷	۱/۳۹
لوسین	۱/۳۳	۲/٤٤
ایزولوسین	۰/۷٦	۱/۳۹
والین	۱/۱۸	۱/۹۷
هیستیدین	۰/٤۷	۱/۱۱
آرژنین	۲/٦۲	٤/۳۳
فنیل آلانین+تیروزین	۱/٥۰	۳/۳۰
چربی ها	**۱/٦**	**۱/٤۰**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۹۹	۰/۳٦
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۹۹	۰/۲٥
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۰/۰۳	۰/۷۲
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	–	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۷/۰**	**٦/٥**
کلسیم	۰/۱۸	۰/۲۰
فسفر کل	۰/٦۰	۱/۰۰
سدیم	۰/۰٤	۰/۰٥
پتاسیم	۱/۲۰	۱/۲٥
کلرین	۰/۱۰	۰/۰٤
منیزیم	۰/۳۰	۰/٥۰
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۸٥	٤/۲۸
MJ.kg $^{-1}$	۱٦/۱۱	۱۷/۹۱
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	–	۲/۱٦
MJ.kg $^{-1}$	–	۹/۱
پروتئین های قابل هضم	۱۸/٥	۳۲/۸
فسفر قابل دسترس	۰/۰۹	۰/۱۰

جدول شماره ۹

ویژگی های ماده غذایی	گلوتن گندم	گلوتن ذرت
ماده خشک	**۹٤/۰**	**۹۰/۰**
کربوهیدرات	–	۳۷/۷
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۱۰	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	٤/۰
ADF	–	۵/۰
NDF	–	۱٤/٤
پروتئین های خام	**۷۹/۰**	**٦۰/۰**
لایزین	۱/٤٤	۰/۷۷
متیونین	۱/۲۱	۱/۰۲
متیونین-سیستئین	۲/٦۵	۱/٦۵
تریپتوفان	۰/۷٦	۰/۲۱
تریونین	۲/۰۵	۱/٤۸
لوسین	۵/۳۹	۷/۲۰
ایزولوسین	۲/۸۱	۲/۱۲
والین	۳/۱۹	۲/۲۲
هیستیدین	۱/۵۹	۱/۰۱
آرژنین	۲/۸۱	۱/٤۱
فنیل آلانین+تیروزین	٦/۲۲	٤/٦۹
چربی ها	**۵/۰**	**۲/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۹۵	۰/۳۱
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/٤۸	۰/٦۲
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۲/۷٤	۱/٤۱
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۱٦	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۱/۰**	**۲/۸**
کلسیم	–	۰/۱۵
فسفر کل	–	۰/٤۳
سدیم	–	۰/۰۰۸
پتاسیم	–	۰/۰۳
کلرین	–	۰/۱۰
منیزیم	–	۰/۰۸
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	۵/۳۳	٤/۵٤
MJ.kg $^{-1}$	۲۲/۳۲	۱۹/۰۰
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۷۳	٤/۲۱
MJ.kg $^{-1}$	۱۹/۸	۱۷/٦
پروتئین های قابل هضم	۷۵/۱	۵۷/٦
فسفر قابل دسترس	–	۰/۱۳

جدول شماره ۱۰

ویژگی های ماده غذایی	لوپن سفید پوسته دار اکسترود شده	نخود پوسته دار اکسترود شده
ماده خشک	**۸۷/۰**	**۸۶/۰**
کربوهیدرات	۲۷/۶	۵۲/۷
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	۴۲/۴
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	۰/۳	–
قندها	–	۲/۱
سلولز	–	۶/۳
ADF	–	۸/۷
NDF	–	۱۲/۰
پروتئین های خام	**۴۷/۱**	**۲۲/۰**
لایزین	۱/۶۸	۱/۶۰
متیونین	۰/۲۸	۰/۲۵
متیونین–سیستئین	۰/۸۰	۰/۵۹
تریپتوفان	۰/۲۸	۰/۲۰
تریونین	۱/۲۹	۰/۸۷
لوسین	۲/۵۰	۱/۵۳
ایزولوسین	۱/۵۷	۰/۹۷
والین	۱/۵۰	۱/۰۱
هیستیدین	۰/۸۲	۰/۵۲
آرژنین	۳/۷۵	۲/۱۲
فنیل آلانین+تیروزین	۳/۰۰	۱/۷۳
چربی ها	**۹/۶**	**۱/۶**
اسیدهای چرب اشباع شده	۱/۱۹	–
اسیدهای چرب تک اشباع	۴/۹۶	–
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۱/۱۲	–
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۴۴	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۳/۴**	**۳/۴**
کلسیم	۰/۱۸	۰/۰۸
فسفر کل	۰/۴۰	۰/۴۰
سدیم	۱/۰۱	۰/۰۱
پتاسیم	۰/۹۰	۱/۱۰
کلرین	۰/۰۲	۰/۰۳
منیزیم	۰/۱۵	۰/۱۲
انرژی خام	۴/۳۵	۳/۵۷
$Mcal.kg^{-1}$	۱۸/۲	۱۴/۹
$MJ.kg^{-1}$		
انرژی قابل هضم	۳/۱۴	۳/۱۸
$Mcal.kg^{-1}$	۱۳/۱۴	۱۳/۳
$MJ.kg^{-1}$		
پروتئین های قابل هضم	**۵۴/۹**	**۲۱/۲**
فسفر قابل دسترس	**۰/۰۸**	**۰/۱۵**

جدول شماره ١١

ویژگی های ماده غذایی	گندم تازه	ذرت
ماده خشک	٨٦/٠	٨٦/٠
کربوهیدرات	٦٨/٨	٩٦/٠
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	٥٦/٠	٦٠/٥
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	٢/١
سلولز	٢/٣	٢/٢
ADF	٣/٣	٣/٠
NDF	١٠/٥	٩/٠
پروتئین های خام	**١١/٣**	**٩/٠**
لایزین	٠/٣٢	٠/٢٥
متیونین	٠/١٩	٠/١٩
متیونین–سیستئین	٠/٣٧	٠/٣٩
تریپتوفان	٠/٢	٠/٠٦
تریونین	٠/٥	٠/٣٢
لوسین	٠/٨	١/١٣
ایزولوسین	٠/٤	٠/٣٥
والین	٠/٥	٠/٤٦
هیستیدین	٠/٢٤	٠/٢٦
آرژنین	٠/٤٩	٠/٤٣
فنیل آلانین+تیروزین	٠/٨٢	٠/٨٥
چربی ها	**١/٩**	**٤/٢٠**
اسیدهای چرب اشباع شده	٠/٢٥	٠/٤٦
اسیدهای چرب تک اشباع	٠/٢٦	٠/٩٨
n-6 HUFA	٠/٠٠	٠/٠٠
n-6 PUFA	٠/٧٧	٢/١١
n-3 HUFA	٠/٠٠	٠/٠٠
n-3 PUFA	٠/١٢	–
کلسترول	٠/٠٠	٠/٠٠
املاح معدنی (خاکستر)	**١/٧**	**١/٦**
کلسیم	٠/٠٦	١/٠١
فسفر کل	٠/٣٣	٠/٢٧
سدیم	٠/٠٥	٠/٠١
پتاسیم	٠/٠٤٠	٠/٣٣
کلرین	٠/٠٦	٠/٠٥
منیزیم	٠/١٢	٠/١١
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٧٨	٣/٨٦
MJ.kg $^{-1}$	١٥/٨٣	١٦/١٣
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٠٣	٣/٥٩
MJ.kg $^{-1}$	١٢/٧	١٥/٠
پروتئین های قابل هضم	١٠/٣	٧/٨
فسفر قابل دسترس	٠/١٨	٠/٠٥

	سبوس گندم	سبوس برنج	گندم دوبار آسیاب شده
ماده خشک	۸۸/۰	**۹۰/۰**	۸۸/۰
کربوهیدرات	۵۳/۰	۴۱/۰	۵۴/۶
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۵۳/۰	۴۱/۰	۵۴/۶
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	۱۹/۰	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	۱۰/۰	۱۱/۶	۸/۲
ADF	۱۲/۱	–	۹/۹
NDF	۳۶/۹	–	۳۲/۸
پروتئین های خام	**۱۵/۶**	**۱۲/۸**	**۱۶/۴**
لایزین	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۷۴
متیونین	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۴
متیونین–سیستئین	۰/۶۲	۰/۴۲	۰/۵۶
تریپتوفان	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۰
تریونین	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۵۲
لوسین	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۰۶
ایزولوسین	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۶
والین	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۷
هیستیدین	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۳۹
آرژنین	۱/۰۴	۰/۹۷	۱/۰۳
فنیل آلانین+تیروزین	۱/۱۰	۱/۱۹	۱/۰۸
چربی ها	**۶/۵**	**۱۳/۸**	**۴/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	۰/۸۱	–
اسیدهای چرب تک اشباع	–	۶/۰۰	–
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	–	۵/۵۰	–
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	–	۰/۱۱	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	۴/۴	**۱۰/۷**	۴/۰
کلسیم	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۳
فسفر کل	۰/۹۳	۱/۴۰	۰/۹۰
سدیم	–	۰/۰۵	–
پتاسیم	۱/۰۰	۱/۵۰	–
کلرین	۰/۰۶	۰/۰۶	–
منیزیم	۰/۳۵	۰/۸۵	–
انرژی خام			
Mcal.kg $^{-1}$	۴/۰۰	۱/۹۷	۴/۲
MJ.kg $^{-1}$	۱۶/۷	۸/۲	۱۷/۶
انرژی قابل هضم			
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۷	–	۳/۸
MJ.kg $^{-1}$	۱۵/۵	۵/۷	۱۵/۹
پروتئین های قابل هضم	۱۳/۹	۱۱/۹	۱۳/۹
فسفر قابل دسترس	–	۰/۱۴	۰/۱

جدول شماره ۱۲

	مخمر آبجو	مخمر لاکتیک
ماده خشک	**٩٣/٠**	**٩٥/٠**
کربوهیدرات	**٣٢/٧**	**٣٠/٣**
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	٤/٩	٠/٥
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	٦/٩	–
سلولز	٢/٨	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**٤٨/٤**	**٥٠/٧**
لایزین	٣/٣٨	٣/٧٠
متیونین	٠/٦٧	٠/٦٦
متیونین-سیستئین	١/١٩	١/١٦
تریپتوفان	٠/٥٥	٠/٥٥
تریونین	٢/٢١	٢/٩٩
لوسین	٣/١١	٣/٨٠
ایزولوسین	٢/١٥	٢/٢٨
والین	٢/٤٨	٢/٦٨
هیستیدین	١/١٢	٠/٩٦
آرژنین	٢/٢٧	٢/٤٣
فنیل آلانین+تیروزین	٣/٣٦	٣/٧٤
چربی ها	**١/٨**	**٦/٢**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	٢/١٣
اسیدهای چرب تک اشباع	–	٤/٤٠
n-6 HUFA	–	٠/٠٠
n-6 PUFA	–	١/٤٠
n-3 HUFA	–	٠/٠٠
n-3 PUFA	–	–
کلسترول	٠/٠٠	٠/٠٠
املاح معدنی (خاکستر)	**٧/٣**	**٧/٨**
کلسیم	٠/١٤	٠/٢٣
فسفر کل	١/٤٠	١/٨٠
سدیم	٠/٠٧	٠/١٢
پتاسیم	١/٧٠	٢/٢٠
کلرین	٠/١٥	٠/٢٢
منیزیم	٠/٢٠	٠/١٤
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٤/٣٠	–
MJ.kg $^{-1}$	١٨/٠٠	–
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٣٢	٣/٣٩
MJ.kg $^{-1}$	١٣/٩	١٤/٢
پروتئین های قابل هضم	**٤٠/٤**	**٤٤/٨**
فسفر قابل دسترس	**٠/٩١**	**١/٢٠**

جدول شماره ١٣

جدول B.۲) محدوده ترکیب شیمیایی آردهای ماهی، برحسب ماده خشک (Anderson *et al*.,1993)[1].

ترکیب شیمیایی	محدوده
پروتئین خام (درصد)	۷۷/۸–۸۳/۷
چربی های خام (درصد)	۹/٤–۱۵/۰
مینرال ها (درصد)	۱۱/۰–۱٤/٦
انرژی خام ($kJ.\ g^{-1}$)	۲۱/٤–۲۲/۹
کلسیم (درصد)	۲/۱٦–۳/۹٤
فسفر (درصد)	۱/٦۹–۲/٤٤
منیزیم (درصد)	۰/۲۰–۰/۳۰
منیزیم (درصد)	۰/٤۳–۱/۰۵
مس (میلی گرم در لیتر)	۳/۲۰–٦/۵۰
آهن (میلی گرم در لیتر)	۷٦–۲۲۰
منگنز (میلی گرم در لیتر)	۷–۱٦
روی (میلی گرم در لیتر)	۷۸–۱۲۰
لایزین قابل دسترس	۷/۱۳–۹/۰۰
نیتروژن فرار (mg%)	٤٦–۱۵٦
گروههای سولفیدریل (SH) ($mM.16gN^{-1}$)	۰/٤۸–٤/۱۹
بیوسولفات ها ($mM.16gN^{-1}$)	۰/٦۵–۳/۳٤
سولفیدایل ($mM.16gN^{-1}$)	۱/۸٦–۵/٦۲
سیستئین ($mM.16gN^{-1}$)	۱/۹۸–۵/۹۸

[1] Anderson, J.S.,Anderson, D.M. and Mivray, M.A. (1999) Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. Aquaculture, 115, 305-325.

جدول B.۳) قابلیت دسترسی فسفر(درصد) از منابع مختلف در کپور، قزل آلا وگربه ماهی(NRC,1983, McVey,1991)[1].

منبع	کپور معمولی	گربه ماهی	قزل آلا
نمک های غیرآلی			
مونوسدیم فسفات	٩٤	٩٠	٩٨
مونوپتاسیم فسفات	٩٤	–	٩٨
فسفات های کلسیم			
مونو کلسیم	٩٤	٩٤	٩٤
بی کلسیم	٤٦	٦٥	٧١
تری کلسیم	١٣	–	٦٤
مواد خام			
آردهای ماهی	١٨–٢٤	٣٩–٤٠	٦٦–٧٤
کازئین	٩٧	٩٠	٩٠
مخمر آبجو	٩٣	–	٩١
گندم	٥٧	–	٥٨
ذرت	–	٢٥	–
آرد سویا	–	٢٩–٥٤	–
فیتات ها	٨–٣٨	–	١٩

ضمیمه C

[1] NRC (National Research Council) (1983) Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. In: Nutrient requirements of domestic animals VIII. National Academy Press, Washington D.C.

احتیاجات تغذیه ای، انواع فرمول های غذایی، جداول غذادهی و سایر اطلاعات

جدول C.۱) سطح بهینه پروتئین برای برخی ماهی ها

سطح بهینه (درصد از ماده خشک)	گونه ها
٤٥	ماهی آزاد اقیانوس اطلس
٤٠	ماهی آزاد چینوک
٤٠	ماهی آزاد کوهو
٤٥	ماهی آزاد سوکای
٤٠	قزل آلای رنگین کمان
٣٢-٣٦	گربه ماهی کانالی
٣١-٣٨	کپور معمولی
٤١-٤٣	کپور علفخوار
٤٤	مارماهی ژاپنی
٤٠	ماهیهای خاویاری
٣٠	تیلاپای نیل
٤٠	تیلاپای موزامبیک
٣٥	تیلاپیای زیلی
٣٤	تیلاپای آبی
٤٠	خامه ماهی
٥٠	ماهی پهن
٥٠	ماهی بادکنکی ژاپنی
٤٥-٥٠	باس دریایی
٥٥	کفشک
٤٠-٥٠	گروپر
٤٠	سیم دریایی سرطلایی
٤٥-٥٥	سیم دریایی ژاپنی
٤٥	باس دهان کوچک
٤٠	باس دهان بزرگ
٤٧	باس مخطط
٥٥	ماهی دم زرد

جدول C.۲) مقدار نیاز آمینواسیدهای ضروری تعدادی از ماهیان استخوانی (درصد از پروتئین خام مورد نیاز)

باس	باس	سیم	خامه	مار	تیلاپیا	کپور	گربه	آزاد	اسید آمینه

	ماهیان	ماهی	ماهیان	ماهیان	ماهیان	ماهی	دریایی	دریایی	دریایی حاره ای
آرژنین	٤/٤	٤/٣	٤/٤	٤/١	٤/٥	٥/٦	<٠/٦	٤/١	٣/٦
هیستیدین	١/٦	١/٥	٢/٤	١/٧	٢/١	٢//٠	–	–	–
ایزولوسین	٢/٠	٢/٦	٣/٠	٣/١	٤/٠	٤/٠	–	–	–
لوسین	٣/٦	٣/٥	٤/٧	٣/٤	٥/٣	٥/١	–	–	–
لایزین	٤/٨	٥/٠	٦/٠	٤/٦	٥/٣	٤/٠	٥/٠	٤/٨	٤/٥
متیونین+هیستیدین	٣/٣	٣/٢	٣/٥	٣/٢	٣/٢	٤/٨	٤/٠	٤/٤	٣/٤
فنیل آلانین+تیروزین	٥/٣	٤/٨	٨/٢	٣/٦	٥/٨	٥/٢	–	–	–
ترئونین	٢/٠	٢/١	٤/٢	٣/٨	٤/٠	٤/٩	–	–	–
تریپتوفان	٠/٦	٠/٥	٠/٨	١/٠	١/١	٠/٦	٠/٦	–	٠/٥
والین	٥/٣	٤/٨	٨/٢	٥/٦	٥/٨	٥/٢	–	–	–

توجه: این مقادیر که به صورت درصد از پروتئین خام بیان شده، در مورد سطوح پروتئین تایید شده و مورد استفاده توسط محققان معتبر است. در حالیکه ممکن است سطوحی بالاتر یا پایین تر از مقادیر ذکر شده در جدول مورد استفاده قرار گیرند.

جدول٣.C) نیاز اسیدهای چرب ضروری تعدادی از ماهیان استخوانی

گونه ها	اسیدهای چرب ضروری	نیاز(درصد جیره)
قزل آلا	n–٣ ٣: ١٨	٠/٨–١/٧
ماهی آزاد چام	n–٦ ٤: ٢٠ یا n–٦ ٢: ١٨	١
(آب شیرین یا شور)	n–٣ ٣: ١٨	١
ماهی آزاد کوهو	n–٣ ٣: ١٨	١/٠–٢/٥
کپور معمولی	n–٦ ٢: ١٨	١
	n–٣ ٣: ١٨	١
مارماهی	n–٦ ٢: ١٨	٠/٥
	n–٣ ٣: ١٨	٠/٥
تیلاپیای زیلی	n–٦ ٤: ٢٠ با n–٦ ٢: ١٨	١
تیلاپیای نیل	n–٦ ٢: ١٨	٠/٥
گربه ماهی	یا n–٣ ٣: ١٨	١/٠–٢/٠
	AGPI n–٣	٠/٥–٠/٧٥
ماهی آیو	n–٣ ٥: ٢٠ یا n–٣ ٣: ١٨	١
ماهی دم زرد	n–٣ ٦: ٢٢ یا n–٣ ٥:٢٠	٠/٥
کفشک	AGLPI n –٣	٠/٨
سیم دریایی قرمز	AGLPI n –٣	٠/٤
سوف مخطط	AGLPI n –٣	١/٧

جدول ٤.C) نیازهای ویتامینی قزل آلا و کپور معمولی (واحد بین المللی یا میلی گرم بر کیلوگرم غذا)

ویتامین	قزل آلا	کپور معمولی
ویتامین A (IU)	۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
ویتامین D (IU)	۲۴۰۰	-
ویتامین E	۵۰	۸۰-۳۰۰
ویتامین K	۱۰	-
تیامین (B_1)	۱/۵	۲-۳
ریبوفلاوین (B_2)	۴	۴-۵
پیرودوکسین (B_6)	۳	۴-۱۰
اسید پنتوتنیک	۱۲	۲۵-۴۰
نیاسین (PP)	۱۰	۳۰-۵۰
اسید فولیک	۵	۳۵
بیوتین	۰/۱۵	۱-۱/۵
ویتامین B_{12}	۰/۰۱۵	-
ویتامین C	۱۰-۵۰	۱۰۰-۱۵۰
کولین	۳۰۰۰	۵۰۰-۳۰۰۰
اینوسیتول	-	۲۰۰-۴۴۰

جدول C.۵) نیازهای املاح معدنی و عناصر کمیاب (درصد از ماده خشک) **تعدادی از ماهیان استخوانی**

گونه ها	فسفر	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	روی	منگنز
ماهی آزاد اقیانوس اطلس*	۰/۶	-	-	-	-	۲۰
ماهی آزاد اقیانوس آرام	۰/۶	-	-	۰/۸	R	R
قزل آلا	۰/۵-۰/۸	۰/۰۳-۰/۲۴	۰/۰۵	-	۲-۱۵	۱۲
گربه ماهی کانالی	۰/۴۵	۰/۴۵**	۰/۰۴	۰/۲۶	۲	۲/۴
کپور معمولی	۰/۶۵	۰/۳	۰/۰۵	-	۲۵	۱۳
تیلاپیاماهیان	۰/۹	۰/۶۵**	۰/۰۶	-	۱	۱۲
مارماهیان	۰/۳	-	۰/۱۴	-	-	-
باس کانالی	۰/۸۶	-	-	-	۲۰	-
سیم دریایی	-	۰/۳۴	-	-	-	-

* در آب شیرین و شور
** در آب های فاقد کلسیم
R : مورد نیاز

جدول C.۶) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم تعدادی از ماهیان آب شیرین (گرم برکیلو گرم)

اجزاء سازنده	قزل آلا	کپور	گربه ماهی	تیلاپیا ماهیان	مارماهیان
آرد ماهی	۳۰۰	۲۷۰	۸۰	۱۵۰	۶۵۰
سرم لاکتوز	۱۰۰	–	–	–	–
کنجاله سویا	۱۳۰	۶۰	۴۸۲	۲۰۰	–
گلوتن ذرت	۱۷۰	۵۰	–	–	–
جوانه گندم	۱۶۵	۴۱۰	۱۰۰	–	–
ذرت	–	–	۳۱۲	–	–
گندم	–	–	–	۲۰۰	–
سورگوم	–	–	–	۴۵۰	–
سبوس برنج	–	۵۵	–	–	–
نشاسته ژلاتینه/اکسترود شده	–	–	–	–	۲۱۰
روغن ماهی	۱۱۵	–	۱۵	–	۵۰
روغن گیاهی	–	۵۰	–	–	۲۰
پیه	–	۵۰	–	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۵	۰/۵	–	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۱۰	۵	۰/۵	۲۰	–
فسفات بی کلسیم	–	۲۵	۱۰	–	–
عوامل همبند	–	–	–	–	۳۰
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۳۸۰	۳۱۰	۳۲۰	۲۹۰	۳۶۰-۴۰۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۱۵۰	۱۲۵	۴۰	۸۰	۱۲۰-۱۵۰
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۷/۲	۱۶/۴	۱۳/۰	۱۴/۵	۱۸/۰

جدول C.۷) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم تعدادی از ماهیان دریایی (گرم بر کیلو گرم)

اجزا سازنده	آزاد ماهی اقیانوس اطلس	قزل آلای خالدار	سوف دریایی	سیم دریایی	کفشک
آرد ماهی	۵۵۰	۳۴۰	۳۶۰	۴۳۰	۳۰۰
CPSP	–	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰
کنجاله سویا	–	–	۵۰	۱۰۰	۱۰۰
مخمر	–	۵۰	–	–	–
گلوتن ذرت	–	–	۹۰	۱۰۰	–
گندم اکسترود شده	۲۵۰	۹۰	–	–	۱۴۵
آرد گندم	–	–	–	–	۱۵۰
نشاسته اکسترود/ ژلاتینه شده	–	۱۲۰	۲۳۰	۱۷۰	–
روغن ماهی	۱۷۰	۱۲۰	۱۲۰	۵۰	۵۰
روغن گیاهی	–	۵۰	–	–	۲۰
لسیتین سویا	۱۰	۱۰	–	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
عوامل همبند	–	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵
پروتئین (گرم برکیلوگرم مواد خشک)	۴۲۰	۵۰۰	۴۰۰	۵۲۰	۴۸۰-۵۲۰
لیپید(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۲۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۲۰	۱۲۰
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۹	۱۹	۲۱	۱۹	۱۸

جدول C.۸) ترکیب غذاهای نیمه خالص برای تعدادی از ماهیان آب شیرین (گرم برکیلوگرم)

اجزاء غذایی	آزاد ماهیان	گربه ماهی	تاسماهیان	کپورماهیان، تیلاپیاماهیان
کازئین	۴۰۰	۳۲۰	۳۱۰	۳۳۰
ژلاتین	۴۰	۸۰	–	–
گلوتن گندم	–	–	۱۵۰	–
سفیده تخم مرغ	–	–	۴۰	–
نشاسته	۱۱۵	–	–	۲۰۰
دکسترین	۹۰	۳۳۰	۲۸۰	۲۷۰
گلوکز	۵۰	–	–	–
روغن ماهی	۱۵۰	۳۰	۴۰	–
روغن گیاهی	–	۳۰	۸۰	۸۰
دی- ال - متیونین	۵	–	–	–
ال- آرژنین	۱۰	–	–	–
مخلوط ویتامین	۳۰	۱۰	۴۰	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۸۰	۴۰	۳۰	۵۰
کربوکسی متیل سلولز*	–	۲۰	–	–
سلولز	۳۰	۱۴۰	۳۰	۵۰

* عامل همبند

جدول C.۹) ترکیب غذاهای نیمه خالص برای تعدادی از ماهیان دریایی (گرم برکیلوگرم)

اجزاء سازنده	شانک دریایی	کفشک	سوف دریایی حاره ای	ماهی دم زرد
کازئین	۵۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۶۴۰
cpsp	–	۳۱۳	–	–
ژلاتین	–	–	۱۰۰	–
نشاسته	–	–	۵۰	–
دکسترین	۱۰۰	۵۰	–	۳۰
گلوکز	۵۰	۵۰	–	–
روغن ماهی	۱۲۰	۸۰	۶۰	۱۴۰
روغن گیاهی	–	–	۳۰	–
DL – متیونین	–	۱۰	–	۵
L – آرژنین	–	۷	–	۲۰
مخلوط آمینو اسیدها	–	–	۷۰	۱۷-۲۷
مخلوط ویتامین	۱۰	۲۸	۲۰	۳۰
مخلوط املاح معدنی	۴۰	۵	۴۰	۸۰
جذب کننده ها	۲۰	۵۰	–	۱/۵۳
کربوکسی متیل سلولز*	۵۰	–	۵۰	۲۶/۳
سلولز	۱۱۰	۱۵۷	۸۰	–

*: عامل همبند

جدول C.۱۰) ترکیب غذاهای ساده برای پرورش غیرمتراکم ماهی در استخرهای مناطق گرمسیری (گرم بر کیلوگرم)

اجزاء غذایی	تیلاپیاماهیان	کپورماهیان	میگوها
آرد ماهی	۱۵۰	–	۴۰۰
ضایعات جنبی میگو	–	–	۱۰۰
آرد سویا	۲۰۰	–	–
آرد گیاهان روغنی	–	۲۰۰–۵۰۰	۴۰۰
آرد گندم	۲۰۰	–	–
سورگوم	۴۵۰	–	–
سبوس برنج	–	۵۰۰–۸۰۰	–
مانیوک (کاساوا)	–	–	۹۰
مخلوط ویتامینی و املاح معدنی	–	–	۱۰

جدول C.۱۱) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم و نیمه متراکم میگوهای پنئیده (گرم برکیلوگرم)
(Penaeu stylirostris,P.monodon,P.chinensis)

اجزاء سازنده	نوع پرورش	
	گسترده	متراکم
آرد ماهی	۴۰۰	۱۰۰
آرد میگو	۶۰	۶۰
آرد سویا	۱۰۰	۱۹۰
آرد گندم	۲۵۰	–
نبم دانه گندم	۱۵۰	۶۰۰
روغن ماهی	۲۰	۲۰
لسیتین سویا	۵	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۵
مخلوط املاح معدنی	۵	۱
عوامل همبند	–	۲۴
پروتئین (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)	۴۰۰	۱۵۰
چربی(گرم بر کیلوگرم ماده خشک)	۸۰	۵۰

برای مقادیر بهینه پروتئین به مقادیر ذکر شده در جدول ۱–۱۷ مراجعه شود.

جدول C.۱۲) ترکیب غذایی برای میگوهای جنس *Penaeus* (گرم برکیلوگرم)

اجزاء سازنده	*P.monodon*	*P.stylirostis*	*P.vannamei*	*P.chinensis*

پودر ماهی	۳۶۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰
پودر میگو	۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ضایعات اسکوئید	۳۰	–	–	۵۰
CPSP G	۱۰	–	۲۰	–
مخمر	۵۰	۵۰	–	۵۰
پودر سویا	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۵۰
گلوتن گندم	۵۰	۵۰	–	–
آرد گندم	۲۶۰	۳۷۰	۴۵۰	۳۹۰
روغن ماهی	۲۰	۳۰	۲۵	۲۰
لیسیتین سویا	۱۰	۱۰	۱۰	۵
کلسترول	–	–	۵	۵
مخلوط ویتامینی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مخلوط املاح معدنی	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰
عوامل همبند	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

جدول۱۳.C) چند نوع غذای ترکیبی برای اولین تغذیه لاروی ماهیها (گرم برکیلوگرم)

اجزاء غذایی	جیره ها				
	۱	۲	۳	٤	۵
آرد ماهی	۳۸٦	–	٤٤۵	–	–
پروتئولیسات ماهی	۱۸۰	٤۰	–	–	–
آرد صدف خوراکی ماسل	–	٤۰	–	–	–
آرد اسکالوپ	–	–	۸۳	–	–
آرد اسکوئید	–	۱٤۰	۵۳	–	–
آرد خرچنگ نروژی	–	۱٤۰	–	–	–
گناد ماهی	–	۱۹۰	–	–	–
آرد بافت پیوندی	۱۸۰	–	–	–	–
کبد گاو	–	–	–	۳۵۰	–
زرده تخم مرغ	–	۱٤۰	–	–	–
کازئین	–	٤۰	–	–	–
کازئین بازیک	–	–	–	–	۹٤۰
پروتئین حبوبات	–	–	۹٤	–	–
مخمر لاکتیک	–	٤۰	–	–	–
مخمر آبجو	٦۰	–	–	–	–
مخمر رشد یافته روی ترکیبات نفتی	–	–	–	۵۰۰	–
روغن ماهی	۳۸	۵۰	٦۰	–	–
روغن بادام زمینی	–	–	–	–	٤۰
لسیتین سویا	۱۰	۳۰	۳۰	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۲۵	٦۰	۱۰۰	۱۰۰
ویتامین C	۲/۸	۲/۵	–	–	–
ویتامین E	۰/۳۵	–	–	–	–
کلرید کولین	٦	–	–	–	–
فسفاتیدیل کولین تخم مرغ	–	–	–	–	۲۰
اسید کولیک	–	۰/۰۲	–	–	–
مخلوط املاح معدنی	۱۰	٤۰	۵۰	۵۰	۵۰
جذب کننده ها	–	–	۳٦	–	–
BHT	۰/۱	–	–	–	–
نشاسته پیش ژلاتینه شده	۱۱۷	–	–	–	–
زئین	–	٦۰	۸۰	–	–
سلولز	–	–	۳	–	–
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۳۸۰	۳۱۰	۳۲۰	۲۹۰	۳٦۰-٤۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۱۵۰	۱۲۵	٤۰	۸۰	۱۲۰-۱۵
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۷/۲	۱٦/٤	۱۳	۱٤/۵	۱۸

جدول۱۴.C) ترکیب غذایی آلژینات دار مبتنی بر اسکوئید برای لارو میگوی بزرگ آب شیرین : ذرات ریز Acal

اجزاء سازنده	گرم در هر کیلوگرم
اسکوئید نرم	۴۰۰
میگوی نرم	۱۵۰
صدف های خوراکی	۱۰۰
اشبل (تخم ماهی)	۵۰
تخم مرغ تازه	۳۰
مخلوط مواد معدنی و ویتامین ها	۱۲۰
آلژینات سدیم	۱۵۰
مقدار رطوبت	۱۰
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۴۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۲۳

جدول۱۵.C) نمونه ای از یک مخلوط ویتامینی برای ماهی

ویتامین ها	واحد بین المللی یا میلی گرم در هر کیلوگرم غذا
ویتامین A استات (واحد بین المللی)	۲۵۰۰
ویتامین D3 (واحد بین المللی)	۲۴۰۰
ویتامین E استات	۵۰
ویتامین K3	۱۰
تیامین	۱
ریبوفلاوین	۴
پیرودوکسین	۳
پنتوتنات کلسیم	۲۰
نیاسین	۱۰
بیوتین	۰/۱۵
اسید فولیک	۱
ویتامین B12	۰/۰۱
مونوفسفات اسکوربیل	۵۰
کولین	۱۰۰۰

سطوح توصیه شده : ۱ درصد در غذاهای حاوی اجزاء غذایی معمولی (پودر ماهی، کنجاله و...) و ۳-۲ درصد در غذاهای نیمه خالص

جدول٦.C) نمونه ای از یک مخلوط مواد معدنی برای ماهی

گرم در هر کیلوگرم مخلوط	اجزاء سازنده مخلوط
٥٠٠/٠٠	فسفات بی کلسیم ($CaHPO_4.2H_2O$)
٢١٥/٠٠	کربنات یا کلرید کلسیم ($CaCO_3/CaCL_2$)
٤٠/٠٠	نمک طعام (NaCL)
٩٠/٠٠	کلراید پتاسیم (KCL)
١٢٤/٠٠	هیدروکسید منیزیم یا کرینات منیزیم *($Mg(OH)_2$)
٢٠/٠٠	سولفات یا سیترات آهن ($FeSO_4.7H_2O$)
٤/٠٠	سولفات مس ($CuSO_4.7H_2O$)
٣/٠٠	سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)
٠/٠٠٤	یدید پتاسیم (KCL)
٠/٠٢	سولفات کبالت ($CoSO_4$)
٣/٠٠	سولفات منگنز ($MnSO_4. H_2O$)
١/٠٠	فلوئورید سدیم (NaF)

تمام اجزاء باید قبل از مخلوط شدن کاملا خرد شوند (کمتر از ٣٠٠ میکرو متر). سطح توصیه شه در غذا : ٢-١ درصد .

* ١٢٤ گرم ازآن می تواند با ١٢٤ گرم سولفات منیزیم ($MnSO_4. 7H_2O$) جایگزین شود.

جدول٧.C) نمونه ای از مخلوط ساده املاح معدنی برای غذاهای حاوی اجزاء طبیعی(آرد ماهی، کنجاله ها و غیره)

گرم در هر کیلوگرم مخلوط	اجزاء سازنده مخلوط
٣٠٠/٠٠	نمک طعام (Na .NaCL ٪ ٣٩)
٦/٣٠	سولفات آهن (Fe. $FeSO_4.7H_2O$ ٪ ٢١)
١٤/٤٠	سولفات روی (Zn. $ZnSO_4.7H_2O$ ٪ ٣٦)
٢/٥٠	سولفات مس (Cu.$CuSO_4.7H_2O$ ٪ ٢٥)
٢/٨٠	یدید پتاسیم (I.KCL ٪ ٧٦)
٨/٦٠	سولفات منگنز (Mn.$MnSO_4. H_2O$ ٪ ٣٣)
١٠٠٠/٠٠	سلولز یا گلوکز

سطح توصیه شده در غذا : ٢-١ درصد

جدول۱۸.C) ترکیب آمینو اسید درگونه های مختلف ماهی (گرم در ۱۶ گرم از نیتروژن)

آمینواسید	عضله		کل ماهی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
آلانین	۵/۷۴	۰/۱۴	۵/۶۰	۰/۹۶
آرژنین	۵/۷۰	۰/۴۷	۵/۲۵	۱/۳۱
اسید آسپارتیک	۱۰/۱۸	۰/۲۶	۸/۸۳	۱/۱۰
سیستین	۰/۹۴	۰/۳۷	۰/۹۳	۰/۳۲
اسید گلوتامیک	۱۳/۸۷	۰/۲۹	۱۳/۰۳	۱/۲۶
گلایسین	۴/۶۰	۰/۱۳	۵/۹۳	۲/۵۷
هیستیدین	۳/۱۵	۰/۳۶	۳/۳۶	۰/۸۲
ایزولوسین	۴/۶۰	۰/۵۶	۴/۰۸	۰/۴۹
لوسین	۸/۰۰	۰/۵۸	۴/۰۶	۰/۳۷
لایسین	۹/۱۱	۰/۴۵	۷/۸۲	۰/۸۵
متیونین	۲/۲۸	۰/۸۱	۲/۹۰	۰/۳۱
فنیل آلانین	۴/۳۳	۰/۴۱	۴/۱۴	۰/۷۱
پرولین	۳/۳۷	۰/۳۷	۴/۱۳	۱/۱۶
سرین	۳/۹۲	۰/۱۸	۳/۹۷	۰/۷۵
تریونین	۴/۷۱	۰/۳۰	۴/۳۸	۰/۸۵
تریپتوفان	۱/۱۸	۰/۱۵	۰/۹۳	۰/۰۵
تیروزین	۳/۲۹	۰/۳۷	۳/۰۴	۰/۳۹
والین	۵/۳۳	۰/۵۲	۵/۱۰	۰/۶۴
متیونین + سیستین	۳/۲۱	۱/۰۷	۳/۴۶	۰/۷۲
فنیل آلانین + تیروزین	۷/۶۱	۰/۷۴	۷/۱۸	۱/۰۶

جدول۱۹.C) ترکیب اسیدهای چرب عضله در تعدادی از گونه های ماهی (درصد از اسیدهای چرب)

اسیدهای چرب	قزل آلا	کپور معمولی	باس دریایی	کفشک
C14:0	٦/٤٠	٢/٣	٣/٢٧	٤/٣٠
C15:0	٠/٤٤	–	٠/٢٦	٠/٣٠
C16:0	٢٣/٨٧	١٩/٦	١٨/٣٣	١٣/٥٠
C18:0	٣/٨٩	٤/٥	٠/١٥	٢/٥٠
C20:0	٠/١١	–	٦/٦٥	–
C16:1	٠/٩٣	–	٣/٣٨	٧/٩٠
C17:1	٠/٤٩	–	٦/٠٥	.–
C20:1	٢٤/٤٥	٢٣/٤	١٦/٦٩	٢٠/٩٠
C22:1	٣/٥٢	٠/٨	٣/٨٢	٧/٥٠
C24:1	٢/١٦	–	٨/٢٤	٠/٥٥
18:2n-6	–	–	٢/٠٤	٠/٤٥
20:2n-6	٤/٣٣	٣/٩	٠/٤٨	٧/٧٠
20:3n-6	٠/٢٦	–	٠/١٠	٠/٢٠
20:4n-6	٠/١٣	–	٠/٥٨	–
18:3n-3	٠/٥٦	٣/٥	٠/٩٥	٠/٧٠
18:4n-3	١/٠٢	٦/٠	٠/٣٧	١/٤٠
20:3n-3	١/١٦	٠/٢	٤/٠١	٢/٢٣
20:4n-3	٠/١١	–	١/٧١	–
20:5n-3	٠/٤٦	–	٠/٥٦	٠/٦٠
22:5n-3	٣/٥١	٠/٦٠	١٣/٩٥	٧/٦٠
22:6n-3	٠/٩١	١/٢	١/٠٧	٢/٢٥
اشباع شده	٨/٦٠	٥/١	٣/٧٠	١١/٢٠
یک غیر اشباعی	٣٥/٨٣	٦٣/٣	٢٩/٢٢	٢٠/٦٠
n-6	٣٩/٧٦	٣٥/٦	٤٣/٢٨	٣٦/٨٠
n-3	٥/٥٥	٩/٤	٢/١٢	٨/٦٠
PUFA	١٥/٧٧	١٨/٥	٢٥/٣٨	٢٥/٤٠
PUFA / اشباع شده	٢١/٣٢	٢٧/٩	٢٧/٤٩	٣٤/٠
n-3/n-6	٠/٥٩	٠/٧٨	٠/٩٤	١/٦٥
	٢/٨٤	٢/٠	١١/٩٩	٢/٩٥

توجه : این ترکیب کاملا تحت تاثیر چربی های جیره غذایی می باشد.

جدول C.۲۰) مقدار جیره و دفعات وعده غذایی در تیلاپیای پرورش یافته در استخر (۲۵ تا ۲۸ درجه سانتیگراد) **بر حسب مقدار غذای خشک** (گرم در هر صد گرم بیوماس در روز)

تعداد وعده ها	جیره (در هر صد گرم)	وزن زنده (گرم)
> ۸	۱۰-۳۰	< ۱
٦	٦-۱۰	۱-۵
٤	٤-٦	۵-۲۰
٤-۳	۳-٤	۲۰-۱۰۰
۳	۳	> ۱۰۰

جدول C.۲۱) مقدار جیره توصیه شده برای میگوهای جنس *Penaeus* (*P.vannamei* ، *P.stylirostis* ، *P.monodon*) **نسبت بـه وزن بـدن : مقادیر غذای خشک** (گرم در هر ۱۰۰ گرم بیوماس در روز)

مقدار جیره	وزن بدن (گرم)
۱۱-۱٦	۱
۸-۱۱/۷	۲
٤/۷-۸/٦	۳
٤/۲-۷/۲	٤
۳/۹-٦/۲	۵
۳/٦-٦/۰	٦
۳/۲-۵/۰	۷
۳/۰-٤/٤	۸
۲/۹-٤/۰	۹
۲/۸-۳/۹	۱۰
۲/٦-۳/٦	۱۱
۲/۵-۳/٤	۱۲
۲/۳-۳/۲	۱۳
۲/۲-۳/۰	۱٤
۲/۱-۲/۹	۱۵
۲/۰-۲/۸	۱٦
۲/۰-۲/۷	۱۷
۱/۹-۲/۷	۱۸
۱/۸-۲/٦	۱۹
۱/۸-۲/٦	۲۰

جدول C.۲۲) مقدار جیره توصیه شده برای قزل آلا نسبت به اندازه ماهی و دمای آب : مقادیر غذای خشک
(گرم در هر ۱۰۰ گرم بیوماس در روز)

طول (سانتی متر)	دما (درجه سانتیگراد)								
	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
۲/۵-۳/۵	۲/۶	۳/۰	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۵/۶	۶/۵	۴/۶	۲/۸
۳/۵-۵	۲/۴	۲/۸	۳/۳	۳/۹	۴/۶	۵/۴	۶/۳	۴/۴	۲/۶
۵-۷/۵	۲/۱	۲/۵	۲/۹	۳/۴	۴/۰	۴/۶	۵/۳	۳/۷	۲/۳
۷/۵-۱۰	۱/۸	۲/۱	۲/۴	۲/۸	۳/۲	۳/۷	۴/۳	۳/۰	۲/۰
۱۰-۱۲/۵	۱/۵	۱/۷	۱/۹	۲/۲	۲/۵	۲/۹	۳/۵	۲/۴	۱/۶
۱۲/۵-۱۵	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۲/۶	۳/۰	۲/۲	۱/۴
۱۵-۱۷/۵	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۲/۶	۱/۹	۱/۲
۱۷/۵-۲۰	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۱/۶	۱/۰
۲۲-۲۲/۵	۰/۸	۱/۰	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۸	۲/۱	۱/۵	۰/۹
۲۲/۵-۲۵	۰/۷	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۱/۴	۰/۸

منابع

Alami-Duranté, H. (1990) Growth of organs and tissues in carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Growth, Development and Aging,* 54, 109—I 16.

Ali, M. A. (1992) *Rhythms in Fishes.* New York, Plenum Press.

Altman, P. L. and Dittner, D. S. (1974) Nutrition, digestion and excretion. In: *Biologv Data Books,* 2nd ed., pp 1433—1446, Bethesda, Maryland.

Andrews, J. W. and Sick, L. V. (1972) Studies on the nutritional requirements of penaeid shrimps. In: *Proc. 3rd Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 402—414.

Aquacop (1977) Reproduction in captivity and growth of *Penaeus monodon Fabricius* in Polynesia. In: *Proc. 8th Annual Meeting World Mariculture Soc., 927—945.*

Aquacop (1978) Study of nutritional requirements and growth of *Penaeus merguiensis* in tanks by means of purified and artificial diets. In: *Proc. 9th Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 225—233.

Bauernfeind, J. C. (1981) *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors.* Academic Press, New York.

Bell, M. V., Henderson, R. J. and Sargent, J. R. (1986) The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Cotnp. Biochern. Physiol.,* 83B, 711—719.

Bergot, F. (1979) Effects of dietary carbohydrates and of their mode of distribution on glycaemia in rainbow trout *(Salmo gairdneri* Richardson). *Comp. Biochem. Physiol.,* 64A, *543—547*

Bergot. P. (1981) Structure de l'appareil digestif. II. Structure et fonction des caeca pyloriqucs. In: Fontaine, M. (ed) *Nutrition des Poissons.* CNRS, Paris, *45-53.*

Bertin, L. (1958) Appareil digestif. In: Grassé. P-P. (ed.) *Trailé di' Zoologle. Anatomie, Si'steinauque, Biologic. Viii. Agnathes ci Poissoiis, hiScicule No. 2: Analomie, Ethologie. Si'sfrn?aiiquc.* Masson et ('ic, Paris. 1 248— 1302.

Blaxter, K. (1989) *Energy Metabolism in Animals and Man.* Cambridge University Press.

Boeuf, 0. (1987) Bases physiologiques de Ia salmoniculture: osmorégulation et adaptation a l'eau de mer. *La Piscicultur(' Franpaise,* 87, 28—41.

Bouroche, A. and Le Bars, M. (1996) *La Cuisson-E.vtru.cioi,.* Vocahulaire francais-anglaisallemand. INRA, Paris.

Brafield, A. E. (1985) Laboratory studies of energy budgets. In: Tytler, P. and Calow, P. (eds) *Fish Energetics. New Perspecilves.* Croom Helm, London, 257—281.

Brett, J. R. (1972) The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respir. Physiol.,* 14, 15 1—170.

Brett, J. **R.** (1976) *Feeding metabolic rates of young sockeye salmon,* Oncorhynchus nerka, *in relation to ration level and temperature.* Research Techniques *675,* Ministry of Environment, Fisheries and Science, Ottawa, Canada.

Brett, J. R. and Groves, T. D. D. (1979) Physiological energetics. In: Hoar, W. S. and Randall, D. J. (eds) *Fish Physiology.* Vol. III. Academic Press, London, 279—343.

Cahu, C., Cuzon, G. and Quazuguel, P. (1995) Effect of highly unsaturated fatty acid, alphatocopheol and ascorbic acid in broodstock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus. Comp Biochem. Phv.siol.,* 11 2A, 417—424.

Cahu, C., Sévêre, A. and Quazuguel, P. (1988) *Variation de la composition en lipides de* Penaeus indicus *au cours de son développement larvaire.* ICES Annual Congress.

Carré, B. and Brillouet. J. M. (1989) Determination of water unsoluble cell walls in feeds: inter-laboratory study. *J. Assoc. Off Anna!. Chem.,* 72, 463-467.

Castell, J. D. and Tiews. K. (1980) *Rapport du groupe de travail de la CECPJ, de I'UISN el dii CIEM stir Ia norrnalisaiion de Ia mithodologie dons la recherche sur la nutrition des poissons.* United Nations Organisation for Food and Agriculture.

Ceccaldi, H. J. (1994) Appareil digestif: anatomic et physiologic. In: Grassé, P.-P. (ed.) *Traité de Zoologie. Anatomie, Sysrémarique, Biologie. VII. Cru,ctacés 1. Morphologie. Physiologie, Reproduction, Systématique.* Masson et Cie, Paris, 487—527.

Ceccaldi, H. J. (1998) A synopsis of the morphology and physiology of the digestive system of some crustacean species studied in France. *Rev. Fish. Science., 6,* 13—39.

Charlon, N. (1990) Technologie: automatisation de l'élevage larvaire en eau douce. *Aqua Revue,* 33, 19—22.

Charlon, N., Durante, H., Escaifre, A. -M. and Bergot, P. (1986) Alimentation artificielle des larves de carpe *(Cyprinus carplo* L.). *Aquaculture,* 54, 83—88.

Cho, C. Y. and Slinger, S. (1980) Effect of water temperature on energy utilization in rainbow trout *(Salino gairdneri).* In: *Proceedings of 8th Symposium on Energy MetabolLcm.* Butterworth, London, 287—291.

Cho. C. Y.. Kaushik, S. J. (1985) Effect of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. In: Cowey, C. B.. Mackie. A. M. (eds) *Nuirilion and Feeding in Fish.* Academy Press. London.

Cho, C. Y. and Kaushik, S. J. (1990) Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout. *World Review of Nutrition and Dietetics,* 61, 132—172. .

Cho, C. Y. (1992) Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimate of energy and protein requirement. *Aquaculture,* 100, 107—123.

Cho, C. Y. and Bureau, D. p. *(1995)* Determination of the energy requirements of fish with particular reference to salmonids. *J. AppI. Ichlyol.,* 11, 141—163.

Choubert, G. (1982) Method for colour assessment of canthaxanthin pigmented rainbow trout *(Salmo gairdneri). Sd. Alimenis,* 2, *451* --463.

Choubert, G., de Ia Noue, J., Luquet, P. (1983) Un nouveau collecicur autoniatique quantitatif de feces de poissons. *Bull. Fr. Piscic.,* 288, 68—72

Chotabert, G. *(1985)* Effects of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout *(Salmo gairdneri* Rich.). *Aquaculture,* 46, 293—298.

Choubert, G. and Storebakken. T. (1989) Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various carotenoid concentrations. *Aquaculture,* 81, 69—77.

Choubert, G. and Blanc, J. M. (1993) Muscle pigmentation changes during and after spawning in male and female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss,,* fed dietary carotenoids. *Aquat. Living Resource,* 6, 163-168.

Choubert, G, Gomez, R. and Milicua, J.-C. G. (1994) Response of serum carotenoid levels to dietary astaxanthin and canthaxanthin in immature rainbow trout *Oncorhynchus mykiss. Comp. Biochem. Physiol.,* 109A, 1001-1006.

Colvin, L. B. and Brand, C. W. (1977) The protein requirement of penaeid shrimp at various life cycle stages in controlled environment systems. In: *Proc. 8th Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 821—840.

Colonna, P. and Della Valle, G. (1994) *Cuisson-Extrusion.* Tec & Doc Lavoisier, Paris.

Combs, G. F. Jr. (1992) *The Vitamins — Fundamental Aspects in Nutrition and Hetilth.* Academic Press, San Diego.

Conklin. 11 E. (1977) Vitamins. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds.) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquacula'ure, Vol 6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge. LA, 123—149.

Corraze, G. (1994) Nutrition lipidique des poissons: importance et consequences. *La Pisciculture Françaice.* 117, *25—36.*

Cowey, C. B. and Sargent, J. R., (1972) Fish nutrition. *Ac/v. Mar. Riol.* 10, 383—492.

Cowey, C. B. and Walton, M. J. (1989) Intermediary metabolism. In: Halver, J. E. (ed) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego. 259—329.

Cowey, C. B. (1992) Estimating requirements of rainbow trout. *Aquacuuiure,* 100, 177—189.

Cousin, M., Cuzon, G., Blanchet, E., Ruefle, F. and AQUACOP (1993) Protein requirements following an optimum dietary energy to protein ratio for *Penacus vannami* juveniles. In: Kaushik, S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice,* INRA, Paris, 599—606.

Csavas, I. (1991) Physical and nutritional properties of aquafeeds. In: *Feed Production Tomorrow.* VICTAM, Asia, 2—19.

Cuzon, G. (1998) Nutritional review of *Penaeu.s stvllro.ctris. Reviews in Fisheries ScienceSpecial Issue,* 61, 129—141.

Cuzon, G. and Guillaume, J. (1997) Protein and energy. In: D'Abramo. 1. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds.) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculture, Vol 6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, 51 —70.

D'Abramo, L. R., Bordner, C. E. and Conklin, D. E. (1982) Relationship between dietary phosphatidylcholine and serum cholesterol in the lobster *Homarus* sp. *Mar. Biol.,* 67, 231—235.

D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (1997) (eds) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculture, Vol* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.

Dall, W. and Moriarty, D. J. W. (1983) Functional aspects of nutrition and digestion. In: Mantel, L. H. *et al.* (eds.) *Internal Anatomy and Physiological Regulation.* Academic Press, New York, 215—261.

David, L. (1972) *Conduite et Eniretien des Presses.* La Jarrie.

David, L. and Lefumeux, J. (1972) *Pralique de Ia Compression el Techniques Nouvelles.* La Jarrie.

De Ia Noue, J.. Choubert, G., Pagniez, B.. Blanc, J. M., Luquct, P. (1979) Digestihilité *chcz* Ia truite arc—en—ciel *(Salnio gairdneri)* lors de l'adaplation I un nouveau régime alimentaire. *(Can. J. Fish Aquat. Sd..* 37, 2218—2224.

Dianzani, M. U. and Ugazio, G. (1978) Lipid peroxidation. In: Slater, T.F. (Ed.) *Biochemical Mechanisms of Liver Injury.* Academic Press, London, 669—707.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1984) Utilization of the yolk in rainbow trout alevins *(Salmo gairdneri* Richardson): effect of egg size. *Reprod. Nutr. Develop.,* 24, 449—460.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1985) Effet d'une alimentation précose ou retardée sur Ia croissance d'alevens de truites are-en-soleil *(Salmogairdneri)* issus d'oeufs de taille differ- ante. *Bull. Fr. Péche. Piscic.,* 2%, 17—28.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1990) Resorption du vitellus chez les alevins de truite commune *(Salmo lruua* L.) gardés a jeun ou nourris. *Bull. Fr. Péche Pi,scic.,* 317, 58—67.

Escaffre, A.-M., Bergot, P. and Szlaminska, M. (1989) Site of absorption of protein macromolecules in the intestine of carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae and rainbow trout *(Salmo gairdnerl* Rich.) fry. *Pol. Arch. HydrobioL,* 36, 263—271.

Fauconneau, B. (1983) La biosynthèse des protéines chez les poissons. *Ichtyophysio1ogica Acta, 7, 34—75.*

Ferraris, R. P., Ahearn, G. A. (1984) Sugar and amino acid transport in fish intestine. *Camp. Biochem, Phvsiol.,* 77A, 397--4 1 3.

Finn, R. N., Ronnestad, I. and Fynh, H. J. *(1995)* Respiration, nitrogen and energy metabolism of developing yolk-sac larvae of Atlantic halibut *(Hippoglossus Hippoglossus* L.). *Comp. Biochem. Physiol.,* l1lA, 647—671.

Fletcher, D. J. (1984) The physiological control of appetite in fish. *Coinp. Biochem. Physiol.,* 78A, 617—628.

Guillaume, J. (1996) Protein, and aminoacids. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculiure,* Vol *6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, 26-50.

Garcia Gallego, M. (1987) Formulacion de dietas experimentales y piensos comerciales. In: Espinosa de los Monteros, J., Labarta, U. (eds) *Alimentacion en Acuicultura.* Industrias Grafica Espana, Madrid.

Gas, N., Noaillac-Depeyre, J. (1981) Structure (Ic I'apparcil digestil. 1. Organisation. ultra-structure ci fonction du tube digestif des telcosleens d'eau douce. In: Fontaine, M. (ed.) *Nuirlilon de.c Poissoizs.* CN RS, Paris, I 9 44.

Gatesoupe, F. J. (1994) Development of fish larvae and rearing conditions in hatcheries. In: Lahlou, B. and Vitiello, P. (eds.) *Coastal and Estuarine Studies. Aquaculture: Fundamental and Applied Research.* American Geophysical Union, Washington, DC, *159—172.*

Geurden, I., Radünz-Neto, J. and Bergot, p. (1995) Essentiality of dietary phospholipids for carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture,* 131, 303—3 14.

Giger, S. (1985) Revue sur les méthodes de dosage dc Ia lignine utilisées en alimentation animate. *Ann. Zootech.,* 34, 85—122.

Giger, S., Thivend, P., Sauvant, D., Dorleans, M. and Journaix, P. (1987) Etude de l'influence préalable de différentes enzymes amylolytiques sur la teneur en résidu NDJd'a1iments du bétail. *Ann. Zootech.,* 36, 39—48.

Goodwin, T. W. *(1952) The Comparative Biochemistry of the carotenoids.* Chapman and Hall, London.

Greene, D. H. S. and Selivonchick, D. p. (1987) Lipid metabolism in fish. *Prog. Lipid Rs.,* 26,*53—85.*

Gropp, .J. M., Tacon, A. G. J. (1994) *Rcport of the EIFAC(workshop on methodology for determination of nutrient requirement in fish.* El FAC Occasional Paper 29. FAO, Rome.

Guillaume, J. (1990) La nutrition des salmonidés. I — généralités, besoins qualitatifs. *La Pisciculture Française,* 100, *47—59.*

Guillaume. J. (1990) The nutritional characteristics and the formulation of diets for cultivated fish and crustaceans. In: Mellinger. J. (ed.), *Animal Nutrition and Transport Processes. Vol. 2. Nutrition in Wild and Domestic Animals,* Karger, Basle, pp. 203—214.

Guillaume, J. (1991) La nutrition des salmonidés. 11 — besoins quantitatifs. *La Pisciculture Française,* 103, 4—20.

Halver, J. E. (1972) The role of ascorbic acid in fish disease and tissue repair. *Jap. Soc. Sd. Fish,* 38, 79—92.

Halver, J. E. (1989) The vitamins: In: Halver, J. E. (ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press, San Diego, 31—109.

Hara, T. J. (1982) *Chemoreception in Fishes.* Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 8, Elsevier.

Heming, T. A. (1982) Effect of temperature on utilization of yolk by chinook salmon *(Oncorhynchus tshawytscha)* eggs and alevins. *Can. J. Fish Aquat. Sci.,* 39, 184-190.

Henderson, R. J. and Tocher, D. R. (1987) The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid. Re,c.,* 26, 281—347.

Hendriks, J. D. and Bailey, G. S. (1989) Adventitious toxins. In: 1-lalver, J. I. (ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press. San Diego. 605—651.

Houlihan, D. F. (1991) Protein turnover in ectotherms and its relationships to energetics. In: Gilles, R. (ed) *Advances in Comparative and Environmental Physiology, 7.* Springer-Verlag, Berlin, 1-43.

Houser, H. and Akiyama, D. M. (1997) Feed formulation principles. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. Volume* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, *493—519*

Isler, 0. (1971) *Carotenoids.* Birkhaüser Verlag, Basel.

Jackson, A. A. (1983) Amino acids: essential or not essential? *The Lancel,* 1 8332, 1034—1036.

Jobling. M.. (Iwytlier. 0., Grove. 0. J. (1977) Sonic eflcc(s of temperature, meal size and body weight on gastric evacuation time *in* the dab *Limanda Iimtmda* (L.). .1. Fish Biol., 10, 291 -298.

Jobling, M., Arnessen, A. M., Baardvick, B. M., Christiansen, J. S., and Jørgensen, E. H. (1995) Monitoring feeding behaviour and food intake: methods and applications. *Aqua- culture Nutrition,* 1, 131—143.

Jones, D. A., Kamarudin, M. S. and Le Way, L. *(1985)* The potential for replacement of live feeds in larval culture. *J. World Aquaculture Society,* 24, 199—210.

Jones, D. A., Kamarudin, M. S. and Le Vay, L. (1993) The potential for replacement of live feeds in larval culture. *J. World Aquac. Soc.,* 24, 199—2 10.

Kamler, E. (1976) Variability of respiration and body composition during early developmental stages of carp. *Pal. Arch. Hydrobiol.,* 23, *431—485.*

Kamler, *F.* (1992) *Early Ljfe History of Fish: An Energetic Approach.* Chapman and Hall, London.

Kamler, E., Szlaminska, M., Kuczynski, M., Hamackova, J., Kouril, J. and Dabrowski, R. (1994) Temperature-induced changes of early development and yolk utilization in the African catfish *Clarias gariepinus. J. Fish Biol.,* 44, 311—326.

Kanazawa, A., Shimana, M., Kawasaki, M. and Kashiwada, K. 1. (1970) Nutritional requirements of prawn. I. Feeding on artificial diet. *Bull. Jap. Soc. Sd. Fisk,* 36, 949—954.

Kanazawa, A., Teshima, S.-I. and Ono. S. (1979) Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and the capacity for hioconversion of linolenic acid to highly unsaturated fatty acids. *Comp. Biochem. Phv.ciol.*. 63B, 295—298.

Kanazawa, A., Teshima, S-I. and Sakamoto, M. *(1985)* Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholids on growth and survival of prawn *(Penaeus japonicus)* larvae. *Aquaculture,* 50, 39—49.

Kanazawa, A. (1990) Protein requirements of shrimp. In: *Advances in Tropical Aquacuhure.* IFREMER, Plouzané, 26 1—270.

Kanazawa, A. (1993) Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: Kaushik. S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice.* INRA, Paris, 519—530.

Kaushik, S. J. (1980) Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp *(Crprinus carpio* L.) and the rainbow trout *(Sahno gairdneri* R.). *Repr. Nuir. Develop.*, 20. 1751—1765.

Kaushik, S. J. and Médale, F. (1994) Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture,* 124, 8 1—97.

Kearns, J. P. (1988) Preparation of fish and shrimp feeds by extrusion. In: Applewhite, T. H. (ed.) *Proceedings of World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Food and Animal Feedstuffs.* AOCS, Champaign, 111, 152—161.

Kearns, J. P., Huber, G. H., Dominy, W. G. and Freeman, D. W. (1988) Properties of extrusion cooked shrimp feeds containing various commercial binders. Presented at World Aquaculture Society 19th Annual Conference. 4—8 January 1988, Waikiki. Hawaii

Koshlo, S., Teshima, S.-I., Kanazawa, A. and Watase, T. (1993) The effect of dietary protein content on growth, digestion efficiency and nitrogen cxcretion of juvenile kuruma prawns, *Penáeusjaponicus. Aquaculture,* 113, 101—114.

Larbier, M. and Leclercq, B. (1992) Les matiéres premieres utilisées en aviculture. In: *Nutrition et Alimentation des Volailles.* INRA, Paris, 255—301.

Lall, S. P. (1989) The minerals. In: Halver, J. E. (ed.) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego. 219—257.

Laplace. J. P.. C'orring. T, Rérat, A.. Demarne, Y. (1986) Digestion. In: Perez, 1. M.. Mornet, P., Rérat, A (eds) *Le Porc et son Elevuge. Buses Scientifiqucs et Techniques.* Malotne, Paris, 1 120.

Lapierre. D. (1979) *La Formulation des Ailments des Animaux. cycles Apprqfondi d'Alimenta110,1 Animale.* INA-PG, Paris.

Larbier, M. and Lecierq, B. (1992) Modélisation des besoins et formulation des ailments. In: *Nutrition et Alimentation des Voiailles.* INRA, Paris.

Lee, 0. C. (1971) Studies on the protein utilization related to growth of *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture,* 1, 119—211.

Legrow, S. M., Beamish, F. W. H. (1986) Influence of dietary protein and lipid on apparent heat increment of feeding of rainbow trout, *Salmo gairdneri. Can. J. Fish. Aqua!. Sd.,* 43, 19—25.

Le Grusse, J. and Watier, B. (1993) *Les Vitamines. Données Biochimique.c, Nuiritionnelles el Cliniques.* Centre d'Etudes et d'Information sur les Vitamines. Produits Roche, Neuilly sur Seine.

L.e Moullac, G. and Van Wormhoudt, A. (1994) Adaptation of digestive enzyme to dietary protein, carbohydrate, and fibre levels and influence of protein and carbohydrate quality in *Penaeus vannamei* larvae (Crustacea, Decapoda). *Aquat. Living Resour., 7,* 203—210.

Lend, R., Ngre-Sadargues, G. and Castillo, R. (1978) Les pigments caroténoides chez les crustacés. *Arch. Zoo!. Exp. Géné.,* 119, 297—334.

Liener, I. E. (1980) *Toxic Constituents of Plant Foodstuff.* Academic Press, New York.

Liu, F., Liang, D., Sun, F., Li, H. and Lan, X. (1990) Effects of copper on the prawn *Penaeus orientalis. Oceanol. Limnol. Sinica,* 21, 404—410.

Love, R. M. (1980) *The ('heinical Biology of Fishes.* Vol. 2. Academic Press. London.

Lovett, D. L. and Felder, D. L. (1990) Ontogenic change in digestive enzyme activity of larval and postlarval white shrimp *Penaeus setiferus* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Biol. Bull.,* 178, *144—159.*

Melcion, J-P., Guillaume, J.. Méhu, J., Métailler, R. Cuzon. 0. (1983) Prépa ration d'aliments pour animaux marins par cuisson-extrusion. *Rev.Alim. Anim.,* 371, 26—31.

Mommsen, T. P. and Plisetskaya E. M. (1991) Insulin in fishes and agnathans: history, structure and metabolic regulation. *Rev. Aquatic Sd., 4,* 225—259.

Muller-Feuga, A. (1990) *Modélisation de Ia croissance des poissons en elevage.* Scientific and Technical Report 21, IFREMER, Plouzané, France.

Nagayarna. F., Saito, Y. (1968) Distribution of amylase and β-glucosidase and β—galactosi—dase in fIsh. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 34, 944 949.

National Research Council (NRC) (1993) *Nutrient Requirements of Fish.* National Academy Press, Washington D.C.

Osse, J. W. M. (1990) Form changes in fish larvae in relation to changing demand of function. *Neil,. J. Zool.,* 40, *362—385.*

Quantz, G. *(1985)* Use of endogenous energy sources by larval turbot *Scophthalmus maximus. Trans. Am. Fish Soc.,* 114, *558—563.*

Palmer, T. N. and Ryman, B. E. (1972) Studies on glucose intolerance in fish. *J. Fish Biol.* 4,311—319.

Panserat, S., Médale, F., Bun, C., Brèqu, J., Vachot, C., Plagne-Juan, E., Gomes, E., Krishnamoorthy, R., Kaushik, S. J. (2000) Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout. gilthead seabream and common carp. *Am. J. Physiol.,* 278: R1164—R1 170.

Perez, J. M., Mornet, P., Rérat, A. (1986) *L' Pore ci son LIei'age. Bases Scientifiques et Techniques.* Maloin, Paris.

Person-Le Ruyet, J., Alexandre, J. C., Thébaud, L. and Mugnier, C. (1993) Marine larvae feeding: formulated diets or live prey? *J. World Aquac. Soc.,* 24. 211—224.

Person-Le Ruyet, J., Fisher, C. and Thébaud, L. (1993) Sea bass *(Dicenirarchus labrax)* weaning and ongrowing onto Sevbar. In: Kaushik, S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice.* INRA, Paris, 623—628.

Philippeau, G. (1984) *Puissance dune expérience Nombre de répcti!ions nécessaires pour comparer deux ou plusleurs Iraitements.* ITCF, Paris.

Pike, I. H. and Hardy, R. W. (1997) Standards for assessing quality of feed ingredients. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. F. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nuirit ion:Advances in World Aquaculiure, Vol* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. 475—492.

Radůrnz-Neto, J., Corraze, G., Charlon, N. and Bergot, P. (1994) Lipid supplementation of casein-based purified diets for carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture,* 128, 153—161.

Sargent, J., Henderson, R. J. and Tocher, D. R. (1989) The lipids. In: Halver, i.E. (Ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press. San Diego, 153—218.

Schumacher, A., Gropp, J., Tacon, A. G. J., Huge, V. and Rosenthal. H. (eds)(1995) Proceedings of the EIFAC workshop on methodology for determination of nutrient requirements in fish. *J. App!. Jchthvol.,* 11, 129-400

Segner, *J.,* Storch, V., Reinecke, M., Kloas, W. and Hanke, W. (1994) The development of functional digestive and metabolic organs in turbot, *Scophihalmus maximus. Mar. Biol,*119, 471—486.

Sheridan, M. A. (1988) Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilisation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90B, 679—690.

Shewbart, K. J. and Mies, W. I. (1973) Studies on nutritional requirements of brown shrimp: the effect of linolenic acid on growth of *Penaeus aziecus.* In: *Proc. 4th Annual Meeting World Mariculture Soc.*, 277—287.

Shiau. S. Y. (1989) Role of fibre in fish feed. In: Shiau, S.-Y. (ed.) *Progress in Fish Nutrition. Proceedings of the Fish Nutrition Si'mposium.* Keelung, Taiwan. ROC, 6—7 September 1989.

Shiau, S. Y. and Huang, S. L. (1989) Optimal dietary protein level for hybrid pilapia *(Oreochromis nh/oticus x 0. aureus)* reared in sea water. *Aquaculture,* 81, 119—127.

Slater, T. F. (1972) *Free Radical Mechanism in Tissue Injury.* Pion Ltd. London.

Smith, L. S. (1989) Digestive functions in teleost fishes. In: Halver. J. E. (Cd.) Fish *Nutrition.* Academic Press, San [)iego, 331 421.

Spyridakis. P.. Metailler, R.. Gabaudan, J., Riaza, A. (1989) Studies on nutrient digestibility in European sea bas *(Dicenirarchus labrax).* I. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture, 77.* 61 70.

Stevens, B. R. (1992) Vertebrate intestinal apical membrane mechanisms of organic nutrient transport. *Ann. J. Phrcio/* 263. 458 463.

Tacon, A. G. J. and Cowey C. B. (1985) Protein and amino acid requirements. In: Tytler, P, and Calow, P. (eds) *Fish Energetics. New Perspectives.* Croom Helm, London, 155—183.

Takeuchi. T., Watanabe, T. and Ogino, C. (1979) Digestibility of hydrogenated fish oil in carp and rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 45, 1521—1525.

Talbot, C. (1993) Some aspects of the biology of feeding and growth in fish. *Proc. Nuir. Soc.,* 52, 403—416.

Tan. R. K. H. (1988) Pelleting for aquaculture feeds. In: Applewhite, T. H. (ed.) *Proceedings of World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Food and A nimal Feedstuffs. AOCS,* Champaign. II, 162—166.

Tandler, A., Berg, B. A., Kissil, G. W. and Mackie, A. M. (1982) Effects of food attractants on appetite and growth rate of gilthead seabream, *Sparus aura'a* L. *J. Fish Biol.,* 20, 676—681.

Teshima, S. I., Kanazawa, A. and Sakamoto, M. (1982) Microparticulate diets for the larvae of aquatic animals. *Mine Review Data File Fisheries Research,* 2, 67—86.

Teshima, S.-1., Kanazawa, A., Sasada, H. and Kawasaki, H. (1982) Requirements of the larval prawn *Penaeus japonicus* for cholesterol and soybean phospholids. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.,* 31, 193--199.

Teshima, S.-I. and Kanazawa, A. (1984) Effects of protein, lipid, and carbohydrate levels in purified diets on growth and survival rates of the prawn larvae. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 50, 1709—1715.

Teshima, S.-I., Kanazawa, A. and Koshio, S. (1993) Recent developments in nutrition and microparticulate diets of larval prawns. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh,* 45, 175—184.

Tytler, P. and Calow, P. *(1985) Fish Energetics. New Perspectives.* Croom Helm, London.

Uys, W.. Hecht, T. (1987) Assays on the digestive enzymes of sharptooth catfish, (larias gariepinus *(Pisces. C/uric/ac). Aquaculture,* 63, 301 3 I 3.

Van Wormhoudt, A. and Bellon-Humbert, C. (1991) Bases biologiques de Ia culture des crustacés. In: Barnabé, .G. (ed.) *Bases Biologiques el Ecologiques de l'Aquaculture.* Lavoisier, Paris. 212—270.

Verigina, I. A. (1991). Basic adaptation of (he digestive system in bony lishes as a function of diet. *J. Ichi vol.,* 31. 8—21).

Vernier, J. M., Sire, Nil. F. (1989) L'absorption intestinale des proteines sous Forme macromoleculaire chez les vertebrés. Implications physiologiques. *Année Biologiques,* 28. 255 288.

Verreth, J. (1994) Nutrition and related ontogenetic aspects in larvae of the African catfish, *Clarlas lazera.* Thesis, University of Wageningen.

Walton, M. J. and Cowey, C. B. (1982) Aspects of intermediary metabolism in fish. *Comp. Biochem. Physiol.,* 73B, *59—79.*

Watanabe, T. (1982) Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.,* 73B, 3—15.

Watanabe, T. and Kiron, V. (1994) Prospects in larval fish dietetics. *Aquaculture,* 124, 223— 251.

Westertep-Plantenga, M. S.. Sleflens, A. B., and Tremblay. A. (1999) Regulation of food intake and energy expenditure. Milan: DRA.

Wilson, R.P (1989) Amino acids and protein. In: Halver, J. E. (ed) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego, 111—151.

Wilson, R. P. and El Naggar, 0. (1992) Potassium requirement of fingerling channel catfish, *Ictalurus punctarus. Aquaculiure,* 108, 1 69—1 75.

Wilson, R. P. (1994). Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture,* 124. 67—80.

Woodward, B. (1994) Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids. *Aquaculture,* 124, 133—168.

Yufera, M., Fernandez-Diaz, C. and Pascual, E. (1995) Feeding rates of gilthead seabream *(Sparus aurala)* larvae on microcapsules. *Aquaculture,* 134, 257—258.

Zambonino Infante, J. L. and Cahu, C. (1994) Development and response to a diet change of some digestive enzymes in sea bass *(Dicenirarchus labrax)* larvae. *Fish Physiol. Biochem.,* 12, 399-408.

فهرست اختصارات و لغات تخصصی

آمینو اسید	AA
نیازهای مطلق یا نیازهـای مـرتبط بـا حیـوان، بـرای مثـال، مقـدار در روز(فصل۲)	absolute requirements
مسیرهای جذب	Absorption routs
عبور (مواد مغذی) از دیواره روده(فصل ٤)	Absorption
افزایش در وزن جزئی از یک ارگانیسم، برای مثال، پروتئین ها در طول رشد	accretion
یکی از فرآیندهای جذب مواد مغذی(فصل ٤)	active transport
فیبر دترژنت اسیدی (فصل ۸)	ADF
آدنوزین دی فسفات	ADP
خصوصیت ارگانیسم هایی که آمونیاک را بـه عنـوان نیتروژنـی اصـلی حاصل از متابولیسم پروتئین تولید می کنند.	Ammonotelic
آدنوزین مونوفسفات	AMP
عوامل ضد تغذیه ای	antinutritional factors
در آناتومی، نزدیک به راس(سر)	apical
یکی از تعاریف ضریب بهره وری گوارشی(فصل٤)	apparent digestibility coefficient (ADC)
تمایل حیوان به مصرف غذا	appentence
از سخت پوستان ابتدایی(آبشش پایان) از جنس *Artemia* که به عنـوان غذای زنده در آبزی پروری استفاده می شود (فصل ۱۳)	artemia
غذای ساختنی	Artificial food
آدنوزین تری فسفات	ATP
جاذب ها	Attractants
این اصطلاح در مورد مواد مغذی هضم نشده (هیدرولیز شـده)م بکـار می رود(فصل ۲)	Availability
ترکیبات همبند	Binding agents
تغییر شکل یک مولکول توسط موجود زنده، مثل فرآیند افزایش طول و غیر اشباع شدن PUFAs در علم تغذیه(فصل ۷)	Bioconversion
برآورد کمی وزن کل موجودات زنده در مقایسه با کـل یـا بخشـی از یک جمعیت	biomass
وزن بدن (اصطلاحی که در این کتاب به جـای body weight بـه کـار رفته است)	body mass
یک جنس از شاخه روتیفرا که در سطح وسیع به عنوان غذای زنـده در آبزی پروری استفاده می شود(فصل ۱۳)	*Brachionus*
آمینواسیدهای منشعب	Branched amino acids

سلول های گوارشی سطح روده میانی با تعداد زیادی میکروپرز (فصل ٤)	brush border
شناوری	buoyancy
ارزش بیولوژیکی (یک پروتئین) : درصد نیتروژن غذایی مصرف شده برای رشد و نگهداری بدن (فصل ٦)	BV
دریافت شیمیایی	Chemoreception
پوشش دار کردن	Coating
ضریب بهره وری هضم	Coefficient of DigestiveUtilization (CDU)
در علم آمار به ارتباط بین واریانس و میانگین اتلاق شده و به صورت درصد بیان می شود (فصل ۲)	Coefficient of variation(CV)
ترکیب غذایی حاصل از چند جزء سازنده	Compound feed
گرفتن غذا از محیط	Consumption
زیر رده ای از سخت پوستان، از انواع زئوپلانکتون ها (فصل ۱۳)	Copepod
فیبر خام اندازه گیری شده به روش Weende (فصل ۸)	Crude fibre
پروتئین برآورد شده از طریق محتوای نیتروژنی (N×٦/٢٥)	Crude protein
خرد کردن	Crumbling
نرخ رشد روزانه، ضریب مورد استفاده در رسم منحنی رشد(فصل ۲)	daily growth rate
انرژی قابل هضم (فصل ۵)	DE
شاخص رشد روزانه	DGI
غذا یا جیره غذایی	Diet
جیره غذایی	Dietary
نرخ نسبی هضم پذیری غذا (فصل ٤)	digestibility
قابلیت هضم یک ماده غذایی	digestible
غده ای در بسیاری از بی مهرگان از جمله سخت پوستان با عملکردهای مختلف خصوصاً جذب و هضم (فصل ۱۵)	digestive gland
بهره وری غذایی در دستگاه گوارش (از هضم تا جذب)(فصل ۲)	digestive utilisation
در آناتومی، دورتراز انتهای قدامی و مقابل proximal	distal
پروتئین های قابل هضم	DP
بخش قدامی روده کوچک	Duodenum
آمینو اسیدهای ضروری(فصل ٦)	EAA
(واژه مترادفpoikilothermy). حیوانات بدون مکانیسم تنظیم دمای داخلی بدن (دمای داخلی آنها نزدیک به دمای محیط است)	Ectothermy
زیر شاخه ای از Chondrichthyes	Elasmobranch
نفوذ مولکول ها به داخل سلول پیش از هیدرولیز(فصل ٤)	Endocytosis
مرحله تغذیه داخلی	Endotrophic phase
مصرف انرژی	Energy expenditure
غنی سازی	Enrichment
سلول تشکیل دهنده بخشی از دیواره روده(فصل ٤)	Enterocyte
مقدار گرما (فصل ۵)	enthalpy

مواد‌ی که موجود زنده قادر به سنتز آنها نیست و باید در جیره غـذایی گنجانده شوند (مانند آمینواسید، اسیدهای چرب) (فصل ۲)	essential
ارگانسیم های قادر به تنظیم اسمزی در دامنه وسیع شوری	euryhaline
ارگانیسم های قادر به تحمل دامنه وسیع حرارتی	eurythermic
فرآیند تخلیه مواد زائد ناشی از کاتابولیسم (فصل۷)	Excess
مقادیر اضافی	Excretion
مرحله تغذیه خارجی	Exotrophic phase
پخت به روش اکستروژن	Extrusion cooking
اسید چرب	FA
یکی از مکانیسم های مرتبط با جذب مواد مغذی (فصل ٤)	facilitated diffusion
مدفوع	Faeces
ارتباط بین تولید و مصرف غذا برای ارزیابی عملکرد جیره های غذایی (معمولا به صورت افزایش وزن بدن)(فصل ۲)	feed conversion efficiency
نسبت بین غذای خورده شده به تولید(معمولا به صورت افزایش وزن بدن)	feed conversion ratio (FCR)
کربوهیدرات های غیر قابل هضم (فصل ۸)	fibre
ترکیبات پرکننده	Filling agents
زنجیره ای از موجودات زنده در سطوح غذایی متوالی در یک اکوسیستم بطوریکه در ابتدای زنجیره تولید کننده های اولیه، سپس علفخواران و در آخر گوشتخواران قرار دارند.	Foodchain
جنین آزاد	Free embryo
پرورش و نگهداری یک موجود زنده تا رسیدن به اندازه برداشت	growing out
ضریب رشد	Growth Coefficient (GC)
غده اصلی گوارشی در سخت پوستان و صدف داران	hepatopancreas
روده خلفی	Hindgut
اسیدهای چرب به شدت غیر اشباع	HUFA
بخش میانی روده کوچک	ileum
اندازه گیری غیر مستقیم انرژی حرارتی رها شده در جریان تبادلات تنفسی موجود زنده (فصل ٤)	indirect calorimetry
مصرف غذا	Ingestion
همه غذاها به جز غذای زنده	inert feed
مواد خام یا سایر ترکیبات تشکیل دهنده غذاهای ساختنی	ingredient
مصرف (با اصطلاح جذب اشتباه نشود)	intake
بخش میانی روده کوچک، بین ileum وduodenum	jejunum
هر عامل زیست محیطی که در سطحی زیر سطح اپتیمم وجود داشته و موجود زنده را از رسیدن به سطح کاملی از پتانسیل بیوتیک خود باز می دارد	limiting factor
غذای زنده	Live prey
مولکولی که پس از هضم مواد مغذی تولید می شود (فصل ۲)	Macronutrient

فرآیندی تضمین بقاء موجود زنده بدون هیچ گونه مواد و ترشحات دفعی	Maintenance
نیازهای نگهداری	Maintenance requirments
انرژی قابل سوخت و ساز	ME(Metabolised energy)
سیر متابولیک	Metabolic flux
بهره وری غذا درون موجود زنده (تجمع، تغییر و تبدیل زیستی، کاتابولیسم و غیره) (فصل ۲)	metabolic utilisation
تکنیکی که پرورش لارو ماهی یا سخت پوستان را از طریق تغذیه با جیره های ساختنی تسهیل می کند؛ شامل تولید یک جیره میکرو با اندازه مناسب حاوی اجزاء سازنده غذای نظیر مخمر که توسط یک غشا یا چسب کپسول دار می شوند.	Microencapsulation
روده میانی	Midgut
نیاز مواد معدنی	Mineral requirements
بهره وری	Mobilization
سازمانی آمریکایی که کمیسون های تخصصی آن استاندارهای مربوط به تغذیه حیوانات را منتشرمی کنند	National Research Council (NRC)
اولین مرحله لاروی اکثر سخت پوستان (فصل ۱۶)	nauplius
فیبر دترژنتی خنثی	NDF
انرژی پایه (فصل۵)	NE
آمینواسیدهای غیر ضروری(فصل۶)	NEAA
مصرف پروتئین خالص	Net protein utilisation
معیار توصیف بهره وری پروتئین کل (فصل ۵)، بخشی از پروتئین (نیتروژن) نسبت به کل پروتئین مصرف شده که توسط حیوان در بدن ذخیره می شود.	net protein value (NPV)
کل کربوهیدرات برآورد شده که از طریق تفاضل کل مواد آلی و مجموع پروتئین ها، لیپیدها و فیبرهای خام به دست می آید.	nitrogen-free extracted
ماده ای که غذا را تامین می کند	Nutrient
سطوحی از مواد مغذی مورد نیاز برای بهترین عملکرد یک حیوان (فصل ۲)	nutritional requirements
مری	Oesophagus
عوامل استروژنی	Oestrogenic factors
تاریخچه تکامل	Ontogeny
عناصر ریز مغذی کمیاب	Oligo- elements
ویژگی یک غذا که منجر به ایجاد اشتها در حیوان می شود	palatibility
یکی از مکانیسم های مرتبط با جذب ماده مغذی (فصل ٤)	passive diffusion
فرآیند اکسیداسیونی موثر بر برخی اسیدهای چرب (فصل ۷)	Peroxidation
اغلب با endocytosis مترادف بوده اما در جذب مایعات دخالت دارد	pinocytosis
فسفولیپید	PL
پست لارو n روزه	PLn

مترادف با ectothermy	Poikilothermy
آلاینده ها	Pollutants
محدوده (دما، شوری و غیره) ایجاد کننده بهترین شرایط برای یک گونه	preferendum
اصطلاح تخصصی مربوط به شروع دوره پرواربندی قبل از انتقال حیوان به واحدهای اصلی پرواربندی	pre-grow out
ذخیره انرژی موجود در مواد آلی توسط یک ارگانیسم، جمعیت یا جامعه	production
نسبت افزایش وزن بدن به پروتئین (فصل ٦)	protein efficiency ratio (FER)
ارزش پروتئین تولیدی	Protein Productive Value (PPV)
ضریب مصرف پروتئین	Protein Utilization Coefficient (PUC)
در آناتومی، نزدیک به انتهای پیشین	proximal
اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (فصل ۷)	PUFA
غذای تولید شده از عناصر خالص شده از طریق آنالیزهای ویژه	purified diet
ضریبی که توسط آن نرخ فرآیند بیوشیمیایی یا فیزیولوژیکی (برای مثال فعالیت آنزیمی) به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتیگراد دما، افزایش می یابد	Q_{10}
مقدار غذای داده شده	ration
برقراری یا تعیین جیره ها. ضرورتا به معنی محدود شدن غذا نیست(فصل ۲۲)	rationing
نیازهایی که نسبت به غذا بیان می شوند (برای مثال، به صورت درصد)(فصل ۲)	relative requirements
تعداد گروههایی که در یک آزمایش تحت تیمار مشابه قرار می گیرند	replication
نیازهای تولید مثل	Reproduction requirements
اختلاف بین جذب و دفع در یک حیوان، با بازدهی مثبت	Retention
نوزاد دارای کیسه زرده	Sac fry
فعالیت دینامیکی ویژه (بهره گرمایی در فصل ۵ ملاحظه شود)	SDA
از زیر شاخه های ماهیان غضروفی شامل کوسه ها و سپرماهیان	Selachii
ترشح	Secretion
برای توصیف یک ماده مغذی مهم که صرفا توسط موجود زنده از ماده مغذی ضروری سنتز می شود	semi-essential
ضریب تعیین کننده منحنی رشد (فصل ۲)	specific growthrate (SGR)
موجودات زنده ای که در یک دامنه محدودی از شوری قادر به زندگی هستند	stenohaline
پایداری	Stability
موجودات زنده ای که در دامنه محدودی از دما قادر به زندگی هستند	stenotherm
نگهداری	Storage

اصطلاحی که برای توصیف وجود مواد رسوبی در آب محیط پـرورش استفاده می شود	suspended solid
تری آسیل گلیسرول (نام جدید تری گلیسریدها)	TAG
چرخه تری کربوکسیلیک اسید	TCA cycle
بزرگترین گروه از ماهیان استخوانی متعلق به زیر رده Actinopterygii	Teleostei
عناصر کمیاب	Trace elements
اسیدهای چرب اشباع نشده	Unsaturated fatty acids
مواد زائد حاصل از متابولیسم پروتئین مثل اوره و اسید اوریک	urotelic
تغییر پذیری	Variability
مصرف ارادی غذا	Voluntary intake
افزایش وزن	Weight gain
ذخیره زرده	Yolk

فهرست اسامی متداول و علمی گونه‌های مذکور در کتاب

South Pacific anchovy, South American anchovy	*Engraulis ringens*
European eel	*Anguilla anguilla*
Japanese eel	*Anguilla japonica*
Artemia, brine shrimp	*Ariemia sahna*
Atipa	*Hoplostermurn littorale*
Ayu	*Plecoglossus altivelis*
Sea bass	*Dicentrarchus labrax*
Striped bass	*Morone* sp.
Tropical sea bass	*Lales calcarjfer*
Brill	*Scophthalmus rhombus*
Smailmouth	*Micropterus dolomieui*
Largemouth	*Micropterus salmoides*
Pike	*Esox* sp.
Capeli n	*Malltotus villosus*
Goldfish	*Carassius carassius*
Silver carp	*Hypophtalmichrhys molitrix*
Common carp	*Cyprinus carpio*
Grass carp	*Crenopharyngodon idella*
Indian major carp	*Catta catta*
Sculpin	*Coitus* sp.
Giant fresh water shrimp (prawn)	*Macrobrachiurn rosenbergii*
White fish	*Coregonus* sp.
Fiddler crab	*Uca pugilator*
Blue shrimp (prawn)	*Penaeus vannamei*
Common prawn	*Palacmon serratus*
Chinese shrimp (prawn)	*Penaeus chinensis (orientalis)*
Indian shrimp (prawn)	*Penaeus indicus*
Japanese shrimp (prawn)	*Penaeus japonicus*
Tiger shrimp (prawn)	*Penaeus monodon*
Red sea bream	*Chrysophrys major*

Gilthead sea bream	*Chrysophrys aurata*
European crayfish (crawfish)	*Astacus fluviatilis*
Haddock	*Gadus eglefinus*
Smelt	*Osmerus* sp.
Stickleback	*Gasterosteus aculeatus*
White sturgeon	*Acipenser transmontanus*
Siberian sturgeon	*Acipenser baeri*
FIounder	*Platichthys flexus*
Halibut	*Hypoglossus* sp.
(Japanese) puffer	*Fugu* sp.
Herring	*Clupea harengus*
Japanese flounder	*Paralichihys olivaceus*
American lobster	*Homarus americanus*
Knit	*Euphasia superba*
Sand eel	*Ammodytes tobianus*
Saithe	*Pollachius virens*
Dab	*Limanda limanda*
Blue ling	*Mova dypterygia* or *M.byrkelange*
M ackerel	*Scomber* sp.
Medaka	*Oryzias latipes*
Menhaden	*Brevoortia* sp.
Hake	*Merluccius* sp.
Grouper	*Epinephelus* sp.
Cod	*Gadus morhua*
Mullet	*Mugil* sp.
Grayling	*Thymallus thymallus*
Red drum	*Scianops ocellatus*
Couch’s sea bream	*Pagrus pagrus*
Perch	*Perca flu viatilis*
Plaice	*Pleuronectes platessa*
African catfish	*Clarias gariepinus*
Channel catfish	*Ictalurus punctatus*
Milk fish	*Chanos chanos*

Skate	*Raja* sp.
Yellow pickerel	*Stizostedion vitreurn*
Pilcharcl, sardine	*Sardina pitchardus*
American. South African, Japan plichard	*Sardinops* sp.
Pacific salmon	*Oncorhynchus* sp.
Sockeye salmon	*Oncorhynchus gorbuscha*
Coho salmon	*Oncorhynchus kisutch*
Atlantic	*Salmo salar*
Chum sa	*Oncorhynchus keta*
Chinook	*Oncorhynchus tshawytscha*
Red fish	*Sehastes* sp.
Cuttlefish	*Sepia* sp.
Yellowtail	*Seriola quinqueradiata*
Sheatfish	*Silurus glanis*
Sprat	*Sprauus sprattus*
Dover sole	*Solea solea*
Pout	*Trisopterus luscus*
Zilli tilapia	*Tilapia zilli*
Blue tilapia	*Oreochromis aureus*
Mozambique tilapia	*Oreochromis mozambicus*
Nile tilapia	*Oreochromis niloticus*
Rainbow trout	*Oncorhynchus mykiss* (ex. *Salmo gairdneri)*
Brown trout	*Salmo trutta*
Turbot	*Scophthalmus maximus*

«فصل ۱»

مقدمه

تا اواسط قرن بیستم مطالعات انجام شده صرفاً پیرامون آناتومی دستگاه گوارش موجودات و برخی جنبه‌های فیزیولوژیک گوارشی یا تغذیه حیوانات در محیط زیست طبیعی آنها صورت می‌گرفت. در پایان قرن نوزدهم پرورش ماهی به سمت تولید گونه‌های گوشتخوار در استخرها و مخازن پیش رفت، از آن پس تغذیه ماهیان پرورشی که پیش از این متکی به غذاهای طبیعی بود، به تغذیه دستی توسط انسان وابسته شد. اولین نوع غذای ترکیبی تحت عنوان پلت‌های تر اورگون، در دهه ۱۹۵۰ از مواد مغذی مختلف ساخته شد که نیازهای ماهیان پرورشی را به بهترین نحو ممکن برآورده می‌کرد. تولید پلت‌های خشک در پایان دهه ۱۹۵۰ در آمریکا و در اوایل دهه ۱۹۶۰ در اروپا آغاز گردید. از آن زمان به بعد، پرورش ماهی در ردیف تولیدات کشاورزی قرار گرفت و بررسی ها پیرامون احتیاجات غذایی آبزیان گسترش یافت. اگر چه عملاً این مطالعات، پیش از این و در اوایل دهه ۱۹۴۰ در کورتلند (آیداهو، ایالات متحده) آغاز گردید اما از دهه ۱۹۶۰ به بعد تلاشهای قابل ملاحظه‌ای در جهت انجام مطالعات تغذیه‌ای اختصاص یافت. در حال حاضردر سراسر دنیا، بیش از بیست تیم تحقیقاتی به انجام مطالعات پایه‌ای و کاربردی در زمینه تغذیه آبزیان مشغولند و به رغم شروع دیر هنگام، بواسطه وجود اطلاعات در زمینه نیازهای غذایی گونه‌های خشک زی، بسرعت به پیشرفت دست یافتند. گرچه عادات غذایی برخی ماهیان نظیر قزل‌آلای رنگین‌کمان (برای سادگی در این کتاب قزل‌آلا نامیده می‌شود) بخوبی شناخته شده است اما این در حالیست که هنوز در ارتباط با گونه‌های زیادی از ماهیان، اطلاعات محدودی وجود دارد.

در مجموع علم تغذیه آبزیان از سویی بواسطه جوان بودن و از سوی دیگر، به دلیل ویژگیهایی از جمله: خصوصیات زیست محیطی و تغذیه‌ای ماهی، با مشکلات بسیاری همراه است. متخصصین علوم تغذیه آبزیان از جمله فیزیولوژیست‌ها با موانع متعددی مواجه هستند. انجام آنالیز ترکیب بدن ماهی ساده‌تر از پستاندار است، ولی تعیین مقدار غذای خورده شده و بنابراین برآورد هزینه آن در رابطه با ماهی و حتی میگو بسیار دشوارتر از یک حیوان خشک زی است. از سویی، تکنیکهای رایج در این زمینه، از دقت کمتری نسبت به تکنیکهای مورد استفاده برای حیوانات خشک زی برخوردارند. همچنین مطالعه تغذیه لاروها و بچه ماهیان به دلیل وجود مشکلات بزرگتر با سرعت کمتری صورت می گیرد. مطالعه در این مرحله به سبب اندازه کوچک آبزیان، تکامل سریع آنها تا مرحله نوجوانی و بروز خصوصیاتی متفاوت از مهره داران، بسیار دشوار می‌باشد.

۱-۱ - منشأ صفات تغذیه‌ای ماهیان و سخت‌پوستان

همانطور که در جدول ۱ـ۱ مشخص شده است، ویژگیهای تغذیه‌ای ماهی دارای سه منشأ زئولوژیک (جانور شناسی)، بیولوژیک و اکولوژیک است. ماهیان بسیار متنوعند. براساس برآوردهای اخیر تعداد گونه‌های ماهیان استخوانی[1] به تنهایی، تقریبا برابر با مجموع سایر مهره‌داران از جمله دوزیستان، خزندگان، پرندگان و پستانداران می‌باشد. هرچند به عقیده برخی تاکسونومیستها (متخصصان رده بندی)که در مطالعات خود از تکنیکهای مولکولی استفاده می کنند، این تعداد شناخته شده ممکن است نصف تعداد واقعی باشد. گرچه گونه های مختلف از نظر تکامل متفاوت بوده و هر یک از آنها با زیستگاههای مختلفی سازگار شده اند اما تنها تعداد اندکی از آنها مورد بررسی دانشمندان قرار گرفته اند. تعمیم اطلاعات حاصل از بررسی چندین گونه شناخته شده به تمامی ماهیان، یقینا گمراه کننده است و باید از مقایسه نتایج بدست آمده از هر منطقه با سایر مناطق اجتناب کرد.

[1] teleosts

جدول ۱-۱- ویژگیهای تغذیه‌ای آبزیان

منشأ ویژگی ها	نتایج
جانور شناختی	
٤٠٠٠٠ گونه (؟)	**تنوع زیاد بین گونه‌ای**
	تنوع احتیاجات
بیولوژیک	
مراحل لاروی	**عوامل ناشناخته(؟)**
رشد مداوم	**تفاوت نیازها همراه با افزایش سن(؟)**
فقدان معده	**فرآیند هضم منحصر بفرد**
فیزیولوژیک	
خونسرد بودن	**اثر دما بر فعالیت های گوارشی**
	کاهش انرژی مورد نیاز که بشدت با دما تغییر می کند.
دفع آمونیاک	**بهره‌وری نسبتا بالا از انرژی خالص پروتئینی**
اکولوژیک	
پایین بودن متوسط دمای بدن	**محدود بودن نقش فلور روده ای**
	دشوار بودن حفظ سیالیت غشا
	نیازهای منحصر به فرد به اسیدهای چرب
کمبود محتوای اکسیژنی	**نیاز به اکسیژن گیری و استفاده مداوم از تنفس غیر هوازی**
ویسکوزیته نسبتا بالای محیطی	**هیپرتروفی عضلات سفید- میزان زیادی پروتئین جهت سنتز این بافت مورد نیاز است (؟)**
چگالی بالای محیط	**کاهش نقش اسکلت بندی**
	کاهش نیاز به کلسیم و فسفر
انتشار مولکولی کند	**نقش نفش ویژه جاذبه های شیمیایی**
غنی بودن محیط از نظر عناصر ضروری	**تامین مستقیم املاح معدنی محلول ازمحیط اطراف**
زنجیره های غذایی منحصر به فرد (غالبیت گوشتخواران)	**کارآیی متفاوت منابع انرژی (کاتابولیسم شدید پروتئین و استفاده محدود ازکربوهیدرات ها)**
فراوانی اسیدهای چرب غیر اشباع	**کاهش قابلیت تبدیل زیستی**

ماهیان از ابتدایی‌ترین رده های مهره‌داران بوده که دارای خصوصیات اولیه می باشند. این ویژگیها شامل فقدان ماندیبولار[1]، فقدان معده در برخی خانواده‌ها، عدم تمایز روده کوچک وبزرگ، شاخصهای فیزیولوژیک از قبیل مکانیزم جذب از سلولهای دیواره روده از طریق پینوسیتوز[2] و تنظیم ناقص قند خون بعد از مصرف هیدراتهای کربن است. ویژگی دیگری که بین بی‌مهر گان و مهره‌داران ابتدائی‌تر متداول است رشد مداوم یا فقدان مرحله بلوغ به معنای واقعی است. از سوی دیگر، از جمله ویژگیهای ابتدائی ماهی که بدون شک از نظر عملی بسیار مهم است، وجود مرحله لاروی است. تنها درماهیان غضروفی[3] و برخی ماهیان استخوانی تخم‌گذار زنده‌زا[4] بچه ماهی نارس در مرحله پیشرفته‌تری متولد می شود و تقریبا تمام گونه‌های مناسب جهت آبزی‌پروری، تخم‌های کوچک و ریزی می‌گذارند. از این تخم‌ها، لاروهائی خارج می شوند که خصوصیات فیزیولوژی آنها هنوز بخوبی شناخته نشده و پرورش آنها اغلب دشوار است. بنابراین، انتخاب آزادماهیان به عنوان اولین ماهیان در آبزی‌پروری تصادفی نبوده است. در این خانواده بچه ماهیان نورس حاصل از تفریخ، براحتی مراحل دگردیسی[5] را طی می‌کنند. این خصوصیات اولیه از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند، ولی نیازهای ویژه مراحل لاروی باعث مشکلات اساسی در توسعه آبزی‌پروری شده و برای بسیاری از گونه‌های پرورشی، تغذیه مرحله لارو هنوز بر اساس روشهای کم وبیش تجربی صورت می‌گیرد .

ماهیان خصوصیات فیزیولوژیک متفاوت زیادی دارند. نه تنها سیستم هورمونهای درون‌ریز آنها با پستانداران و پرندگان متفاوت است، بلکه خونسرد بودن و دفع آمونیاک نیز از ویژگیهای دیگر منحصربفرد آنها محسوب می‌شود.

خونسرد بودن، مصرف انرژی را به شکلی موثر تحت تاثیر قرار می‌دهد، بنابراین نیازهای حیوان مستقیما به دمای محیط وابسته خواهد بود.

---

[1] mandibular
[2] Pinocytosis
[3] Selachions
[4] Ovoviviparous
[5] Metamorphosis

این ویژگی اثر مستقیمی بر روابط بین انرژی و مواد غذائی دارد. دمای بدن موجودات خونسرد، همواره پایین‌تر از موجودات خونگرم است و فقط در شرایطی قادر به زیست هستند که غشاهای سلولی بدن آنها انعطاف پذیر باقی بماند. این حالت از طریق گنجاندن مقدار زیادی اسید چرب غیر اشباع ایجاد می‌شود و یکی از عملکرد چربیها در بدن ماهیان محسوب می‌شود. این مشخصه، نه تنها در ماهی بلکه در همه موجودات آبزی خونسرد از خصوصیات مهم تغذیه‌ای محسوب می‌شود .

همه ماهیان دفع‌کننده آمونیاک نیستند، اما در ماهیان استخوانی بیشتر مواد دفعی نیتروژن‌دار به شکل آمونیاک دفع می‌شوند. این پدیده ارزش انرژی‌زائی خالص پروتئینها، همچنین آلودگی زیست محیطی حاصل از مواد دفعی نیتروژنی را توسط ماهی تحت تاثیر قرار می‌دهد .

بین محیط زیست ماهیان و محیط خشکی شباهت اندکی وجود دارد. فشار جزئی پایین اکسیژن همراه با چگالی و ویسکوزیته بالای آب منجر به ایجاد ویژگیهای مشترک در گروههای مختلف تاکسونومیکی آبزیان، بخصوص در رابطه با منابع متداول برای متابولیسم بی‌هوازی و ذخیره انرژی از طریق شناوری می‌گردد. از عواقب ثانویه این دو ویژگی، افزایش نرخ تهویه، همچنین هیپرتروفی فیبرهای عضله سفید (به علت متابولیسم غیر هوازی) و آتروفی اسکلتی است. وجود این خصوصیات در ساختار آبزی می‌تواند نیازهای غذایی را تحت تاثیر قرار دهد که برای مثال، برای رشد استخوان در ماهی به کلسیم و فسفر کمتری نسبت به یک چهارپا با بیوماس مشابه نیاز است.

محیط آبی حاوی اکسیژن و مولکول های غیر آلی محلول است که وجود برخی از این مولکول‌ها برای حیات موجود آبزی ضروری است. آبزیان در مقایسه با حیوانات خشک‌زی به علت توانایی جذب مستقیم برخی از مواد غذایی مورد نیاز خود از محیط، از مزیت بالایی برخوردارند. اما مولکول های محلولی که حیوانات را به سمت طعمه یا غذا هدایت می کنند، در آب بسیار کندتر از هوا پخش می شوند. جاذب‌های غذایی یا محرک‌های تغذیه[1] تحت شرایط خاص نظیر تغییر رژیم غذایی از غذای طبیعی به غذای ترکیبی، نقش مهمی را در تغذیه لارو یا بچه ماهیان بر عهده دارند.

تعریف کلی از نیازهای غذایی ماهی، بدون توجه به موقعیت آنها در زنجیره غذایی آبی امکان‌پذیر نیست.

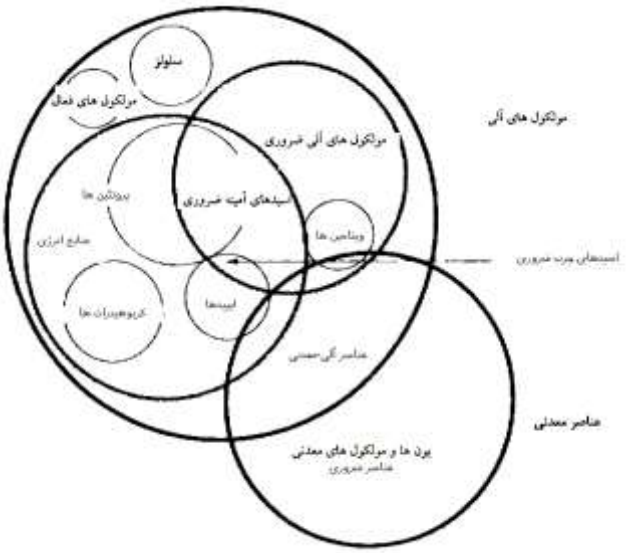
[1] Phagostimulants

زنجیر غذایی در محیط خشکی و در آب، با فتوسنتز شروع می‌شود. در خشکی، گیاهان عالی بوفور یافت می‌شوند درحالیکه در دریا اساس هرم غذایی را عمدتاً جلبک های تک سلولی تشکیل می‌دهند. در خشکی مهره‌داران علفخوار متعددی وجود دارند که برخی از آنها توسط انسان مورد مصرف قرار می‌گیرند، اما در دریا جلبک ها معمولا به وسیله ماهیان خورده نمی‌شوند، بلکه به مصرف زئوپلانکتون ها می‌رسند که این موجودات نیز توسط لارو ماهیان مصرف می‌شوند. حدود ۸۵ درصد از ماهیان دریایی را گوشتخوران سطح اول یا حتی سطح دوم زنجیره غذایی تشکیل می‌دهند و ماهیان علفخوار بزرگ بسیار نادرند. بر خلاف پرورش‌دهندگان سنتی حیوانات که اساسا به پرورش حیواناتی علاقه مندند که بخش عمده انرژی خود را از نشاسته و سلولز بدست می‌آورند، متخصصان آبزی‌پروری با آبزیان سروکار دارند که انرژی مورد نیاز خود را از طریق متابولیسم چربیها و پروتئین‌ها تامین می‌کنند.

نحوه تغذیه سخت‌پوستان بسیار منحصربفرد است. اگرچه عملکرد کلی دستگاه گوارش سخت‌پوستان مشابه مهره‌داران است، اما از نظر آناتومی تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. ترکیب اسکلت خارجی یا کاراپاس بسیار متفاوت از اسکلت استخوانی بوده و می‌تواند ظرفیت جذب مواد معدنی موجود در آب را از طریق پوست کاهش دهد. رشد همراه پوست‌اندازی در سخت‌پوستان، با ایجاد وقفه در جریان مواد غذایی[1] موجب می‌شود که این فرآیند هیچگونه شباهتی با مهره‌داران نداشته باشد. اما بسیاری از عوامل از قبیل خونسرد بودن، دفع آمونیاک و حتی ساختار زنجیره غذایی به طرز مشابهی احتیاجات غذایی ماهیان و سخت‌پوستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

اساساً، مجموعه مواد غذایی آلی و عناصر معدنی ضروری برای حیات ماهی، سخت پوستان و مهره داران عالی مشابه می باشد (شکل ۱-۱) و گاهی از نظر برخی نیازهای کمّی مهم نظیر اسیدهای آمینه ضروری یا ویتامین های محلول در آب با هم اختلاف دارند. این مطلب در مورد تمامی نیازهای کمّی صدق نمی‌کند و وجود این اختلافات در پستانداران و پرندگان بارزتر است که در فصل های بعدی به آن اشاره خواهیم نمود.

[1] Nutrient Flux



شکل ۱- ۱) نمودار احتیاجات غذایی کیفی حیوانات

مولکول های فعال : ترکیبات آلی در غذا که کارکرد مثبت (عوامل موثر بر رشد و غیره) یا منفی (مانند عوامل ضد غذایی) دارند (فصل ۸ و ۱۹)

((فصل ۲))

اصطلاحات و روشها

علم تغذیه نیز نظیر علوم فنی، اصطلاحات خاص خود را داشته که متشکل از واژه های تخصصی و عمومی با معانی خاص است و لازم است که این واژه ها در ارتباط با مبانی اصلی تعریف شوند.
اگرچه واژه تغذیه[1] اغلب برای بیان عمل غذادهی[2] بکار می‌رود، اما در این کتاب این اصطلاح به علم تغذیه[3] اختصاص داده می‌شود. علم تغذیه شاخه‌ای از علم فیریولوژی است و به مطالعه فعالیت‌هایی می‌پردازد که تامین مواد غذایی مورد نیاز جهت انجام فرآیندهای حیاتی یک موجود زنده را تضمین میکند. در اینجا، غذادهی به عنوان واژه‌ای کلی‌تر، به مفهوم غذای مورد استفاده برای تولیدات حیوانی و بخصوص برای هرچیزی که در تعیین نسبت‌ها و توزیع ذرات غذایی در جیره دخیل است، بکار خواهد رفت. ساخت غذاهای ترکیبی به دو بخش فرمولاسیون و تکنولوژی ساخت غذا (مراحل ساخت غذا) تقسیم می‌شود.

در یک نگاه، «تغذیه» به احتیاجات غذایی و انرژی می‌پردازد در حالیکه «غذادهی» به مواد اولیه خام مربوط می‌شود. گلوکز، اسیدهای‌آمینه و ویتامین‌ها از جمله مواد مغذی بوده که ترکیبات حد واسط غذا و مواد حاصل از متابولیسم را تشکیل می‌دهند.

---
[1] nutrition
[2] feeding
[3] Science of feeding

پروتئین‌ها، هیدراتهای کربن و چربیها در واقع ترکیبات اصلی غذا هستند که به اشتباه مواد مغذی نامیده می شوند. این مواد در واقع جزء ماکرونوترینت‌ها هستند اما این واژه در مورد آنها کمتر بکار می‌رود. عبارت «مواد مغذی انرژی زا» به آن دسته از ماکرونوترینتها اتلاق می شود که قادر به تولید انرژی هستند ولی انرژی حاصل از مواد غذایی بخودی‌خود یک ماده مغذی نیست. برخی محصولات قابل استفاده نظیر ماهیان کم ارزش[1]، بدون شک به شکلی رایج، نوعی غذا محسوب می‌شوند.

امروزه ترکیب غذاهای فرموله شده به گونه‌ای تعیین می‌شوند که تقریبا تامین‌کننده تمام غذای مورد نیاز ماهی در واحد های پرورشی پیشرفته می باشند. متخصصان تغذیه واژه «رژیم غذایی»[2] را برای غذادهی آزمایشی بکار می‌برند. در تغذیه، جیره غذایی همیشه بیان‌کننده مقدار غذای توزیع شده می‌باشد. محاسبه جیره غذایی در واحد وزن بدن، بیانگر نسبت غذادهی یا نرخ غذادهی است. همچنین جیره غذایی میتواند نشان دهنده درصد تغذیه بیشینه‌ای باشد که همان سطح غذادهی است و این به معنی درصدی از جیره‌غذایی است که حیوان تا مرحله سیری کامل از آن تغذیه می کند.

۱-۲ - تغذیه : بخشهای اصلی و ایده‌های بنیادی

تغذیه شامل مراحل رفتار تغذیه‌ای و گرفتن غذا، هضم و جذب (عمل گوارش)، متابولیسم موادغذایی و دفع مواد زاید می‌باشد.

اولین مرحله به اتولوژی یا علم رفتارشناسی حیوان مربوط است. وقتی که غذا خوش طعم باشد، حیوان اشتهای بیشتری برای خوردن غذا نشان می دهد. باید توجه نمود که در علم تغذیه، گرفتن غذا (شامل خوردن آن) را نمی توان جذب نامید. اصطلاح جذب به عبور مولکولهای غذایی یا غیرغذایی از دیواره روده (که در مفهوم بیولوژیک بخش خارجی موجود زنده محسوب می شود) به بخش داخلی اتلاق می شود. هضم ماکرونوترینت‌ها اولین مرحله از مصرف غذا قبل از انجام جذب است. این مرحله اغلب به عنوان قابلیت هضم[3] تعریف می شود که مفهومی بسیار کاربردی داشته و می توان با استفاده از معادله ای شامل مقادیر هضم و جذب ، مقدار آن را محاسبه نمود.

---

[1] trash fish
[2] Diet
[3] Digestibility

قابلیت هضم تنها در رابطه با مواد آلی و خشک و ماکرونوترینت ها بکار می‌رود. ضرایب قابلیت هضم در فصل ۴ تعریف خواهند شد. در ارتباط با ذرات غذایی، اصطلاح «قابلیت دسترسی»[1] استفاده می‌شود.

مرحله سوخت و ساز شامل یک سری فرآیندهای بیوشیمیایی است که تنظیمات آنها به عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیک وابسته است. فرآیندهای متابولیک معمولا از طریق اصطلاح حفظ یا تجمع یک ترکیب یا عنصر در توده بدن (اختلاف بین جذب و دفع) توصیف می‌شوند. زمانی که ابقاء غذا با افزایش بافت یا ترکیب شیمیایی مشخص (برای مثال، پروتئینهای بدن) همراه باشد، اصطلاح «ذخیره»[2] بکار می‌رود. در چنین مواقعی نباید از اصطلاح «جذب»[3] استفاده نمود (که از این پس در علم تغذیه کاربرد چندانی ندارد)، زیرا اغلب برای قابلیت هضم بکار می‌رود. ابقاء و دفع مواد غذایی مانند جذب، همواره با مقادیر مطلق تعریف می‌شوند و میزان آنها از طریق محاسبه ابقاء یا مصرف مواد غذایی تعیین می‌گردد که در فصول ۵ و ۱۱ توضیح داده خواهد شد. دفع، شامل تخلیه ترکیبات تولید شده در محیط داخلی است که تولیدات سنتز شده نظیر موکوس یا مواد جنسی[4] نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

امروزه متخصصان تغذیه بیشتر به سمت مطالعه نیازهای کیفی روی آورده اند. این نیاز ها شامل مولکول ها یا عناصر ضروری است که ذرات حیاتی نامیده می شوند و در صورتیکه این مواد مطلقا ضروری نباشند، تحت شرایط خاص به صورت ضروری یا نیمه ضروری در می‌آیند. امروزه اصطلاح نیمه ضروری کاربردی ندارد، ولی در این کتاب در ارتباط با آن دسته از مولکول‌هایی که از یک مولکول ضروری و تحت شرایط معین ساخته می شوند یا مولکول‌هایی که سنتز آنها دشوار است، بکار خواهد رفت. نیازهای کمی(مقادیر مورد نیاز از این مولکول ها یا عناصر) را به دو روش مختلف می توان مشخص نمود: نیازهای مطلق بصورت روزانه(برای مثال، میلی گرم به ازای هر مصرف کننده در روز یا میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن مصرف کننده در روز) و نیازهای نسبی به صورت مقدار یا نسبت (مثلا بصورت درصد جیره غذایی یا مقدار بر مگا ژول انرژی) ارائه می‌شوند. نیازهای هر مصرف‌کننده را می توان به دو بخش نگهداری و تولید تقسیم کرد. نگهداری، مرحله تامین غذای کافی برای مصرف کننده است بنحویکه نرخ انرژی صفر شود.

---

[1] Availability
[2] Accretion
[3] Assimilation
[4] sexual products

روش تحلیلی که در آن نیاز کل از طریق محاسبه نگهداری و رشد اندازه گیری می شود، در پرورش ماهی و سخت پوستان نسبت به پستانداران خشک زی ارزش کمتری دارد اما از این روش می توان تا حد معینی برای محاسبه جیره غذایی استفاده کرد. به منظور استفاده مفید از این روش در غذا دهی در ابتدا باید هر یک از نیازها را به استانداردی منطبق با دامنه ای از نیازها با حدود اطمینان مختلف، تبدیل نمود.

۲-۲ - برخی معیار ها برای تعیین بازدهی غذادهی

کارشناسان علوم جانوری اغلب کارآیی مصرف غذا را با استفاده از رابطه بین مقدار غذای خورده شده و افزایش وزن بدن محاسبه می کنند. این ضریب در واقع ، عکس عملکرد غذادهی بوده و ضریب تبدیل غذایی (FCR[1]) یا نسبت غذا به افزایش وزن (FGR[2]) نامیده می شود. باید توجه نمود که این رابطه صرفا تابع نوع غذا و حیوان نیست، بلکه به مقدار غذای خورده شده نیز بستگی دارد. درحقیقت، رابطه بین افزایش وزن بدن با مقدار غذای خورده شده یک رابطه خطی است ما نسبت مستقیم ندارد و متناسب با مقدار غذای خورده شده با توجه به شرایط نگهداری است. گاهی در آبزی‌پروری FCR از طریق افزودن وزن ماهیهای تلف شده به افزایش وزن بدن بدست آمده، مورد استفاده قرار می گیرد. بازدهی غذادهی عکس FCR بوده و چون به میزان ابقاء غذا در بدن محدود می شود، شاخص مناسب تری نسبت به FCR است و استفاده از آن به عنوان شاخص مصرف غذا توصیه می شود. سایر شاخص ها از قبیل نسبت کارایی پروتئین (PER[3]) را می‌توان برای بیان میزان مصرف پروتئین ها بکار برد. این شاخص تنها در رابطه با افزایش بیوماس است، درحالیکه سایر شاخص ها نظیر مصرف پروتئین خالص (NPU[4]) ، ضریب مصرف پروتئین(PUC[5]) یا میزان تولید پروتئین(PPV[6]) مقدار افزایش پروتئین بدن را نشان می دهند. همچنین با استفاده از ترکیب اسیدهای آمینه پروتئین‌ها، شاخص‌های بیشتری همچون شاخص شیمیایی و اسیدهای آمینه ضروری (یا شاخص Oser) را می‌توان محاسبه نمود. تعریف تمامی این شاخص ها در فصل ۶ ارائه شده است.

---

[1] Feed Conversion Ratio
[2] Feed Gain Ratio
[3] Protein Efficiency Ratio
[4] Net Protein Utilisation
[5] Protein Utilisation Coefficient
[6] Protein Production Value

بایستی توجه نمود زمانیکه یک ماده غذایی به عنوان یک عامل محدودکننده است (به عبارت دیگر در صورت کمبود آن، کارکرد زیستی حیوان افت شدید می کند) ، میزان قابلیت دسترسی آن ماده به عنوان معیاری برای بیان حداکثر مصرف بکار می رود. علاوه براینکه قابلیت دسترسی تابعی از هضم است، متعاقباً فرآیند جذب نیز با قابلیت دسترسی ارتباط داشته بنابراین، بیان روش مورد استفاده جهت محاسبه آن ضروری است.

۳-۲ - تعریف رشد

محصول اصلی ماهی ،گوشت است که بسادگی می توان با ثبت منظم افزایش وزن بدن برآورد نمود. معیار اصلی جهت اندازه‌گیری تولید، تعیین افزایش وزن در زمان مشخص است. افزایش بیومس در دوره‌های زمانی کوتاه مدت را می‌توان به عنوان تابع خطی زمان در نظر گرفت و اغلب نرخ رشد را به صورت افزایش وزن بر حسب درصد وزن متوسط بیان می‌کنند، اما نرخ رشد روزانه بیان‌کننده نرخ رشد در واحد زمان است. در بازه‌های زمانی طولانی‌تر نمی‌توان الگوی رشد را خطی فرض نمود بنابراین متخصصان علوم تغذیه معمولا از الگوهای نمایی نظیر $M = M_0 e^{kt}$ استفاده می کنند که M وزن بدن و t دوره زمانی است. توان منحنی،K ، مضربی از ۱۰۰ بوده که نرخ ویژه(SGR[1])نامیده می شود و بیانگر میزان رشد است.با این وجود، منحنی رشد حقیقی فقط در یک دوره زمانی کوتاه برای مثال، طی دوره لاروی به صورت نمایی است. (الگوی Muller – Fegua, 1990 ،کادر ۲-۱). رشد لحظه ای برابر با وزن بدن به توان ۲ است، در صورتیکه $r = 1$ باشد ، رشد نمایی بهترین حالت برای این مدل است. به طور کلی، در صورتیکه r متناسب با گونه‌ها و وضعیت فیزیولوژیک برآورد شود، بین مقادیر ۰/۵ تا ۰/۹ قرار میگیرد. همچنین رشد متناسب با شرایط دمایی (فصل ۵)، غذایی و پارامتر تصحیح می باشد. رشد لحظه‌ای[2] برابر با M^r است که r در محدوده ۰/۵ تا ۰/۹ می باشد.

اخیرا پیشنهاد شده که شاخص رشد روزانه (DGI[3]) جایگزین SGR گردد. این شاخص، در مقایسه با الگوی Muller- Fegua ،ساده تر است. در این شاخص، رشد متناسب با وزن بدن به توان $\frac{2}{3}$ است.

---

[1] Specific Growth Rate
[2] Instantaneous growth
[3] Daily Growth Index

اگر وزن بدن یک گرم یا حتی چند کیلوگرم باشد، این ضریب تغییر چندانی نخواهد کرد بنابراین، این ضریب نسبت به SGR امکان مقایسه بهتر نرخ رشد گروههای مختلف را فراهم می‌سازد. به‌بیان دقیق‌تر،این ضریب در هر شرایطی قابل قبول است. گرچه شاخص DGI هنوز بخوبی‌شناخته‌نشده‌است، اما درحال‌حاضر توسط برخی‌محققان‌و کارشناسان آبزی‌پروری بکار می‌رود.

سایر شاخص های پیشنهادی ، ضریب رشد (GC[1]) است. این شاخص برابر با نسبت DGI به مجموع دماها درجه حرارت(روز- درجه)است و در فیزیولوژی گیاهی بسیار کاربرد دارد و استفاده از آن در علوم جانوری به نوعی بدعت محسوب می‌شود. ازلحاظ تئوری، ضریب رشد(GC) امکان مقایسه گروههای پرورشی در دماهای مختلف فراهم می کند. اما دارای ایراداتی است که استفاده ار آن را با اشکالاتی مواجه می سازد. برخی شاخص‌ها در کادر ۲-۲ به طور خلاصه ارائه شده است.

٤-۲ - برخی از توصیه‌ها در مورد آزمایشهای تغذیه ماهی

در این کتاب آمار و آزمایشها مدنظر نیست، اما از آنجائیکه در فصول بعد مکررا به اغلب مطالعاتی که در آزمایشگاه انجام می شوند، اشاره خواهد شد در این فصل به برخی نکات خاص پیرامون مطالعات آزمایشگاهی اشاره خواهد شد.

نه، یا حذف یک ویتامین خاص بر بازماندگی موثر است ؟ همچنین در این آزمایشها، تخمین معیارهایی نظیر تعیین کمّی نیازهای تغذیه، یا برآورد ضریب هضم یا یک عامل اقتصادی مدنظر می باشد. بررسی یک فرضیه با احتمال بروز دو نوع خطا همراه است. خطای نوع اول و خطای نوع دوم که کارشناسان آماری آنها را بترتیب α وβ می نامند. نتایج حاصله هیچگاه دقیق نبوده و ممکن است با انواع دیگری از خطاها و طرح آزمایشاتی مستدل تر یا حتی اصلاح شرایط مجدداً مورد بررسی قرار بگیرند. هیچ آزمایشی مگر تحت شرایط خاص (گونه، وضعیت فیزیولوژیک، شوری، دما، اندازه مخزن، تعویض آب، طول دوره آزمایش، شرایط تغذیه ای و غیره)که باید توسط محقق کنترل شود، معتبر نبوده و مقایسه با سایر شرایط باید مورد به مورد و بصورت دقیق انجام شود.

[1] Growth Coefficient

کادر ۱-۲) تشریح رشد با استفاده از الگوی Muller – Feuga(1990)

معادله کلی (به شکل دیفرانسیل)

$$\frac{DM}{df} = \Gamma f_1(M)\, f_2(\theta)\, f_3(r)$$

M = وزن بدن

t = زمان

θ = دما

T = سطح تغذیه = درصد بیشینه جیره

Ґ= فاکتور تصحیح که عمدتا وابسته به شرایط محیط ، مهارت تکنیکی پرورش دهنده و شاخص های ژنتیکی و فیزیولوژیک حیوان است.

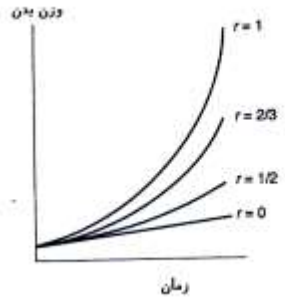
تابع رشد منطقی (Somatic function)

$\mathbf{f_1 = \acute{\Gamma}\, M^r}$

با انتگرال گیری از این تابع نرخ رشد ویژه (SGI) بدست می آید:

$$\frac{M^{1-r} - M_0^{\,1-r}}{(1-r)(t-t_0)}$$

در اینجا t_0 و M_0 مقادیر t و M در لحظه صفر می باشند.



ادامه کادر ۱-۲

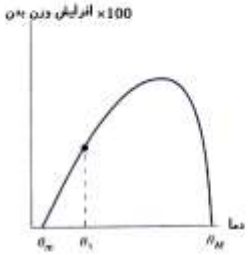
معادله دما

$$f = m^{\alpha(\theta_M - \theta)} - m^{\beta(\theta_M - \vartheta)}$$

θ_M= حداکثر دمای قابل تحمل توسط حیوان

m= جیره نگهدای

α,β = ضرایب



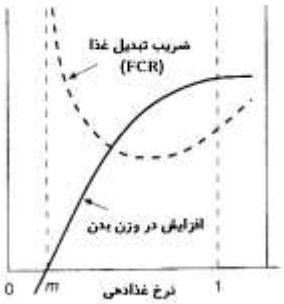
توجه شود که مقادیر این معادله در نزدیکی، θ_M حقیقی است ، اما در دماهای پایین تر از صحت کمتری برخوردار است و قبل از θ_1 ، منحنی نزدیک به محور **X** ها می شود.

معادله جیره غذایی روزانه :

$$f_3 = \frac{z(r)}{z(r_s)}$$

در این معادله ، **(**r**)** z بیانگر نرخ رشد است که بر حسب درصد نرخ رشد حاصل از جیره غذای بیشینه بیان می شود.

$\mathbf{r_s}$ سطحی از جیره غذایی است که بهترین حدواسط بین رشد بیشینه و FCR بوده و جیره نگهداری(m) است.



کادر ۲-۲) ضرایب اصلی مورد استفاده برای تخمین رشد ماهی و سخت پوستان

نرخ رشد روزانه :

$$DGR = \frac{M_f - M_i}{tM_i} \times 100$$

شاخص رشد ویژه:

$$SGI = \frac{M_f^{(1-r)} - M_i^{(1-r_0)}}{t^{(1-r)}} \times 100$$

نرخ رشد ویژه : (M=1)

$$SGR = \frac{\ln M_f - \ln M_i}{t} \times 100$$

شاخص رشد روزانه: ($M=\frac{2}{3}$)

$$DGI = \frac{M_f^{(\frac{1}{3})} - M_i^{(\frac{1}{3})}}{t} \times 100$$

M_i = وزن اولیه M_f = وزن نهایی

t = طول دوره (روز)

Ln = لگاریتم نپر

$\sum t\,\theta$ = مجموع درجه حرارت = حاصل جمع میانگین درجه حرارت روزانه (درجه سانتیگراد)

Muller – Feuga (1990) **:** این شاخص پس از تعیین ارزش r قابل استفاده است.

هدف از انجام آزمایش تغذیه، بررسی یک فرضیه است. برای مثال، آیا افزودن یک اسید آمینه خاص برای رشد مفید است؟ یا افزودن یک اسید چرب ویژه، ترکیب چربیهای بدن را تغییر می دهد یا از نظر بیولوژیک، دوره آزمایشهای آبزی‌پروری ثابت است و به منظور انجام مطالعات پیرامون رشد، در نظر گرفتن طول دوره آزمایش تا سه برابر شدن بیوماس توصیه می شود.

در رابطه با بررسی تاثیر ویتامین ها باید از حیوانات جوان استفاده نمود، بگونه ای که در برخی مواقع میتوان شاهد افزایش ده برابر بیوماس اولیه بود.

تعداد ماهی مورد استفاده مسئله کاملا متفاوتی است. بندرت می توان ماهی را به صورت انفرادی پرورش داد. از اینرو با استفاده از روش علامتگذاری می‌توان رشد هریک از ماهیها را کنترل نمود. البته این روش را نمی توان جهت اندازه‌گیری میزان هضم و متعاقب آن، میزان مصرف مواد غذایی بکار برد. به این ترتیب، بررسی ها روی گروهی از ماهیان انجام و عملکرد کلی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در حقیقت، در مطالعات آماری هر گروه واحد آزمایشی را تشکیل می دهد. با وجود اعتبار این روش، در کاربرد آن محدودیتهایی وجود دارد. برای مثال، بازدهی تغذیه یک جیره غذایی برای یک گروه برابر با میانگین بازدهی هر یک از افراد آن گروه نمی باشد و همچنین امکان اصلاح بیومس در مورد مرگ ومیر وجود دارد، اما در مورد بازدهی تغذیه امکان‌پذیر نیست.

از نظر تئوری، تعداد تکرارهای (گروههای آمار) مورد نیاز برای خطای نوع اول و دوم را می توان بسادگی محاسبه نمود. به منظور مشخص کردن دامنه تغییرات(D) و ضریب تغییرات (CV) یک معیار مشخص، می توان به جداولی که تعداد تکرارهای مورد نیاز برای نسبت $\frac{D}{cv}$ را بیان داشته‌اند، مراجعه نمود. درصورتیکه مطالعه آماری مورد نظر به دقت زیاد نیاز داشته باشد یا تغییرپذیری واریانس جمعیت در رابطه با شاخص مورد مطالعه، بالا باشد، باید تعداد تکرارهای نمونه‌برداری را افزایش داد. CV بیوماس جمعیت ماهیان پرورشی تقریبا دو برابر مهره داران خشک‌زی است. از طریق رقم بندی می توان CV را کاهش داده و گروههای بسیار همگن باCVهای۲،۳ یا حتی یک درصد را ایجاد نمود و چنانچه از فرمول $\frac{D}{cv}$ برای این گروههای همگن استفاده شود، تعدادتکرارها بسیار کاهش یافته و به ۳ یا ۴ تکرار خواهد رسید. البته شایان ذکر است که در گروههایی که به صورت مصنوعی همگن شده اند، به دلیل پیدایش مجددسلسله مراتب چیرگی، مقدار CV نهایی که در این گروهها کاهش یافته ، می تواند دوباره به حد بالاتر از میزان اولیه در گروههای نا همگن برسد. در عمل ، این روش کاربرد چندانی ندارد و از سویی، روشهایی که امروزه با استفاده از تکرار های ۴،۳ یا ۵ تایی توسط تعداد زیادی از محققان بکار می‌رود، بیانگر یک آزمایش دقیق و تحت شرایط ایده‌آل نیست.

شایان ذکر است که CV نه تنها در مورد جوامع پرورشی و روش های مرتبط با آن ، بلکه نسبت به عواملی نظیر محتوای پروتئین بدن، ضریب هضم ، بازدهی غذایی ، افزایش بیوماس و فعالیت آنزیمی متفاوت است.

بنابراین، احتیاط در تفسیر نتایج حاصل از آزمایشها و کاربرد آنها ضروری است. استفاده از نتایج آزمایشگاهی، به عنوان الگویی در انجام کارهای عملی به ما در کسب نتایج مطلوب کمک می کند اما در مقابل ، مشاهدات میدانی و داده های عملیاتی که با طی دوره‌های طولانی‌مدت در مورد تعداد زیادی از حیوانات حاصل شده است، بندرت با مقایسه‌های آماری و نتایج حاصله مطابقت دارد.

«فصل ۳»

رفتار تغذیه‌ای و تنظیم دریافت غذا

در آبزی‌پروری مدیریت مطلوب تغذیه ای، از طریق برقراری ارتباط تنگاتنگ بین مقدار غذای توزیع شده و غذای دریافتی توسط آبزیان ارزیابی می شود، هرچند دسترسی به این موضوع بسادگی امکان‌پذیر نیست. در بسیاری از موارد توزیع غذا، مازاد بر نیاز بوده و منجر به افزایش مصرف و آلودگی آب میشود. در حالت عکس چنانچه میزان غذای عرضه شده کمتر از نیاز ماهیان باشد، منجر به محدودیت رشد و در بسیار مواقع اختلاف در اندازه ماهیان می شود. عوامل متعددی بر میزان بلع غذا توسط ماهی تاثیر دارد که موجب شروع، تاخیر یا توقف فرآیند دریافت غذا از محیط می شود. این عوامل در دوره های زمانی کوتاه مدت یا بلندمدت تغییرات مشخصی را در رفتار تغذیه‌ای ماهیان ایجاد می‌کنند.

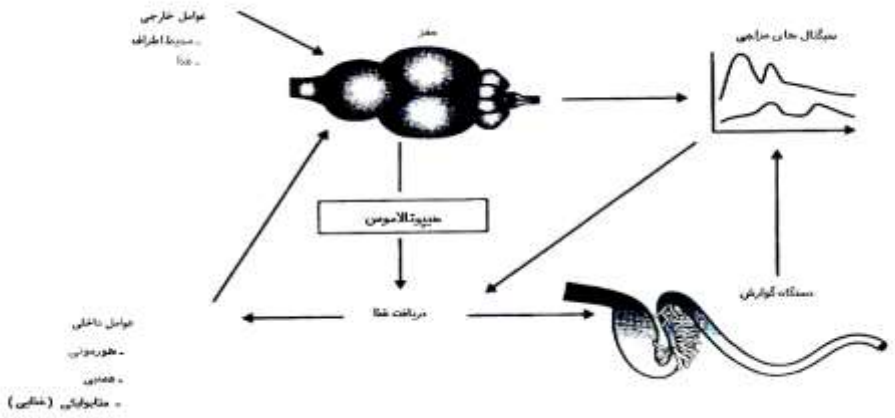
۳-۱- تنظیم مرکزی و محیطی دریافت غذا

هر چند موضوع بسیاری از مطالعات انجام شده پیرامون تغذیه ماهی، در زمینه مواد غذایی مورد نیاز ماهیان است اما میزان دریافت انتخابی غذا از محیط نیز در پاره ای از مواد مورد بررسی قرار گرفته است. در مهره داران خونگرم ، اطلاعات مربوط به محیط اطراف توسط حیوان با هم تلفیق و سازماندهی میشود و به این ترتیب ، مقدار دریافت انتخابی و ارادی غذا توسط سیستم عصبی مرکزی حیوان و محیط تعدیل می گردد.

ـ کنترل مرکزی توسط هیپوتالاموس انجام میشود که ایفاگر نقش اصلی در این زمینه است و هیپوتـالاموس عامل اصلی تحریک یا بازدارندگی دریافت ارادی غـذا از طریـق سیسـتم اعصـاب مرکـزی اسـت. مراکـز سیری و اشتها در آن اطلاعات تولیدی توسط عوامل مختلف فیزیکی، متابولیکی و غدد درون ریز را با هـم تلفیق می کنند (شکل ۱-۳).

ـ کنترل محیطی به شیوه های مختلف از جمله سیگنال های عصبی، باعث توقـف در تغذیـه مـی شـود. ایـن سـیگنالهای منتشـرده توسـط دسـتگاه گـوارش یـا مغـز (پپتیـدهایی نظیـر کولسیسـتوکینین[1]، بامبسـین[2] یـا سوماتوستاتین[3]) موجب ایجاد وقفه در تغذیه یا نشخوار کردن غذا می‌شوند و در تنظیم کوتاه‌مـدت تغذیـه نقش اساسی دارند.

برخی مطالعات نشان داده اند که عملکرد پیچیده این سیستم ها درجهت حفظ تعـادل وزن بـدن بـه نسـبت سن، اندازه، جنسیت و فصل با یکدیگر همکاری دارند. از جمله اطلاعات مورد علاقـه پـرورش‌دهنـدگان، مقدار غذای دریافتی توسط آبزی به ازای وزن بدن و در واحد زمان اسـت کـه نتیجـه فرآینـدهای تنظیمـی فوق است.



شکل ۱-۳) شمایی از نحوه تنظیم عصبی – هورمونی اشتها

[1] Cholecyctokinin
[2] Bombesine
[3] Somatostain

۲-۳ - روش های اندازه گیری میزان دریافت غذا

اغلب به منظور اندازه گیری مقدار واقعی غذای مصرفی، از میزان تغذیه ماهی تا حد سیری استفاده می‌شود. این روش هر چند در نگاه اول ساده بنظر می رسد، اما در حقیقت به درک واقعی موضوع توسط محقق بستگی دارد. این روش همچنین به انواع الگوهای قراردادی توزیع غذایی (تکرار، زمان بندی و فاصله بین وعده های غذایی) نیز وابسته بوده که الزاما مطابق با نحوه تغذیه ماهیان پرورشی در محیط طبیعی نیست.

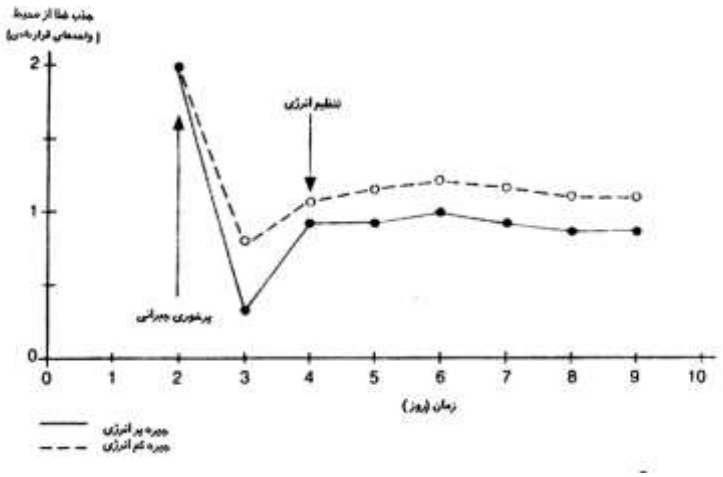
روش دیگر، توزیع غذای حاوی نسبت مشخصی از یک ماده قابل تشخیص توسط اشعه ایکس (برای مثال، خرده شیشه‌های بسیار کوچک) یا یک ترکیب نشاندار شده، است. این روش مزیتهایی دارد. با استفاده از این روش خطاهای ناشی از نشخوار کردن (بلع مجدد) یا ضایع شدن مواد غذایی، محدود شده و امکان مطالعه تغییرات خاص داخلی پس از بلع غذا فراهم می‌شود. اما نیاز به دستکاری نمونه ها پس از هر وعده غذایی (غذادهی جهت بررسی با اشعه ایکس) یا کشتن ماهی (در صورت استفاده از مواد نشاندار) این روش را محدود ساخته است. آخرین روش ارائه شده در این رابطه عادت دادن حیوان به تغذیه از طریق دستکاری اهرم موجود در دستگاه توزیع‌کننده غذاست. استفاده از چنین غذاده های تقاضایی، ماهی را نسبت به زمان بندی، تکرار و مقدار غذای مصرفی آزاد می گذارد. ازینرو، این روش احتمالاً تنها روش قابل اطمینان به منظور اندازه گیری میزان تغذیه تا حد سیری ماهی می باشد. اما تعدادی از گونه‌ها نظیر کفشک ماهی یا ماهیان خاویاری به سختی به غذادهنده ها عادت می‌کنند. علاوه بر این ، مقدار غذای توزیع شده در پاسخ به هر تقاضا باید دقیقاً مطابق با شرایط (گونه ها ،تراکم و....) در نظر گرفته شوند و کنترل مداوم غذای مصرفی توسط ماهی ضروری است.

استفاده از روشهای مختلف اندازه‌گیری می‌تواند اهمیت عوامل گوناگون موثر در مصرف غذا را مشخص می نماید. با توجه به منشاء درونی یا محیطی این عوامل، می توان آنها را به انواع تغذیه‌ای، محیطی یا رفتاری دسته‌بندی نمود.

۳-۳ - عوامل موثر بر مصرف غذا

۱-۳-۳) عوامل تغذیه‌ای

بسیاری از آزمایشها نشان داده‌اند که ماهی قادر به تشخیص دو غذای متفاوت از یکدیگر است. برای مثال، با استفاده از غذاده های تقاضایی در تغذیه قزل آلا مشخص شده است که پس از دو روز یادگیری، ماهی قادر به تشخیص غذاهای متشکل ازکازئین از غذاهای حاوی پودرماهی می باشد. وجود این قابلیت در ماهیان می تواندتوجیه مناسبی برای انتخاب وعده بعدی غذایی باشد. همچنین مشخص شده است که در شرایط خاص ماهی قادر به تفکیک غذاهایی است که در آنها کمبود یک ماده غذایی ضروری وجود دارد. بطوریکه در یک آزمایش، قزل آلا بعد از چندین روز توانست غذای حاوی عنصر روی را از غذایی با کمبود روی تشخیص دهد. متاسفانه قابلیت تشخیص دو نوع غذا و متعاقب آن تمایل به مصرف غذای فرموله شده مناسب، درتعداد کمی از گونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعمیم این توانایی به سایر گونه‌ها، خطرات زیادی بهمراه دارد. علاوه بر این، نمی توان عواقب ناشی از عرضه غذایی که دارای کمبود یک ماده غذایی است را پیش بینی نمود و با توجه به کمبود میزان و نوع ماده غذایی در جیره ممکن است افزایش یا کاهش مصرف غذا توسط ماهی بوجود آید. به علت ممانعت از کمبود مواد مغذی، باید جیره مصرفی مطابق با نیازهای انرژی ماهی و بر اساس محتوای انرژی قابل هضم غذا، تنظیم شود (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳) تفاوت در مقدار مصرف دو نوع جیره با مقادیر متفاوت انرژی بعد از یک دوره گرسنگی

این مسئله در مورد چندین گونه اثبات شده، اما باید با توجه به میزان انرژی جیره و سوابق تغذیه ای ماهی بهبود یابد. با توجه به اینکه اطلاعات کاربردی بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد میزان تنظیم انرژی (فوق العاده کم انرژی یا فوق العاده پرانرژی) به منظور دستیابی به بالاترین حد بازدهی، مشخص نشده است (فصل ۱۲). در گونه‌های دارای معده مشخص پس از طی دوره زمانی کوتاه به منظور تخلیه کامل معده، ملاحظه شدکه اولین وعده غذای مصرفی برابر با حجم معده است، زیرا گیرنده های عصبی حساس به فشار در دیواره معده، مقدار حداکثر غذای خورده شده را محدود کرده و در مکانیسم سیری شرکت می کنند. از طرفی تنظیم میزان غذای مصرفی بر اساس انرژی قابل هضم بعد از دومین یا سومین وعده غذایی وارد عمل می شود. همچنین برخی از محققان بیان داشته‌اند که در اولین روزها پس از طی دوره گرسنگی، مصرف انرژی غذای مصرفی کاملا به وضعیت تغذیه‌ای ماهی بستگی دارد، بطوریکه ذخیره بیشتر چربیها کاهش مقدار بلع را در پی دارد و عکس این حالت نیز صادق است. در نهایت، با استفاده از جاذبه‌های غذایی (فصل ۱۸) می‌توان بر بی‌اشتهایی غلبه کرده و مصرف غذا را در ماهیان تحریک نمود. موادی که بوفور در تغذیه لاروها مورد استفاده قرار می‌گیرند و باعث بهبود شروع تغذیه فعال شوند، جزء این دسته از ترکیبات محسوب می‌شوند (فصل ۱۳).

۲-۳-۳) عوامل زیست محیطی

در حیوانات خونسرد و بخصوص در ماهیها، دما مهمترین شاخص زیست محیطی موثر بر میزان مصرف غذاست. در رابطه با هر گونه، یک دمای اپتیمم وجود دارد که در آن میزان دریافت غذا به حداکثر میرسد و بطور کلی، هنگام افزایش دما به بیش از حد اپتیمم، میزان مصرف غذا همچنان بالا خواهد بود تا در یک آستانه دمایی خاص به یکباره نزول کند. با کاهش دما میزان مصرف غذا به بشدت کم شده تا اینکه در آستانه دمایی دیگری تغذیه ماهی متوقف می شود. در ماهیان با معده مشخص، نظیر آزاد ماهیان و گربه ماهیان دما بر زمان‌بندی بین وعده‌های غذایی موثر است. در دماهای پایین، وقفه بین وعده های غذایی نسبت به دماهای بالا طولانی‌تر است و این فاصله زمانی با دفعات خالی شدن معده که نسبت به دما نسبت عکس دارد، مرتبط است.

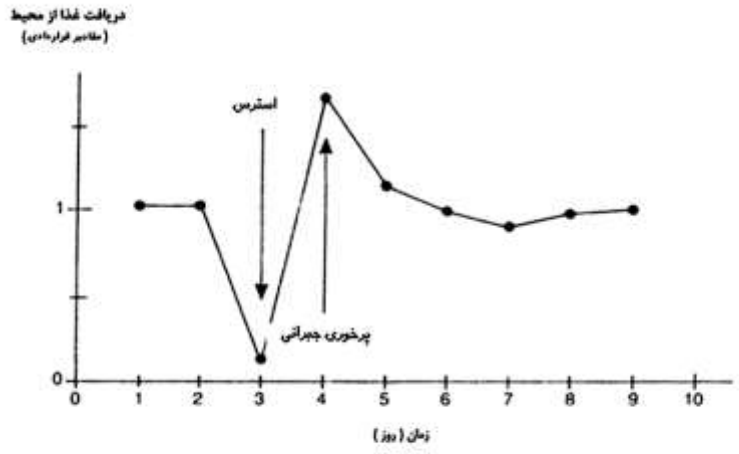
ماهیان نسبت به خصوصیات شیمیایی آبی که در آن زندگی می کنند نیز بسیار حساسند. برای مثال، در کپور معمولی، سطوح بالای آمونیاک یا نیتریت قبل از اینکه باعث مرگ ماهی شود، تغذیه را به طور کامل متوقف می‌کند. در قزل آلا نیز اکسیژن محلول کمتر از ۶ میلی گرم بر لیتر دارای اثری مشابه بر تغذیه ماهی است.

۳-۳-۳) عوامل رفتاری

جابجایی و دستکاری ماهیها یا حضور شکارچیان در اطراف قفس های پرورشی اغلب سبب ایجاد استرس و عدم تغذیه موقتی آنها می شود که معمولا این حالت تا زمان برطرف‌شدن عامل استرس‌زا بطول می‌انجامد. با شروع تغذیه مجدد ماهی، مقدار دریافت غذا از محیط به منظور جبران گرسنگی اجباری برای مدت کوتاهی، افزایش یافته و از این طریق اثر عامل استرس زا بر رشد، حذف یا کاهش می یابد (شکل ۳-۳).

برخی از عوامل دارای تاثیر طولانی‌مدت بر مصرف غذا در ماهیان هستند که در اصطلاح « استرس مزمن» نام دارند. برای مثال، اگر تراکم پرورش بسیار پایین باشد با بوجود آمدن غالبیت در بین گونه‌ها می توان شاهد بالا رفتن سریع عدم یکنواختی در نرخ رشد در ماهیان بود. در مقابل، در برخی گونه ها نظیر شانک ماهیان و Red porgy در صورت بالا بودن تراکم پرورش، ماهی ها مجبور به شنا درکنار یکدیگر نبوده و به دنبال کاهش فضای قابل زیست، مصرف غذا نیز کاهش می یابد.

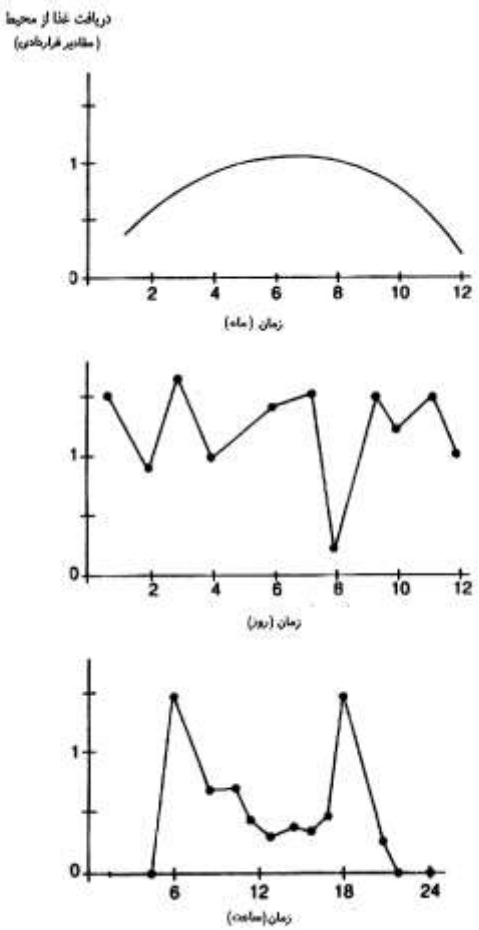
در شکل (۴-۳)، تغییرات موقتی در دریافت غذا از محیط ماهیها در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه شده است. تاثیر دمای مختلف ناشی از تغییر فصول در مصرف غذا شناخته شده است. اما در رابطه با اثر دوره‌های نوری در یک دمای ثابت بر مصرف غذا، اختلاف نظر زیادی وجود دارد . بسیاری از محققان بر این باورند که طول روز اثری بر مصرف غذا ندارد اما تغییر در طول روز بر مقدار دریافت غذا از محیط اثر می‌گذارد. از اینرو برای مثال، در ماهی آزاد اقیانوس اطلس افزایش طول روز در بهار باعث تحریک دریافت غذا از محیط می شود. تغییر در مصرف غذا نسبت به دوره‌های زمانی دوهفته ای یا یک ماهه ، توسط چندین محقق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار مصرف ارادی غذا حتی در شرایط آزمایشگاهی روز بروز تغییر می کند اما بندرت توجیهی در این رابطه بیان می شود.



شکل ۳-۳) تغییر در مصرف غذا به دنبال یک دوره اعمال استرس(برای مثال، اسارت- رهاسازی)

آخرین شاخص زمانی که مستدل تر از سایر معیارهاست، الگوی شبانه‌روزی تغذیه است. نتایج مطالعات مختلف بیانگر این نکته است که اکثر گونه‌ها در طول روز یا شب تغذیه می کنند. برخی گونه‌ها به تغذیه در طول روز تمایل دارند(گونه‌های روزگرد نظیر قزل آلا) و اغلب فعالیت تغذیه‌ای آنها در ساعات اولیه روز انجام می گیرد و در برخی مواقع قبل از غروب آفتاب نیز تغذیه می کنند. گونه هایی نظیر باس دریایی یا کپور معمولی، قابلیت تغییر الگوی تغذیه ای خود را دارند بنحویکه یک سال در روز تغذیه کرده و سال بعد به گونه های شب‌گرد تبدیل می شوند. معمولا توجیه این نوع تغییر رفتار حتی در زمان وفور دائمی غذا، دشوار است. برخی محققان بیان داشته اند که فعالیت تغذیه ای ماهی آزاد اقیانوس اطلس که یک گونه روز گرد است، هنگام افت دمای آب به زیر ۱۰ درجه سانتیگراد تغییرکرده و تبدیل به ماهی شب گرد می‌شود.

در تعیین نوبت‌های غذایی ماهی بر اساس معیار های زمانی مختلف، بررسی عوامل موثر ضروری است. در پاسخ به این سوال که آیا کنترل از طریق عوامل داخلی است یا صرفا توسط محیط صورت می گیرد؟



شکل ٤-۳) تغییرات موقتی دریافت غذا در مقیاس های زمانی گوناگون

داده های موجود در این زمینه بسیار محدود و ناقص بوده و طبقه بندی دقیق عوامل مختلف بر اساس الویت، دشوار است. بر اساس یافته های علمی موجود، از عوامل عمده محیطی موثر بر تغذیه، می توان به گردش ماه، روز، شب و همچنین دوره نوری و دما اشاره نمود.

با این وجود ، ساعت بیولوژیک بخشی از کنترل داخلی را بر عهده دارد. محققین بیان داشته اند که قزل‌آلا، باس دریایی و گربه ماهی کانالی در شرایط آزمایشگاهی می توانند نوبت های غذایی خود را در یک دوره زمانی ۲۴ ساعته تنظیم کنند که با تناوب روز و شب، این دوره زمانی حدود یک ساعت تغییر میکند.

پیامدهای فیزیولوژیک یا عملی ناشی از تحمیل غذا بوسیله پرورش‌دهنده ماهی در صورت غذادهی کمتر یا بیشتر از میزان مورد نیاز ماهی، شناخته نشده است، با اینحال، بهتر است تا جایی که امکان دارد اساس توزیع غذا را مطابق با الگوی گونه پرورشی قرار دهیم.

٤-۳ - خلاصه

عوامل مختلفی در مقدار مصرف غذا تاثیرگذارند و پاسخ هایی از جمله امتناع از غذا خوردن به صورت موقتی تا کم خوری و پرخوری را شامل می شوند. تنظیمات درونی جهت دریافت غذا از محیط، تحت‌تاثیر عوامل تغذیه ای قرار داد و میزان انرژی زایی آنها بسیار ضروری است. مقیاس‌های زمانی مختلف (شب و روز) نیز بر مقدار دریافت غذا از محیط موثر است. این متغیرها بیانگر مدیریت پیچیده توزیع غذاست و نیاز به توسعه استفاده از تکنیکهایی در زمینه غذا دهی تقاضائی ماهی را مطرح می کند.

((فصل ٤))

فیزیولوژی دستگاه گوارش و قابلیت هضم مواد غذایی در ماهی‌ها

اساس فیزیولوژی گوارش در ماهیان به طور عمده بر مبنای برخی مطالعات تشریحی و اغلب بسیار قدیمی قرار گرفته است. اغلب مطالعات اخیر در زمینه های مختلفی از جمله: مدت زمان هضم و عبور مواد غذایی، ساختمان مولکولی آنزیم ها، ساختار سلول های جذب کننده و ماهیت ونقش هورمون ها در دستگاه گوارش صورت گرفته است. علاوه بر این ، نتایج بررسی های انجام شده پیرامون قابلیت هضم مواد غذایی مختلف، مطالعات محققان را تکمیل نموده و به عنوان اولویت‌های اصلی در تنظیم جیره‌های غذایی و کاربرد مواد مغذی مورد استفاده قرار گرفته است.

٤-١ - آناتومی و فیزیولوژی دستگاه گوارش

٤-١-١) آناتومی دستگاه گوارش

طبقه‌بندی ماهی ها نظیر سایرمهره داران، منجر به ایجاد تنوع زیاد بخصوص در شکل ظاهری دستگاه گوارش در بین گونه های مختلف شده است.

جانور شناسان سعی درطرح یافته های خود بر طبق دو شاخص عمده تکامل گونه ها و سازگاری آنها با رژیم های غذایی متفاوت دارند که در این کتاب تنها به برخی از ویژگی های اصلی آناتومیک و کارکردی دستگاه گوارش ماهی ها اشاره خواهد شد.

۱-۱-۱-٤) ویژگی های عمومی

دستگاه گوارش ماهی های اولیه (ماهیان غضروفی نظیر کوسه ماهیان، سپر ماهیان و ماهیان خاویاری) از خصوصیات خاصی برخوردارندکه شامل معده ای تمایز یافته و در ادامه آن، روده معمولی همراه با ساختاری منحصربفرد به نام دریچه مارپیچی قرار دارد. این دریچه حاصل چین‌خوردگی و چسبندگی جزئی بافت پوششی روده است که ساختاری شبیه یک پلکان مارپیچی را تداعی می کند. این ویژگی منجر به افزایش سطح و ظرفیت جذب در طول کوتاهی از روده می شود.

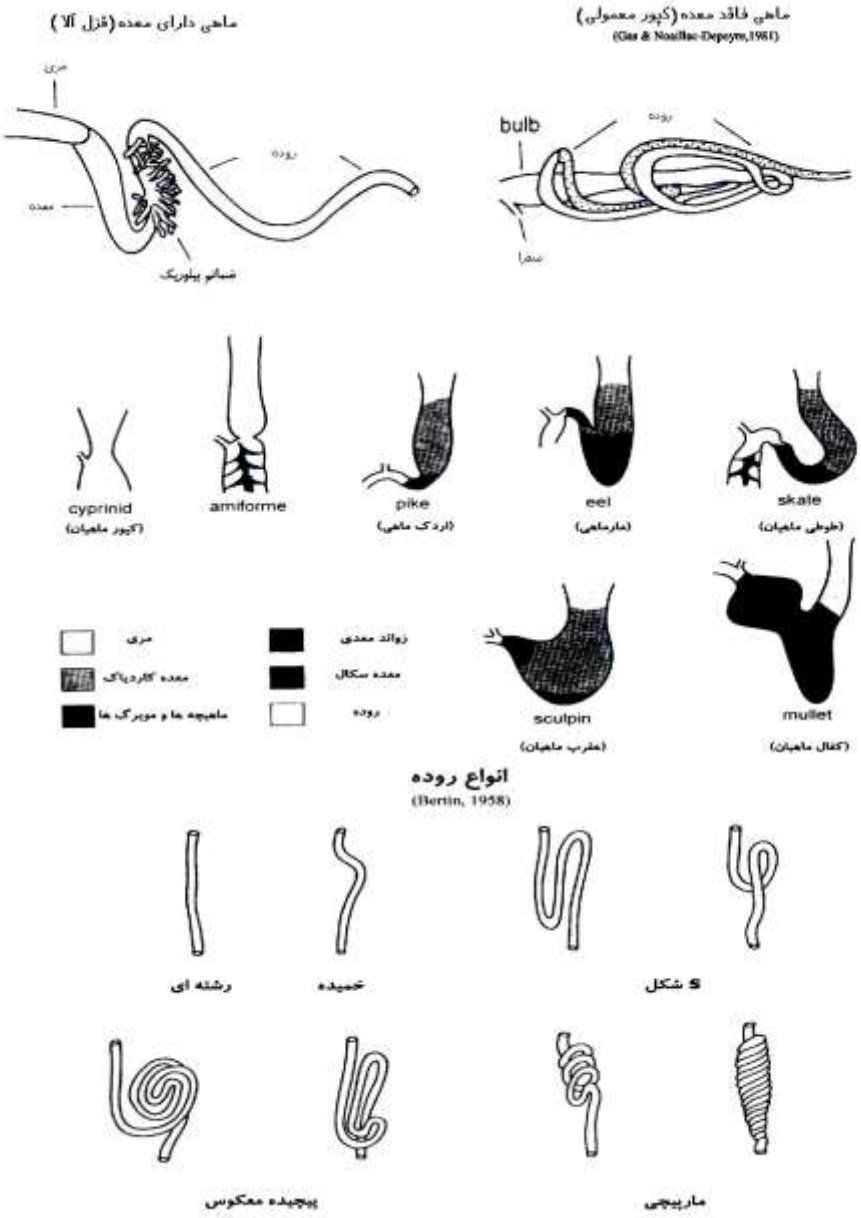
ماهیان استخوانی همانند سایر رده بندی های جانوری، دارای دهانی هستند که با نحوه غذا خوردن آنها سازگار شده است. آناتومی دستگاه گوارش ماهی های اولیه کاملا شبیه یکدیگر است، اما در ماهیان تکامل یافته‌تر با توجه به نوع تغذیه، دستگاه گوارش آنها سازگار یافته و متفاوت شده است. با این وجود، در این خانواده‌ها ماهیانی وجود دارند که دستگاه گوارش آنها نیز از لحاظ شکل ظاهری کاملا مشابه یکدیگرند.

دستگاه گوارش ماهیان از نظر خصوصیاتی شامل وجود یا فقدان معده، مری کوتاه یا بلند، روده صاف یا بلند و پیچ خورده، چین خوردگی های حلقوی یا طولی روده ای و وجود ضمائم پیلوریک تا هزار عدد یا فقدان آنها متفاوتند.

از دیدگاههای بسیاری ، دستگاه گوارش ماهی‌ها ویژگی های یکسان دارند:

ـ مری دارای بافت ماهیچه ای مخططی است که امکان نشخوار کردن و بلع مجدد غذا را برای ماهی فراهم می کند.

ـ روده ماهی ها مشابه روده کوچک پستانداران یا روده پرندگان است و بخش های مختلف روده (دوازدهه، روده کور و ایلیوم) قابل تمایز نیست، روده بزرگ واقعی (کولون) نیز براحتی قابل رویت نمی‌باشد.



شکل ۱-٤) دو ساختار از دستگاه گوارش در ماهی های مختلف

ـ دیواره روده دارای سه لایـه اسـت : ماهیچـه ای، سـروزی[1] و مخـاطی، بـه علـت فقـدان لایـه مخـاطی – عضلانی، عملا فاصله ای بین لایه مخاطی و زیر مخاطی وجود ندارد.
ـ برخی انتروسیت ها عملکرد اندوسیتوتیک خود را حفظ می کنند که این ویژگی مربوط به دوران بعـد از تولد پستانداران است اما در رابطه با ماهیان این حالت در سرتاسر عمر حفظ می گردد.
ـ آنزیم های فعال در فرآیند هضم نسبتا شبیه به مهره داران عالی است.

۲-۱-۱-٤) اندام های اصلی

دهان

دهان محل ورود آب و بلع غذاست. عملکرد دهان در ماهیان به سبب محیط زیست غیـر متـراکم و وجـود آبشش ها پیچیـده شـده و بـین آرواره هـا، زبـان، سـقف دهـان، کمـان هـای آبششـی و سـرپوش آبششـی هماهنگی ایجاد شده است. دندان ها به ندرت جهت جویدن سازمان یافته اند و معمولا دندان های محوطـه دهانی، فکی ، زبانی یا مری برای نگه داشتن طعمه و دنـدان هـای حلقـی یـا دنـدان هـای روی تیغـه هـای آبششی جهت فیلتر کردن و نگه داشتن ذرات غذایی و هدایت آنها به سمت معده، کارایی یافته اند.
عمدتاً دو نوع رفتار تغذیه ای در ماهی ها وجود دارد که شـامل صـید طعمـه و مکـش اسـت. فیلتـر کـردن نوعی از مکش غذایی جهت جمع آوری ذرات غذایی است. برخی از ماهی ها دارای دندان هـایی هسـتند که از آنها برای جویدن غذا استفاده می کنند. کپـور ماهیـان دارای دنـدان هـای حلقـی در آرواره پـایین و صفحه دندانی در آرواره بالا هستند. ماهی شانک دریایی قادر به لـه‌کـردن موجـودات صـدف‌دار اسـت و برخی از ماهیان علفخوار دارای عملکرد جویدن مخصوص بخود هستند.
در دهان ماهیان غدد بزاقـی وجـود نـدارد، امـا جوانـه هـای چشـایی از طریـق روش هـای بافـت شناسـی و شناسایی با میکروسکوپ الکترونی، مشخص و شناسایی شده و نقش آنها با انجام آزمایش های تغذیه‌ای اثبات گردیده است. در خارج از دهان نیز سلولهای گیرنده شـیمیایی وجـود دارنـد. هرچنـد در محیطهـای آبی تمایز بین حس بویایی و چشایی دشوار است، اما بنظر می رسد که سلولهای گیرنده شیمیایی وابسته بـه حس بویایی هستند.

[1] Serous

در خارج از محوطه دهانی، این گیرنده‌های شیمیایی منفرد همراه با پرزهای چشایی که دارای عملکردی متفاوت‌تر از آنها هستند، در رفتار تغذیه ای توقف یا سرعت بخشیدن به خوردن غذا مشارکت می نمایند.

مری

در گذشته در حالیکه نتایج محققان بیانگر اتصال مستقیم دهان به معده در ماهیان بود، اما بررسیهای جدید نشان دادندکه مری در ماهی ها کوتاه و پهن بوده و ساختار غشایی مری متفاوت از معده و روده است که توسط تعداد زیادی از سلول های موکوسی پوشیده می شود. مری در ماهیان به دلیل داشتن بافت ماهیچه‌ی مخطط یا نیمه مخطط دارای انقباظات ارادی بوده و بسیار شاخص است. به عبارت دیگر، در صورت نامناسب بودن غذا از نظر اندازه و مزه یا بافت، ماهی قادر به برگرداندن غذا بوده که این قابلیت در ماهی نسبت به مهره داران عالی، قابل توجه است. در برخی ماهیهای شکارچی، بافت ماهیچه‌ای توسعه یافته و ظاهرا امکان نگهداری طعمه زنده را فراهم می کند. در گونه هایی نظیر مارماهی، مری طویل شده که بخشی از آن طی مهاجرت از رودخانه به دریا، تنظیم اسمزی را بعهده دارد.

در گونه‌های آب شیرین بر خلاف ماهیان آب شور، معمولا دریچه ای به نام اسفنکتر در محل اتصال مری به معده وجود دارد. این اختلاف را به این صورت می توان توجیه نمود که گونه های آب شیرین سعی دارند تا میزان ورود آب را به بدن به حداقل برسانند، اما گونه های آب شور به منظورتنظیم اسمزی باید دائما آب بنوشند.

معده

معمولاً معده طی متامورفیسم یا بعد از آن ایجاد می شود و هیچگاه در مرحله لاروی ظاهر نمی‌شود. خانواده‌هایی نظیرکپورماهیان، فاقد معده هستند. در بعضی گونه‌های متعلق به سایر خانواده ها نیز معده وجود ندارد. در ماهیانی که از مرجان ها تغذیه می کنند، به علت وجود سطوح بالایی از کربنات کلسیم، رسیدن به pH مناسب جهت فعالیت پپسین دشوار است، این مسئله می تواند توجیهی منطقی در مورد علت فقدان معده در این گونه از ماهیها باشد.

بطورکلی، ماهیان فاقد معده اغلب ماکروفاژ یا علفخوارند وکپور ماهیان به عنوان شاخصی از ماهیان فاقد معده، از طیف گسترده و متنوعی از غذاها تغذیه می کنند.

شکل معده در حالت پر از یک برجستگی ساده تا یک کیسه کشیده، فرق می کند و به اشکال J یا Yدیده می شود و معمولا از طریق دریچه اسفنکتر از روده متمایز می شود. در ماهیان گوشتخوار به دلیل بلعیدن طعمه، معده قابلیت انعطاف‌پذیری زیادی دارد ولی گونه های ماکروفاژ دارای معده های بسیار کوچکتری هستند. در معده ماهیان فیبرهای طولی عضلانی فراوان ترند، اما به رغم این تفاوت های آناتومیک، کل معده از لحاظ ساختار پاتولوژیک مشابه معده مهره داران عالی بوده و تنها از لحاظ کارکرد اندکی با هم اختلاف دارند. بافت پوششی معده منشأ اندودرمی دارد و سلول های ترشح‌کننده پیش آنزیم های گوارشی و اسید کلریدریک توسط پرزهای زیادی پوشیده شده‌اند. معمولا سلول های ترشح کننده موکوس تنها در بخش عقبی معده دیده می شوند.

درتعدادی از ماهیان علفخوار نظیر کفال ماهیان، منطقه پیلوریک به شکل یک عضو حقیقی و مجزا با دیواره های سخت تبدیل شده که به وسیله تعداد زیادی از ماهیچه های حلقوی باریک احاطه می شود و معده ای را بوجود می آورد که فاقد نقش ترشحی است. این عضو که در پرندگان همان سنگدان است، نقش آن صرفا خرد کردن و آسیاب نمودن غذاست. معده تنها منطقه ای از دستگاه گوارش است که چون حاوی اسید است امکان تخریب پروتئین ها و هیدرولیز و از بین بردن باکتری های بلعیده شده را به همراه غذا فراهم می کند. pH معده معمولا ۲ تا ۳ است اما در ماهیان دریایی که همواره آبی با pH = ۸ را می‌نوشند، به حدود ۵ هم می رسد.

روده

اصطلاحاتی که در رابطه با ساختمان روده توسط متخصصان آناتومی استفاده می شود ، بی نهایت گیج‌کننده است. بخش هایی نظیر روده جلویی، میانی و عقبی، دوازدهه، روده کور و ایلیوم با توجه به نظر محقق، معانی مختلفی دارند (برای مثال، یک منطقه توسط یک محقق روده میانی و توسط محقق دیگر روده خلفی نامیده می شود).

علت اصلی این مسئله ناشی از فقدان تفاوتهای قابل توجه آناتومیک است که مطالعه کتابها و منابع مختلف را نیز دشوار ساخته است. در این رابطه فقط علم یاخته‌شناسی می تواند بین سه یا چهار منطقه‌ای که هر کدام نقش های متفاوتی دارند، تمایز قائل شود.

اولین قسمت روده که اغلب دوازدهه نام دارد، در ماهیان فاقد معده وجود دارد و در بعضی خانواده ها بصورت یک برجستگی وسیع دیده می شود. در نگاه اول، ممکن است بین این عضو که نقش آن ذخیره موقتی غذا بعد از تغذیه است و معده حقیقی اشتباه شود. پاره ای از تفاوتها که دوازدهه را از معده متمایز می کند به شرح ذیل است:

محل اتصال مجاری صفراوی همیشه از بالای این برجستگی است در حالیکه در معده حقیقی، محل اتصال همیشه از پایین است. pH دوازدهه هرگز اسیدی نیست و هیچ کدام از انواع سلول های ترشح کننده معدی در دوازدهه دیده نمی شود و فعالیت پپسینی در این منطقه وجود ندارد.

صرفا در ماهیان دارای معده، ضمائمی با انتهای بسته وجود دارد که به آنها سکوم گوارشی[1] می گویند و تعداد آنها از صفر تا چند ده یا چند صد متفاوت است. در ماهی Saithe تعداد این ضمائم حتی نزدیک به یک هزار عدد می رسد، اما در خانواده هایی نظیر آزادماهیان، تعداد این زوائد در بین گونه ها با توجه به عوامل ژنتیکی، متفاوت بوده و از طریق بهگزینی تغییر می کنند. همچنین دمای آب طی تکامل بر تعداد آنها مؤثر است. اما بنظر نمی رسد که ارتباطی با مواد غذایی داشته باشد. طی مطالعات بافت شناسی تفاوت قابل توجهی بین روده حقیقی و ضمائم پیلوریک مشاهده نشده است. در گونه های سردآبی ، ضمائم پیلوریک دارای فلور میکروبی خاصی نیستند، اما در گونه های گرمابی، نظیر یک گونه علفخوار از شانک ماهیان[2] و ماهی علفخوار استرالیایی، باکتریهای سنتزکننده ویتامین‌ها یا حتی سلولوتیک در ضمائم پیلوریک دیده شده اند. مهمترین مسئله ای که در حال حاضر مورد توجه ماهی شناسان است، در نظرگرفتن ضمائم پیلوریک به عنوان سطوح گسترش یافته روده ای است که سطح جذب دستگاه گوارش را افزایش می دهد.

از نظر بافت شناسی، سلول های تولید کننده موکوس روده ای در ماهی ها به همراه شبه پرزهایی که بواسطه چین‌خوردگی، سطح منطقه را افزایش می دهند(شکل۲-۴) دارای عملکردی مشابه مهره‌داران

---

[1] caeca
[2] *Kyphosus corneli*

عالی هستند، تعداد سلول های انتروسیت در محل چین‌خوردگی‌ها چند برابر شده و زمانیکه از شبه پرزها به داخل موکوس یا سلول های جاذب مهاجرت می کنند، متمایز می شوند و عملکردی تخصصی می یابند اما هنگام از دست دادن کارایی خود، بسرعت تجزیه می شوند. انتروسیت ها در سطح لومینال که با میکروپرزهای متراکم پوشیده شده، بخوبی قابل تشخیص‌اند. میکروپرزها حاوی یک سری رشته های پلی‌ساکاریدی هستند که بواسطه آنها در شبکه فیلترکننده‌ای به نام حفره گلیکوکالیگس[1]، منتشر می شوند. غشای آنها شامل آنزیم های متصل به غشایی، ناقل های پروتئینی و کانال های یونی است که مجموعه این مولکول های پروتئینی در یک غشای دو لایه لیپیدی محصور می‌شوند.

غشای دو لایه لیپیدی، شامل ذرات چربی و چربیهای انتشاری، بعد از یک وعده غذایی در سلولهای دوازدهه تشکیل می شوند. ظاهرا این منطقه نقش فعالی در جذب لیپیدها دارد.

هرچند روده میانی که به آن jejunum نیز می گویند، قهوه ای تر از روده قدامی است ولی تقسیم آن به بخش های خلفی و قدامی دشوار است. خصوصیات بافت شناسی این منطقه نشان دهنده قابلیت های بالایی است، در این منطقه انتروسیت ها با پیچ خوردگی های فراوان به سمت پایه میکروپرزها هدایت میشوند. تعداد زیادی واکوئل بین انتروسیت ها و هسته ها وجود دارند (شکل ۳-۴) که شبیه سلول های موجود در ایلیوم پستانداران تازه متولد شده هستند. وظیفه این سلولها جذب مولکولهای پروتئینی ازطریق هضم درون سلولی است و در دوره زندگی ماهیها جذب مواد آلی پروتئینی را انجام می دهند.

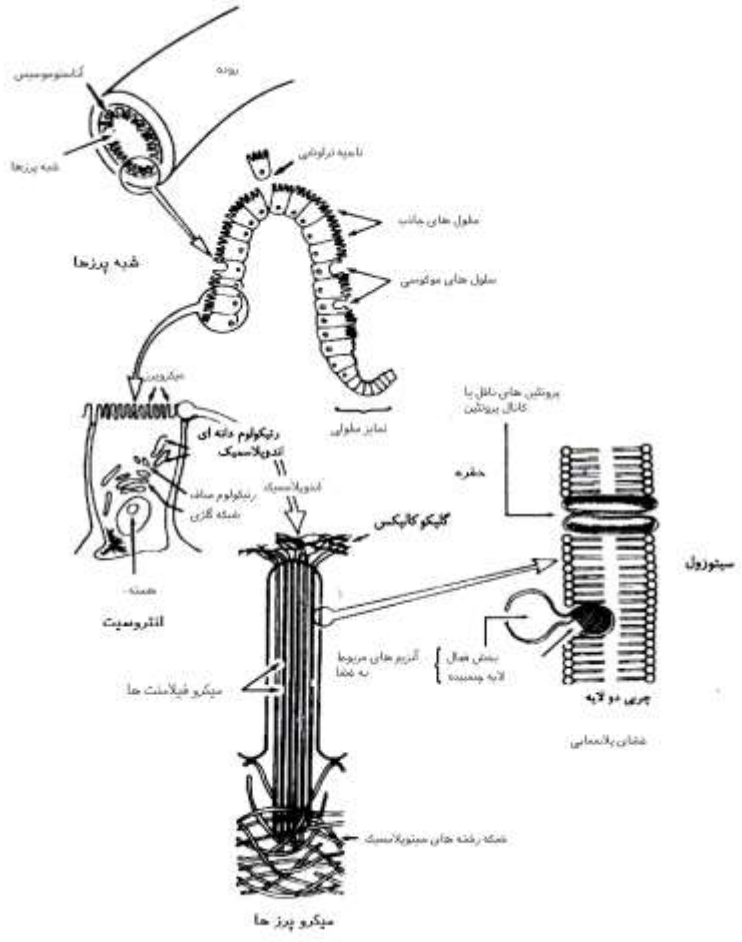
بخش انتهایی روده که ایلیوم نام دارد، معمولا خیلی کوتاه است. انتروسیت ها حاوی تعداد زیادی میتوکندری هستند که می توانند ایفاگر نقش مهمی در تنظیم اسمزی از طریق جذب انتخابی یونهای معدنی باشند. گاهی اوقات این بخش تا ناحیه پیش مقعدی یا راست روده (رکتوم)، امتداد مییابد.

طول روده بسیار متغیر است و بین طول روده و طول بدن و جیره غذایی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد.

عموماً، گوشتخواران، روده کوتاه و علفخوران، روده طویل دارند. این حالت در مفهوم کلی طی طبقه‌بندی حیوانات دیده می شود و می تواند ناشی از تفاوت در روند رشد یا وجود یا فقدان ضمائم پیلوریک باشد. چین خوردگی روده به اشکال متفاوتی از جمله S شکل، پیچ‌خورده معکوس و مارپیچی قابل مشاهده است.

---

[1] Glycocalyx



شکل ۲-٤) نمایی از ساختار آناتومی و بافت شناسی روده، از ساختار میکروسکوپی روده تا ساختمان مولکولی غشا پلاسمایی- میکروپرزها

غدد ضمیمه گوارشی

کبد در ماهی به خوبی توسعه یافته و با توجه به گونه، ساختمان متنوعی دارد و از نظر بافت شناسی به سبب نداشتن لوب (lobules) با کبد پستانداران فرق دارد، هرچند از لحاظ عملکرد کم و بیش مشابه کبد مهره‌داران عالی است.

اگرچه کبد حاوی مقدار زیادی ترشحات صفراوی است، اما فقدان کیسه صفرا در موارد بسیار کمیاب رخ می دهد. در برخی گونه ها کبد بسیاربزرگ می‌شود و به عنوان اندام ذخیره‌کننده چربی[1] مانند آنچه در پرندگان وجود دارد، عمل می نماید.

درمقابل، پانکراس جز در برخی ازماهی ها نظیر کوسه و سپر ماهیان، در ماهیانی مانند اردک ماهی و ماهیان دو دمی، به صورت یک اندام مجزا نیست. در برخی گونه ها مجموعه ای پراکنده از سلول در اطراف دوازدهه و ضمائم پیلوریک وجود دارد، این غدد کوچک می توانند در اندام های مجاور ادغام شده و هپاتوپانکراس را ایجاد کنند(نظیر آنچه که در کپور ماهیان دیده می شود). ترشحات آنزیمی از مجاری صفراوی منتشر می شود و سلول های ترشح کننده انسولین(جزایر لانگرهانس) در کنار این سلولهای هضم‌کننده قرار دارند.

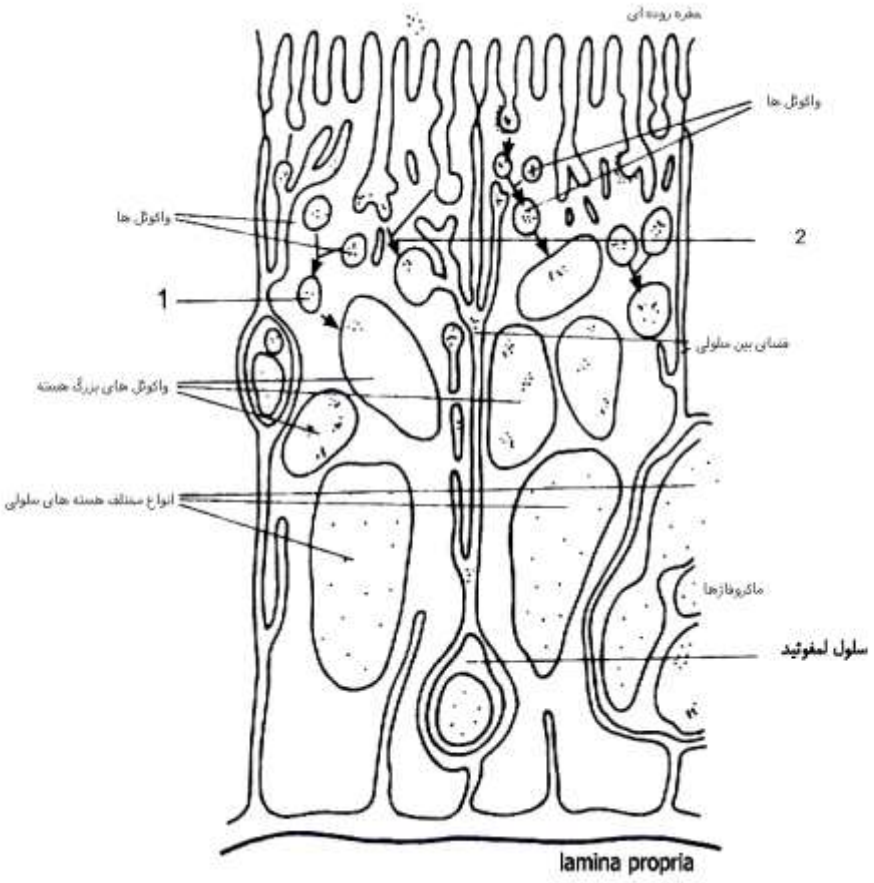
۳-۱-۱-٤) سایر عملکردها

دستگاه گوارش به همراه غدد وابسته، به عنوان اندامی با عملکردی هورمونی در مهره داران عالی شناخته شده است. چون مطالعات هورمونی در ماهی ها اخیرا مورد توجه قرار گرفته است، کاربرد این اصطلاح در رابطه با ماهی کمی دشوار است. دیواره دستگاه گوارش ماهی حاوی سلول های ترشح کننده موادی نظیر کولسیستوکینین (CCK) ، گاسترین، سرولین و گلوکاگون است، اما ویژگی و نقش این ترشحات زیاد مورد بررسی قرار نگرفته است.

نقش دستگاه گوارش ماهیان در ایمنی بدن چندان شناخته شده نیست و با وجود اینکه بین لمفوسیتهای بافت مخاطی روده و ایمنی فعال در برابر هجوم باکتری ها، ارتباط وجود دارد (شکل ۳-۴) ، شواهدی دال بر وجود این ارتباط در ماهی ها، در دست نیست.

بعضی از ماهیها نظیر خانواده های Cobitidae,Callichthyidae دارای تنفس روده ای هستند و این تنفس از طریق شکل‌گیری عروقی مشابه نایژه‌ها ی سیستم تنفسی، انجام می شود. در نهایت، سلولهای شگفت‌انگیزی در سطح اپتیلیوم دستگاه گوارش وجود دارند که توسط محققان مختلف اشکال گلابی یا میله ای توصیف شده اند.

[1] adipogenic



شکل ۳-٤) سلول های ترشح کننده هورمون و ویژگیهای روده خلفی در ماهی (Size and Vernier, 1989) **ماکرومولکولهای پروتئینی از طریق پیچ‌خوردگی‌های حفره روده‌ای به سمت پایه میکروپرزها نفوذ می‌کنند و واکوئل ها را می‌سازند که (۱) با هم ادغام شده و واکوئل‌های هسته‌دار بزرگ را جهت هضم مولکول ها بوجود می آورند یا (۲) در یک فضای بین سلولی قرار می‌گیرند و به لمفوسیت ها و ماکروفاژها متصل می‌شوند.**

این سلول ها در کلیه و آبشش ها نیز مشاهده شده اند. تاکنون فرضیه وجود اشکال مختلف باکتریهای انگلی یا همزیست در نظر گرفته نشده است. این باکتری ها که ممکن است ترشح کننده باشند، هنوز ناشناخته مانده اند.

۲-۱-٤) آنزیم‌های گوارشی

۱-۲-۱-٤) کلیات

آنزیم‌های گوارشی ماهی ها نظیر مهره داران عالی، در سه دسته طبقه‌بندی می شوند:

ـ آنزیم هایی که توسط پانکراس و به میزان کمتر توسط معده، به شکل گرانولهای زیموژن یا آنزیم غیر فعال و به صورت مخلوط با ترکیبات یونی و در pH ویژه ترشح می شوند. این اشکال غیر فعال از آنزیم ها هیچوقت در بخشهای دهانی فعال نمی‌شوند و در معده بخصوص در دوازدهه فعال می گردند.

ـ آنزیم های غشایی که در معده به مقدار کم وجود دارند، اما هنگام اتصال به غشا میکروپرزها و در شرایط طبیعی، فعالیت می کنند. کل آنزیم های این دسته روده ای هستند و ماکرومولکول های فیلتر شده توسط گلیکوکالیکس را به قطعات کوچکتر می شکنند. به منظور ایجاد جذب در سیتوپلاسم انتروسیت، محل این آنزیم ها نزدیک به سیستم های انتقالی است.

ـ آنزیم های سلولی دستگاه گوارش در مناطقی غیر از دیواره برای مثال، در لیزوزوم ها وجود دارند. چون بررسی عملکرد این آنزیم ها پس ار مرگ سلولی و در شرایط آزمایشگاهی، امکان‌پذیر است، بیان این نکته که این آنزیم هادر هضم برون سلولی نقش دارند، دشوار است.

عملکرد آنزیم های گوارشی در تمامی گونه ها مشابه نیست. برای مثال، پپسین در ماهیان فاقد معده و کیتیناز در گونه های خاصی از ماهی ها وجود ندارند. گرچه لیپاز و آمیلاز در معده فعالیت می کنند اما در بین گونه ها ، اندامی که آنزیم های خاص ترشح می کنند، متفاوتند. در بسیاری مواقع بررسی فعالیت آنزیمی در بخشهایی از دستگاه گوارش فقط ویژگیهای کیفی آنها را تشریح می کند و در مورد فعالیت آنزیمهای موثر بر طعمه خورده شده، حرکات دودی یا حرکات مواج عضلانی در روده و فعالیت فلور روده ای مشهودتر بوده و مسائل ناشناخته بیشتری در مورد آنها وجود دارد.

آنزیم‌های تولید شده از زیموژن‌ها (معده ای و پانکراسی)

مهمترین آنزیم های این دسته در جدول ۱-۴ ارائه شده اند. فعال سازی آنـزیم هـای غیـر فعـال، از طریـق شکسته شدن پپتیدها به اجزاء کوچکتر انجام می شود. هیدرولیز پپسین بوسیله فعالیت اسـید هیـدروکلریک شروع می شود و به صورت خودبخود تسـریع مـی شـود(هیـدرولیز پپسـینوژن توسـط پپسـین صـورت مـی گیرد). در رابطه با آنزیم های معدی، در ابتدا فعال سازی تریپسینوژن از طریق انتروکیناز انجـام مـی شـود، سپس فعالیت تریپسین بر کموتریپسینوژن آغاز مـی گـردد و پـس از آن آنـزیم هـای الاسـتاز، کلاژنازهـا، کربوکسی پپتیداز A وB ، فسفولیپاز و کولیپاز بطور متوالی فعال مـی شـوند. آنـزیم هـای ایـن دسـته بجـز کولیپاز و لیپاز بر ماکرومولکول ها از طریق هیدرولیز داخلی اثر می کنند و مولکول های کوچکتر غیرقابل جذب را ایجاد می نمایند.

پروتئازها

پروتئازها شامل آنزیم معدی پپسین و چهار آنزیم کبدی تریپسین، کموتریپسین،کلاژناز و الاستاز هستند. چهار آنزیم کبدی به خانواده پروتئازهای سرینی متعلـق بـوده و از انـواع پپتیـدازهای داخلـی هسـتند کـه فعالیت یکدیگر را تکمیل کرده و جایگاه کاتالیتیک آنها مشابه و حاوی سـرین آزاد اسـت. هـر کـدام از آنهـا بـر پپتیـدهای خاصـی فعالیـت مـی کننـد (جـدول۲-۴). بـا توجـه بـه تـوالی اسـیدآمینه موجـود در زنجیره‌های پپتیدی، بـر اثرهیـدرولیز نـاقص توسـط پپتیـدازها، اسـیدهای آمینـه آزاد و بقایـای پپتیـدی بـا اندازه‌های متفاوت ایجاد می شوند

لیپازها

ساختار لیپاز بسیار مشابه پروتئازهای سرینی و آمیلاز است که از انواع آنزیم های کبدی بوده و در ابتدابه شکل فعال ترشح می شوند. لیپاز فقط در صورت وجود مولکول هایی نظیر کولیپاز مشخصاً فعال میشـود. نقش اصلی کولیپاز به شرح ذیل است:

جدول ١-٤) آنزیم های ترشحی غیر فعال در ماهی ها

گونه ها	اندام	فعالیت	آنزیم	
ما هی های دارای معده تمام ماهی ها	معده پانکراس	هیدرورلیز پیوندهای داخلی	پپسین تریپسین کموتریپسین الاستاز کلاژناز	پروتئازها
تمام ماهی ها	پانکراس	هیدرولیز پیوندهای خارجی هیدرولیز پپتیدازها	کربوکسی پپتیداز کربوکسی الاستاز A,B	پپتیدازها
تمام ماهی ها گونه های تغذیه کننده از حشرات و سخت پوستان	پانکراس معده، پانکراس سایر بافت ها؟	هیدرولیز نشاسته (پیوندهای α ١ ← ٤) هیدرولیز کیتین	آمیلاز کیتیاز	گلیکولیزها
تمام ما هی ها	پانکراس	هیدرولیز تری گلیسریدها (بخصوص در موقعیت α) هیدرولیز تری گلیسریدها و سایر لیپازها	لیپازهای و کولیپاز های کبدی استرازها	لیپازها
مطالعات کمی انجام شده است	پانکراس	هیدرولیز اسیدهای نوکلئیک	ریبونوکلئازها	نوکلئازها

جدول ٢-٤) جایگاه عمل آنزیم های غیر فعال مهم در ماهی ها

پیوند هیدرولیز شده	آنزیم ها
NH_2 دی اسیدهای آردماتیک و آمینواسیدها	پپسین
COOH آرژنین یا لیزین	تریپسن
COOH آمینو اسیدهای حلقوی	کیموتریپسین
آمینواسیدهای آلیفاتیک (بخصوص آمینواسیدهای فعال بر روی الاستان)	الاستاز
آمینواسیدهای دارای گروه آزاد COOH	کربوهیدروکسی پپتیداز
آمینواسیدهای دارای گروه آزاد NH_2	آمینوپپتیداز
پیوندهای دی و تری پپتیدها	دی و تری پپتیداز

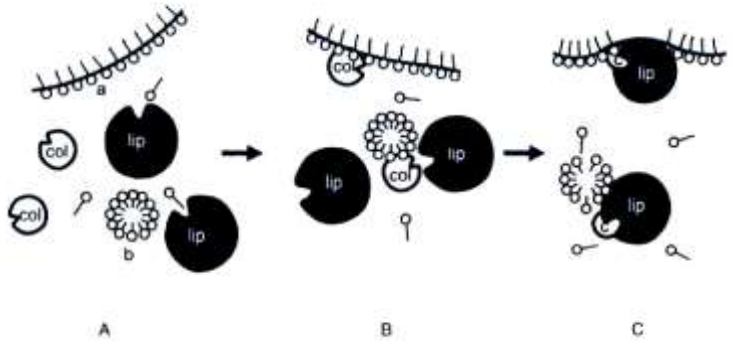
در مقایسه با سایر آنزیم های فعال در محیطهای آبی، لیپاز بر ذرات لیپیدی اثر می کند، ازاینرو فقط میتواند به گلبول‌های معلق در محیط آبی حمله نماید. در حالیکه نمک های صفراوی رویارویی آنزیم را با ذرات، از طریق افزایش سطح تماس، بالا می‌برند اما تعیین محل قرارگیری لیپاز روی ذرات لیپیدی را مشکل می سازند.

کولیپاز دارای یک پیوند دوگانه است و امکان تشکیل کمپلکس ذره لیپیدی- لیپاز- کولیپاز را فراهم می سازد که در آن لیپاز ها تا حدی به لیپیدها متصل می شوند(شکل ۴-۴). نتایج مطالعات اخیر نشان داده اند که کولیپاز پس از اتصال به لیپاز، محل کاتالیتیک آنزیم را شناسایی می کند. عملکرد لیپاز در ماهیان متفاوت از مهره داران عالی است و نسبت به تری گلیسیریدهای مختلف، میل ترکیبی زیادی دارد. در نهایت، گرچه نمک های صفراوی نقش مثبتی در امولسیون لیپیدها یا پراکنش آنها در محیط آبی دارند، اما نقش اصلی و عمده آنها پس از هیدرولیز تری گلیسریدها و با تشکیل کمپلکس لیپاز- کولیپاز انجام می شود.

عملکرد ساختمان سایر آنزیمهای تجزیه‌کننده لیپیدها در ماهی کمتر بررسی شده‌اند. استرازها و فسفولیپازها فعالیت زیادی دارند چون لیپازها به ترکیب خاصی گرایش ندارند. اثبات این مطلب دشوار است که این آنزیم ها بوسیله معده یا حتی پانکراس ترشح می شوند.

گلیکوسیدازها

مهمترین آنزیم های تجزیه کننده قندها، α ۱ ← ۴ گلیکوسیداز یا آمیلاز است که پیوندهای α ۱ ← ۴ در آمیلوز یا بخش های خطی آمیلوپکتین گلیکاگن را هیدرولیز می کند، اما نمی تواند پیوندهای α ۱ ← ۶ در اشکال شاخه دار آمیلوپکتین گلیکاگن را هیدرولیز نماید. این آنزیم در ماهیان گوشتخوار دریاهای آزاد یافت میشود که در غذای طبیعی آنها هرگز نشاسته وجود ندارد. آمیلاز با حمله به زنجیره خطی، از طریق رفع بقایای زنجیره های شاخه دار قندهای کوتاه زنجیره با اندازه‌های متفاوت، آنها را به مالتوز هیدرولیز می کند. گلیکوسیدازهای دیگری نیز با فعالیت پایین وجود دارندکه از بین آنها اغلب سلولاز (β ۱ ← ۴ گلیکوسیداز) مورد مطالعه قرار گرفته است. معمولا این آنزیم ها، شامل آنزیم های خارجی با منشأ باکتریایی هستند.



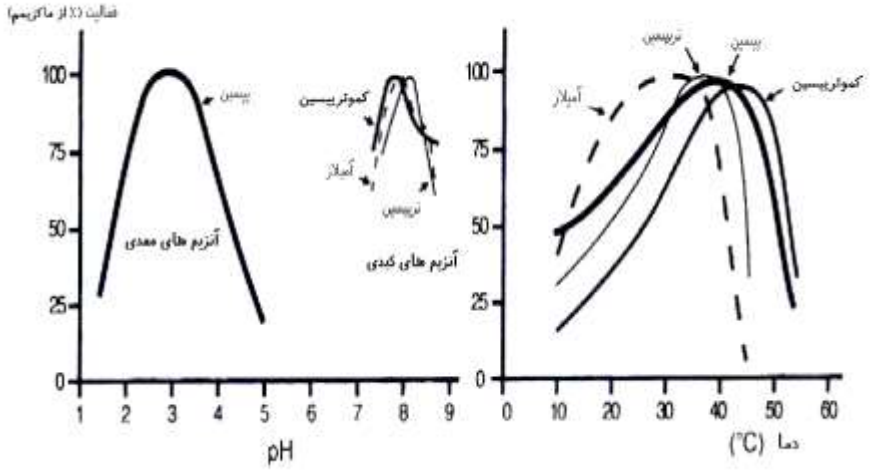
شکل ٤-٤) نحوه فعالیت لیپاز و کولیپاز . A : لیپاز و کولیپاز آزاد هستند و نمک های صفراوی(b) سطح ذره لیپید را پوشش می دهند بنابراین لیپاز نمی تواند فعالیت کند. B : کولیپاز به ذره می‌چسبد. C : لیپاز به کولیپاز می‌چسبد و می‌تواند تری‌گلیسریدها را هیدرولیز کند.

شواهدی وجود دارد مبنی بر اینکه می توان وجود سلولاز داخلی را در کپور معمولی با استفاده از تری مایسین آنتی بیوتیکی که از رشد باکتری های دستگاه گوارش جلوگیری می کند، اثبات نمود.
وجود لامینارینازها (β۱ ← ۳ گلیکوسیداز) در ماهیان تغذیه کننده از جلبک، اثبات شده است. این آنزیم امکان هیدرولیز بخشی از لامینارین با ساختار پلی هولوسیدی را فراهم میکند که در جلبک عملکردی مشابه سلولز در گیاهان خشکی دارد. شواهد مربوط به ترشح اندک این آنزیم توسط پانکراس، چندان قابل قبول نیست. با وجود این، آنزیم های هیدرولیز کننده کمپلکس بتای متصل به هیدراتهای کربن بسیارند. از انواع آنها کیتیناز است که β ۱ ← N۴- استیل گلوکزامین متصل به کیتین را به شکل کیتوبیوز (دایمر N استیل گلوکزامین) می شکند. این پلیمر در قارچ و بی‌مهرگان بخصوص کرم‌ها و بندپایان وجود دارد و محققان بر این اعتقادند که فعالیت کیتیناز در ماهی های تغذیه کننده از سخت پوستان و حشرات و آنهایی که طعمه خود را بدون جویدن می بلعند، بالاتر است.

ترشح آنزیم ها و فعال سازی آنها

نحوه ترشح و فعالیت آنزیم های هضم کننده کاملا مشابه مهره داران عالی است. ترشح هورمون‌های دستگاه گوارش (گاسترین، CCK و غیره) نقطه شروع انتشار ذرات زیموژن و صفرا است.

شرایط فیزیکی اپتیمم جهت فعال سازی آنزیم ها در شکل ۵-۴ مشخص گردیده است. pH اپتیمم برای فعالیت پپسین در حدود ۲ تا ۳ است ، درحالیکه در مورد سایر آنزیم ها در حدود ۷ تا ۸ می باشد. بنابراین جهت فعالیت آنزیم های معدی شرایط بسیار مطلوبی از لحاظ pH در معده و دوازدهه وجود دارد. در رابطه با سایر آنزیم های معدی اطلاعات محدودی در مورد pH اپتیمم موجود است. دمای اپتیمم جهت فعالیت تمامی آنزیم های ماهی، بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد است (شکل ۵-۴)، گرچه این دما به دمای داخلی بدن موجودات خونگرم نزدیک تر است، اما شایان ذکر است که آن دسته از آنزیم هایی که در دمای پایین یافت می‌شوند، آنزیم‌هایی هستند که در دماهای کم فوق العاده فعالند.



شکل ۵-٤) دما و pH اپتیمم جهت فعالیت آنزیم های معدی و کبدی در ماهی
(Uys and Hecht, 1989)

آنزیم های وابسته به غشاء روده ای

روده ماهیان نظیر روده مهره داران عالی ترشح کننده آنزیم ها نیستند. غـده هـایی در قسـمت ابتـدایی روده gadoids وجود دارند که تنها ترشح کننده یون هـا هسـتند. منشـا فعالیـت آنـزیم هـای موجـود در مایعـات روده‌ای می تواند ناشی از غذا، معده، پانکراس یا باکتری باشد. همچنین سلول های تحلیل رفتـه یـا بـدون تغییری که در پایه پرزها نفوذ می کنند یا حاصل از گسسته شدن زنجیره پپتیدی متصل با آنزیم های وابسته به غشای دیواره پرزها هستند، می توانند منشا این فعالیت باشند.

تحت شرایط فیزیولوژیک فعالیت آنزیم های وابسته به غشاء روده را فقط می توان روی دیواره روده مورد بررسی قرار داد. در شرایط آزمایشگاهی این فعالیت در پرزهای روده دیده می شود، اما کمتر شناخته شـده اند. آنزیم های اصلی(جدول ۳-۴)، قطعات ماکرومولکول های حاصـله از فعالیـت آنـزیم هـای معـدی یـا پانکراسی، شامل پپتیـدها، دی سـاکاریدها (عمـدتا مـالتوز) و دکسـترین هـایی بـا زنجیـره هـای کوتـاه را هیدرولیز می کنند. نحوه عمل مالتاز بر مالتوز ، مشابه عملکـرد ایزومالتـاز روی دکسـترین هـای شـاخه دار است و منجر به شکل گیری گلوکز شده که مستقیما جذب می شود. فعالیـت پپتیـدازها موجـب هیـدرولیز کامل پپتیدها و تجزیه آنها به آمینواسید نمی شود، اما ترکیب متنوع و پیچیـده ای از آمینواسـیدها را ایجـاد می کند که کوچکترین آنها (۴-۲ تایی) قابل جذبند. نحوه فعالیت این آنزیم هـا در شـکل ۲-۴ نشـان داده شده است. امروزه مشخص شده است که فعالیت هیدرولیزی آنزیم های وابسـته بـه غشـاء روده همیشـه در محل های نزدیک بـه منـاطق جـذب انجـام مـی شـود. همچنـین درمـورد ترانسـفراز γ - گلوتـامین، عمـل هیدرولیز و انتقال، تواما توسط یک ترکیب پروتئینی انجام می گردد.

سایر آنزیم ها

آمینوپپتیدازها از پپتیدازهای خارجی هستند که بر قسمت های انتهایی پپتیدهای حاصل از فعالیـت پپتیـداز داخلی با وزن مولکولی کم عمـل مـی نماینـد .ایـن آنـزیم هـا بجـز آنـزیم هـای لیزوزومـی کبـدی، در گرانولهای زیموژن به شکلی غیر فعال ترشـح نمـی شـوند. پپتیـداز لوسـین-آلانـین از انـواع آنـزیم هـای لیزوزومی روده ای است. استرازها، آنزیم های داخل سـلولی هسـتندکه پـس از اینکـه ذرات در معـرض اندوسیتوز قرار گرفتند، ایفای نقش می کنند.

جدول ۳-٤ آنزیم های اصلی وابسته به غشاء روده در ماهی

پپتیدازها	دی پپتیدیل پپتیداز IV لوسین آمینوپپتیداز فنیل آلانین – گلیسین پپتیداز γ- گلوتامین – ترانسفراز سایر آنزیم ها (احتمالا)
گلیکوسیدازها	α – گلیکوسیدازها (مالتاز) ایزو مالتاز کیتوبیاز سایر آنزیم ها
لیپازها	استرازها لیپازها (کمتر شناخته شده اند)
انواع مختلف	فسفاتاز اسیدی فسفاتاز قلیایی
نوکلئاز	(موقعیت نامشخص)

سطح فعالیت این آنزیم ها در لاروها بسیار بیشتر از ماهیان جوان است (فصل۱۲). آنزیم های باکتریای گرچه اغلب مورد توجه قرار می گیرند، اما معمولا فعالیت بسیار کمی دارند.

جدول ٤-٤) فعالیت آنزیم آمیلاز در گلدفیش در مقایسه با سایر ماهیان(استاندارد:١٠٠)
(Nagoyama and Saito, 1968)

فعالیت نسبی	گونه ها
١٠٠	گلد فیش
٨٤	کپور علفخوار
٤٤	تیلاپیا
٣٥	کپور معمولی
٣١	کپور نقره ای
٨	قزل آلا
١	مارماهی
١	ماهی دم زرد

٢-٢-١-٤) فعالیت آنزیمی

اگرچه آنزیم هایی که در فرآیند هضم در ماهی دخالت دارند بسیار مشابه آنزیم هایی گوارشی در مهره‌داران عالی هستند، اما فعالیت این آنزیم ها یکسان نیست. سطح فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئینها (پروتئیولیتیک) ،حتی در گونه های علفخوار، بالاست. میزان فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده لیپیدها (لیپولیتیک) از مقادیر بسیار بالا در ماهی آزاد اقیانوس آرام تا مقادیر متوسط در ماهی کفشک متغیر است. فعالیت آنزیم های آمیلاز (آمیلولیتیک) در تمامی ماهیان از لحظه شروع زندگیشان وجود دارد و سطح آن در ماهیان علفخور بالاتر از ماهیان همه‌چیزخوار است (جدول۴-۴) و این حالت نشاندهنده سازگاری خوب ماهیان با عادات غذایی خود در محیطهای طبیعی است. در کفشک ماهی که غذای آن را نرم تنان غنی ازگلیکوژن تشکیل می دهند نیز فعالیت آمیلاز بالاست. چنین بنظر می رسد که ترشح آنزیم آمیلاز همراه با افزایش دمای آب افزایش می یابد.

۳-۱-٤) جذب مواد غذایی

جذب مواد غذایی از حفره داخلی روده به سیتوزول داخل سلولی آغاز شده و سپس از دو طریق به رگهای خونی انتقال می یابند:

ـ جذب ذرات یا ماکرومولکول ها بدون اینکه هضم انجام شود.

ـ جذب مولکول های کوچک ازطریق فرآیندهای انتشار ساده،انتشار تسهیل شده یا انتقال فعال .

۱-۳-۱-٤) جذب توسط اندوسیتوزها

نقش سلول های اندوسیتیک (شکل ۳-۴) که عمدتاً در بخش خلفی روده قرار دارند، با استفاده از تکنیک های ایمونوفلورسنس[1] شناسایی شده است. چین خوردگی های موجود در پایه میکروپرزها نقش گیرنده[2] را ایفا می کنند که از طریق آن مولکول های پروتئینی بدون تغییر عملکرد از داخل سیتوزول عبور می نمایند. تعدادی از این مولکول ها در داخل واکوئل ها هضم می شوند(هضم درون سلولی) و تعدادی دیگر از طریق دیواره جانبی سلول، از سلول خارج شده و در فرآیند هضم خارج سلولی (اگزوسیتوز) شرکت می کنند و لایه ای به نام lamina propria ایجاد می کنند.به این ترتیب، با توجه به نوع گونه سلول های اندوسیتی می توانند با اتصال به لمفوسیت ها آنتی ژن ترشح کنند. با الهام از این پدیده می توان مولکول های پروتئینی فعال را ازطریق واکسیناسیون یا به صورت خوراکی وارد بدن نمود.

چون سهم جذب از طریق مکانیسم اندوسیتوز کم و در حدود ۱ تا ۶ درصد جذب کل پروتئین های غذایی را تشکیل می دهد، تعیین میزان اهمیت این مکانیسم در علم تغذیه دشوار بوده و ضروری بنظر نمی رسد. از اینرو، اندوسیتوز به عنوان مکانیسم ورود اسیدهای آمینه درنظر گرفته نمی‌شود. در این رابطه، می توان اطمینان حاصل کرد که روند جذب پروتئین جانوران ابتدایی می تواند مرتبط با کیفیت پروتئین های مورد تغذیه‌ای باشد که منشا بسیاری از واکنش های شبه ایمنی در بدن باشدکه در این زمینه مطالعات زیادی صورت نگرفته است.

---

[1] immunoflurescence
[2] receptor

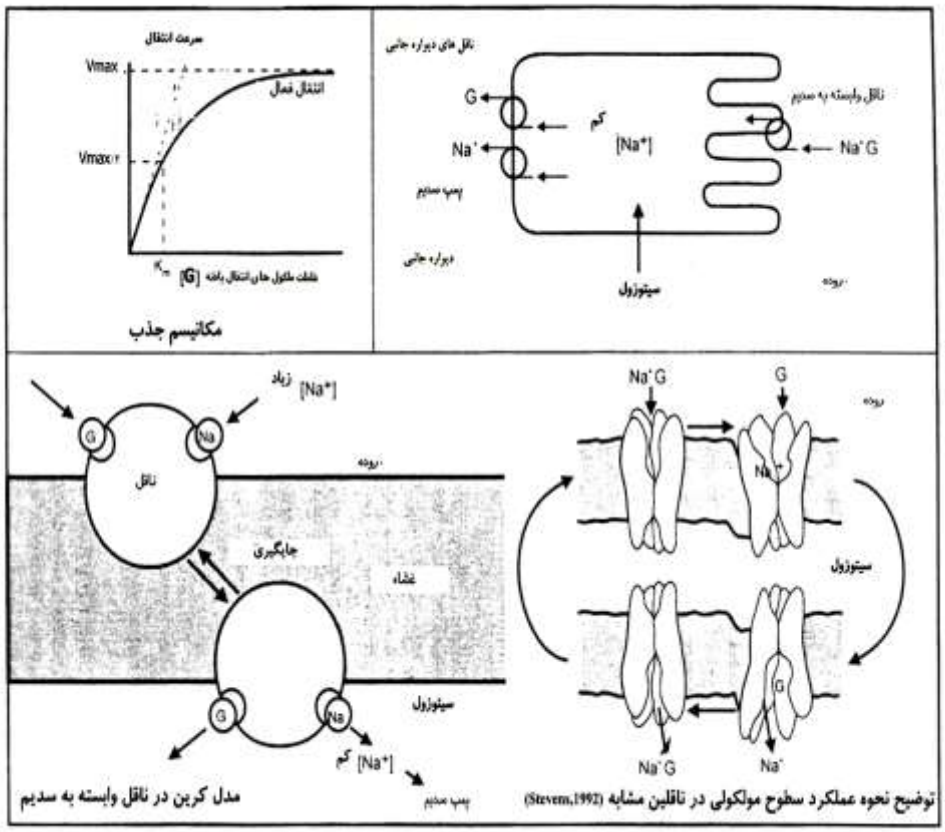
۲-۳-۱-٤) جذب از طریق انتشار یا انتقال

جذب از طریق انتشار ساده در طول غشا همواره در جهت شیب غلظت صورت می گیرد (شکل ۶-۴) هر چند فرآورده های حاصل از تجزیه لیپیدها نیز از این طریق جذب می شوند اما بندرت مولکول های محلول در آب از طریق این فرآیند جذب می گردند.

جذب از طریق انتشار تسهیل شده و انتقال فعال بر اثر مداخله مولکول های ورودی به غشاهای دولایه ای لیپیدی(شکل ۲-۴) صورت می گیرد و عملکرد آنها را می توان با بررسی سینتیک منحنی مجانب آنها تشخیص داد. عملکرد این پروتئین ها کاملا شبیه آنزیم هاست و در صورتی که توسط جریان انرژی جابجا شوند(جریان Michaelis-Menten ، شکل ۶-۴) ، می توان از معادلات مشابه برای آنها استفاده نمود. انتقال گلوکز یا آمینواسیدی که از طریق انتقال وابسته به سدیم صورت می گیرد، نمونه ساده ای از این مکانیزم است. در حقیقت انتقال از روده به سیتوزول انتروسیت ها، انتقال مولکول های آلی با کمک یون سدیم است(شکل۶-۴). با کاهش شیب غلظت یون سدیم داخل سلولی ، پمپ سدیم غشا، غلظت سدیم را حفظ می کند و یون ها را با فشار به سمت محفظه داخلی وارد می کند، انرژی این عمل از طریق هیدرولیز ATP تامین می شود. از اینرو علاوه بر افزایش شیب غلظت ،گلوکز یا آمینواسیدها درسیتوزول ها جمع می‌شوند، سپس از طریق انتشار تسهیل شده و در طول شیب کاهشی از دیواره جانبی سلول عبور می کنند(شکل۴-۶).مکانیسم انتقال فعال به منظور جذب پپتید ها(معمولا مونو، دی یا تری پپتیدها) نیز مشابه جذب گلوکز است.

انتشار تسهیل شده به حضور ناقل ها وابسته است. بنابراین، بر خلاف انتقال فعال، این مکانیسم صرفا در جهت شیب کاهشی تنظیم می شود و نیازی به انرژی ندارد. مولکول هایی که از پرزهای روده عبور میکنند، در سیتوزول تغییر شکل می دهند(برای مثال ایزومره شدن یا تبدیل مجدد اسیدهای چرب به تری گلیسیریدها) و شیب کاهشی به سمت سیتوزول باقی می ماند. انتشار تسهیل شده هر چند بندرت اتفاق می افتد اما مانند انتشارساده، نقش مهمی در انتقال ذرات و یون ها ایفا می کند.

در حیوانات، جذب لیپید از طریق ذرات معروف به میسل صورت می گیرد که از اسیدهای چرب شامل مونواسیل گلیسرول ها (حاصل از هیدرولیز تری اسیل گلیسرول توسط لیپاز کبدی) و نیز فسفولیپیدها (گوارشی یا صفراوی)،کلسترول و اسیدهای صفراوی ساخته می شوند.



شکل ٦-٤) مکانیسم جذب گلوکز (G) از طریق انتقال فعال. این روند در رابطه با سایر ترکیبات نظیر اسیدهای آمینه و پپتیدها نیز مشابه است.

ترکیبات مختلف لیپیدی و ترکیبات محلول در چربی (گروه ویتامین A و کاروتنوئیدها) که به مقدار کم در میسل ها دیده می شوند، بعد از تجمع میسل ها در طول دولایه چربی انتشار می یابند. در ماهیان تری اسید گلیسریدها سنتز می شود که سازنده برخی از لیپیدها نظیر لیپوپروتئین ها هستند. میزان سنتز این ترکیبات با سنتز آنها در کیلومیکرون های موجود در اندوپلاسمای رتیکلوم و دستگاه گلژی پستانداران برابری می کند. این ذرات از طریق اگزوسیتوز از انتروسیت ها خارج و از طریق رگ های

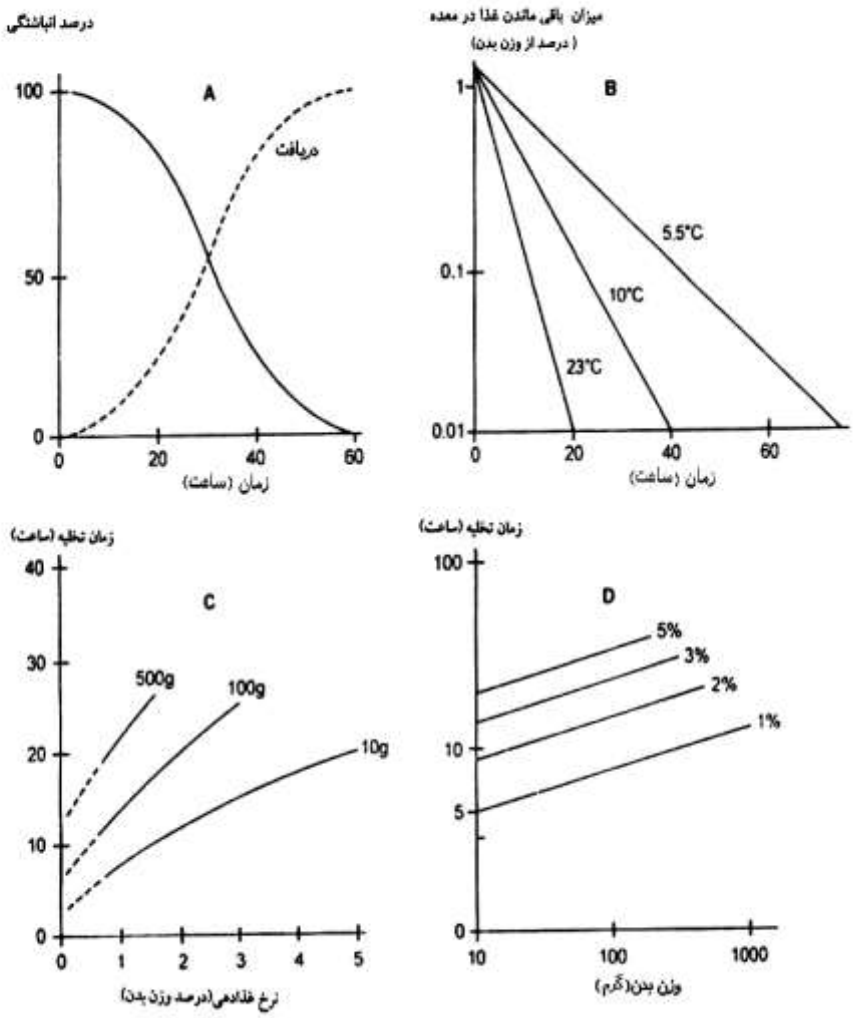
خونی یا لنفاوی به اعضای مختلف می روند. لیپیدهای موجود در انتروسیتها ذخیره مهمی برای ماهیان محسوب می شوند. جذب ویتامین های محلول در چربی از طریق میسل ها صورت می گیرد، اما ویتامین های محلول درآب درطول غشابه وسیله حامل های ویژه یا از طریق انتشار غیر فعال انتشار مییابند. مواد معدنی یا مینرال ها نیز با کمک حامل ها یا از طریق معبر های یونی جذب می شوند، در حالیکه عناصر منفرد جهت جذب معمولاً از اتصال به اسیدهای آمینه استفاده می کنند.

٤-١-٤) زمان هضم

غذایی که توسط ماهی از محیط دریافت می شود، در ماهیان دارای معده برای زمان نسبتا طولانی در معده می ماند (اغلب دهها ساعت در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد). در ماهیانی که طعمه خود را به طور کامل می بلعند وجود معده دارای اهمیت ویژه ای است. عمل هضم ابتدا روی پوشش خارجی طعمه خورده شده صورت می گیرد و با فعالیت فشرده آنزیم های تجزیه کننده پروتئین (بخصوص الاستاز) و کیتیناز ادامه می یابد. در سایر موارد بخصوص زمانیکه ماهی از غذاهای ترکیبی تغذیه کند، مکانیسم تخلیه غذا از معده به عوامل مختلف از جمله گونه و اندازه ماهی، نوع و مقدار غذا و دما بستگی دارد. به طورکلی، می توان تخلیه شدن معده را به شکلی متمایز با معادله‌ای مشابه با معادله پر شدن معده توصیف نمود. عموماً معده پرتر زودتر تخلیه می شود و خالی شدن معده تا حد معینی، می تواند با برگشت اشتها همراه باشد.

در مورد برخی از گونه ها و غذاهای مشخص ، زمان خالی شدن معده با میزان مصرف ارتباط مستقیم دارد و به لگاریتم وزن بدن نیز وابسته است (شکل۷-۴). هنگام مصرف مقادیر یکسانی از غذا، تخلیه معده در ماهیان کوچکتر سریع تر اتفاق می افتد. در این حالت، عکس آن هم صادق است. در زمان مصرف مقادیر یکسان غذا، نرخ مصرف غذا در ماهیان کوچکتر، بیشتر است. با افزایش درجه حرارت محیط فرایند گوارش تسریع می یابد (شکل۷-۴).

در گونه های فاقد معده، فرآیند تخلیه کامل دستگاه گوارش مشابه ماهیان دارای معده است. دراین گونه‌ها نقش بخش روده ای مشابه معده است و سرانجام اینکه ماهیانی که تمایل بیشتری به رژیم غذایی علفخواری دارند نسبت به گونه های گوشتخوار زمان هضم سریع تری دارند. بنابراین، آگاهی از میزان مصرف غذا و روند تخلیه غذا از معده(برای مثال در ماهی) امکان محاسبه تعداد وعده های غذایی مورد نیاز جهت توزیع غذا و کل جیره غذایی روزانه را فراهم می کند.



شکل ۷-٤) تنظیم زمان انتقال هضم

A: ارتباط بین معده خالی و بازگشت اشتها(Jobling,1977)

B : اثر دما بر زمان تخلیه معده(مدل لگاریتمی)

C: اثر وزن بدن بر زمان تخلیه معده

D: اثر جیره مصرفی(درصد وزن بدن) بر زمان تخلیه معده- ارتباط لگاریتمی بین دماهای مختلف.

۵-۱-٤) بررسی کلی پدیده هضم ـ جذب

بازدهی هضم غذایی در مفهوم گسترده ناشی از فرآیندهای موثر هضم نظیر ترشح آنزیم، فرآیندهای انتقال و جذب است. گرچه برخی عوامل مانند سن یا اندازه ماهی، موازنه مواد غذایی و دما، ممکن است به میزان زیاد بر این سه پدیده تاثیر گذار باشند، اما ارتباط بین آنها هنوز بررسی نشده است. به استثنای موارد پاتولوژیک (برای مثال فقدان آنزیم های پانکراسی به علت بیماری پانکراتیک در آزادماهیان یا اسهال که زمان هضم را تسریع می کند)، بنظرمی رسد که بررسی روابط بین این فرآیندها بسیار سودمند باشد. برای مثال، کاهش دما منجر به کاهش فعالیت آنزیم‌ها و کاهش نرخ جذب و سرعت انتقال بیشتر و کاهش جذب غذای خورده شده می شود. اما حداقل درماهیان یوری ترم، کاهش دما بندرت بر این تعادل مؤثر است. افزایش پروتئین،هیدرات کربن و لیپید غذا بسرعت ترشح پپسین، آمیلاز و لیپاز را تحریک میکند. این فرایند طولانی و نامطلوب است اما تنظیم مکانیسم های جذب (نظیر مهره داران عالی) معمولا باعث ثابت نگه داشتن میزان بازدهی کل فرایند ها بعد از یک دوره سازگاری میشود که اغلب به طور منظم طی یک روز رخ می دهد. به طور مشابه، در جریان رشد (به استثنای دوره متامورفیسم) نیازها نسبت به وزن بدن متغیر بوده و در صورتیکه غذا براحتی از محیط جذب شود، بلع غذا به موازات نیازها افزایش می‌یابد. به رغم این مسئله ،تعادل هضم همواره بدون تغییر باقی می ماند که دلیلی بر وجود موازنه بین بلع، ترشح آنزیم، جذب و زمان انتقال می باشد.

نقش شوری به صورت وسیع بررسی نشده است. انتقال یک ماهی یوری هالین از آب شیرین به آب شور، زمان هضم را تسریع می کند و قابلیت هضم را کاهش می دهد. شایان ذکر است که مکانیسم جذب وابسته به سدیم در گونه های آب شیرین نسبت به گونه های آب شور یا حیوانات خشک زی متفاوت است (Ferraris and Ahearn,1984).

۲-٤ - قابلیت هضم مواد غذایی

قابلیت هضم شامل برآورد کلی از گروهی از رخداد هاست که در بخش اول بطور خلاصه ارائه شده و دربر گیرنده مراحل جذب روده ای مواد مغذی است. به دلایل مختلفی بخشی از غذای هضم شده نمیتواند از موکوس روده ای عبور کند به شکل مواد زائد همانند مواد زاید با منشا متابولیک (موکوس، سلول های مرده، آنزیم های ترشحی) یا ضایعات حاصل از فعالیت باکتریایی، از بدن دفع می شوند .

بنابراین، ارزش غذایی یک غذا نه تنها به محتوای مواد مغذی آن، بلکه به قابلیت بلع و جذب آن توسط مصرف کننده نیز بستگی دارد. قابلیت هضم نشان دهنده تعادل بین مواد غذایی خورده شده و جذب شده در حیوان است.

در آبزی پروری ، مطالعات انجام شده پیرامون قابلیت هضم دارای سه هدف است: فهم بهتر پتانسیل مصرف مواد غذایی، بهبود کیفیت غذای مصرفی توسط ماهی و در نهایت کاهش ضایعات غذا که باعث حفظ کیفیت محیط زیست بویژه کیفیت آب می شود.

۱-۲-٤) شاخص‌های هضم‌پذیری

با استفاده از شاخص های هضم پذیری (DC[1]) امکان اندازه گیری قابلیت هضم فراهم می شود. با توجه به اینکه مواد دفعی با منشا داخلی (عمدتاً چربی ها، اسیدهای آمینه و مواد معدنی) در محاسبه مواد دفعی در نظر گرفته می شوند یا خیر، این شاخص ها را به دو صورت می توان تعریف نمود.

بطور مجزا ضریب قابلیت هضم ظاهری (ADC[2]) وضریب قابلیت هضم واقعی (TDC[3]) به این صورت تعریف می شوند:

$$\mathbf{ADC} = \frac{\text{غذای دفع شده} - \text{غذای خورده شده}}{\text{غذای خورده شده}} \times ۱۰۰$$

$$\mathbf{TDC} = \frac{(\text{مواد دفعی با منشا داخلی} - \text{غذای دفع شده}) - \text{غذای خورده شده}}{\text{غذای خورده شده}} \times ۱۰۰$$

[1] Coefficient Digestibility
[2] Coefficient Apparent Digestibility
[3] Coefficient of Digestibility True

از لحاظ تئوری ، ADC به وضیت فیزیولوژیک ماهی و نرخ هضم بستگی داشته و امکان برآورد توانایی حیوان برای نگهداری یا مصرف جیره غذایی را فراهم می کند. TDC عمدتاً به نوع جیره مصرفی و قابلیت هضم در گونه بستگی دارد و امکان برآورد نقش یک غذا در تامین مواد غذایی مورد نیاز حیوان را فراهم می کند. اما چون تعیین کسر مواد زاید با منشا داخلی در ماهی دشوار است بنابراین، معمولا از شاخص ADC استفاده می شود.

۲-۲-٤) روش های کاربردی در مطالعه قابلیت هضم

به علت پرورش نسبتاً آسان آزادماهیان، مطالعات در این زمینه روی این گونه ها انجام شده است. اما در حال حاضر قابلیت هضم مواد غذایی در سایر گونه ها نظیر مارماهی، کفشک ،کپور، گربه ماهی کانالی و غیره نیز در حال بررسی است. شاخص های مورد بررسی به اطلاعاتی در زمینه مصرف غذا و دفع مواد زاید نیاز دارد که می توان با روش مستقیم یا غیر مستقیم این اطلاعات را تهیه نمود.

۱-۲-۲-٤) روش مستقیم

در این روش، اندازه گیری کل غذای خورده شده و کل مواد زاید دفع شده در یک وعده غذایی مشخص، مورد نیاز است. استفاده از سایر روش های اندازه گیری مواد دفعی نیز می تواند مفید باشد، چون در این روش ها امکان محاسبه کمی مواد دفع شده حاصل از جیره های غذایی مصرفی توسط ماهی فراهم می شود.

۲-۲-۲-٤) روش غیر مستقیم

این روش در مقایسه با روش مستقیم، به اندازه گیری کل غذای مصرف شده یا کل مواد زاید دفع شده نیاز نبوده و از یک ماده نشانگر غیر قابل جذب، غیر قابل هضم و بی اثر استفاده میشود که در مواد غذایی گنجانده یا به جیره غذایی اضافه شده است. به علت ویژگی منحصربفرد این روش، پس ازعبور غذا از روده، ماده نشان دار بدون تغییر در ترکیب، در مدفوع دیده می شود (میزان غذای خورده شده × مقدار ماده نشانگر در غذا = میزان مدفوع × مقدار ماده نشانگر در مدفوع).

افزایش غلظت ماده نشانگر در مدفوع نسبت به غلظت مواد غذایی، امکان تعیین میزان کاهش مـواد غـذایی را بر اثر جذب در روده، فراهم می کند. عمدتاً دو گروه از مواد نشانگر مورد استفاده قرار می گیـرد: مـواد نشانگر داخلی یا مواد موجود در ترکیب غذایی (لیگنین، سیلیکا) و مواد نشـانگر خـارجی یـا مـواد افـزوده شده به غذا (اکسید کروم، مواد معدنی کمیاب یا قطعات رنگی). به رغم شناخت محـدوده گسـترده ای از این مواد ، هیچیک از آنها از لحاظ کیفی فاقد عملکردی عالی هستند.

خصوصیات یک ماده نشانگر ایده آل عبارتند از:

ـ کاملا بی اثر و بدون هیچ گونه اثر فیزیولوژیک یا رفتاری بر حیوان .

ـ جذب یا متابولیسم نشود.

ـ در جذب، ترشح، هضم یا تحریکات گوارشی تاثیری نداشته باشد.

ـ زمان عبور آن مشابه غذای مورد بررسی باشد.

ـ میزان آن براحتی و بسرعت قابل اندازه گیری باشد.

با توجه به مطالب مطرح شده، جهت اندازه گیری قابلیت هضم، هنگام انتخاب نیاز های غذایی بایـد یـک ماده نشانگر مناسب در نظر گرفته شود. امروزه به منظور تعیین قابلیت هضم مواد مغذی بـا اسـتفاده از روش غیر مستقیم، از اکسید کروم به عنوان ماده نشانگر و در یک نسبت ثابت یک تا دو درصد استفاده می شود. تحت این شرایط ، قابلیت هضم غذا بر اساس وزن خشک (بـه صـورت درصـد) بـا اسـتفاده از رابطـه ذیـل محاسبه می گردد:

$$\mathbf{ADC} = ۱۰۰ - \left(۱۰۰ \times \frac{\text{درصد ماده نشانگردر غذا}}{\text{درصد مواد نشان دار در مواد دفعی}}\right)$$

به طور مشابه، قابلیت هضم یک ماده مغذی به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$\mathbf{ADC} = ۱۰۰ - \left(۱۰۰ \times \frac{\text{درصد ماده نشانگر در غذا}}{\text{درصد مواد نشانگر در مواد دفعی}} \times \frac{\text{درصد ماده مغذی در مواد دفعی}}{\text{درصد ماده مغذی در غذا}}\right)$$

قابلیت هضم یک ماده مغذی بویژه مواد خام به طرق مختلف قابل محاسبه است:

- ماده مغذی را می توان به تنهایی و بدون هیچ ماده مغذی دیگر توزیع نمود و به این ترتیب، قابلیت هضم خام آن را محاسبه نمود، اما جز در موارد معدودی، مواد خام به تنهایی نمی توانند جیره غذایی متناسب و متعادلی را فراهم کنند، از سویی همراه شدن آنها با سایر ترکیبات مغذی قابلیت هضم آنها را تغییر میدهد.
- می توان ماده مغذی را به یک جیره پایه با قابلیت هضم مشخص با نسبت افزایشی اضافه نموده اما این روش بندرت مورد استفاده قرار می گیرد.
- ماده مغذی را به جیره پایه با قابلیت هضم مشخص و به نسبت ثابت اضافه کرد. افزودن آن به جیره میتواند با یک نسبت مشخص (تقریبا ۳۰ درصد جیره) یا به منظور افزایش دقت در سطوح مختلف (برای نمونه۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد جیره) انجام شود. در نهایت ، محاسبه ADC مربوط به ماده خام مورد نظر را میتوان از طریق تعیین میزان اختلاف با جیره پایه یا قیاس کردن با جیره های دیگر برآورد نمود، از این روش، بخصوص در مورد اندازه گیری قابلیت هضم نشاسته در ماهیهای کاد، قزل آلا و کپور استفاده میشود.

به طور کلی، قابلیت هضم دارای خاصیت جمع پذیری است و قابلیت هضم یک غذا را می توان از طریق مجموع قابلیت هضم اجزا اصلی تشکیل دهنده غذا پیش بینی نمود. اما در پاره ای گزارشها قابلیت هضم جمع پذیر نبوده است. هرچند افزایش نشاسته به غذا می تواند کاهش هضم پروتئین را موجب شود ، اما می تواند در قابلیت جذب نشاسته تاثیر مثبت بگذارد. از نظر کاربردی، قابلیت هضم یک ماده مغذی تحت تاثیر تعادل جیره غذایی نیست و بیان این مطلب فقط در حد یک فرضیه نزدیک به واقعیت است، اما به طور قطعی ثابت نشده است.

۳-۲-٤) مواد دفعی

در سیستم پرورش متراکم با مدیریت مطلوب که کل غذای داده شده توسط حیوان مصرف می شود، مدفوع شامل بخشی از غذای هضم نشده بعلاوه مواد زائد متابولیک (مخاط سلول های سنگفرشی، ترشحات آنزیمی و فلور باکتریایی) است. مواد زائد از لحاظ کمی نسبت به بقایای غذای هضم نشده بخش کمی از مواد دفعی را تشکیل می دهند.

بنابراین، در قزل آلا به ازای هر ۱۰۰ گرم ماده خشک که حدود ۰/۶ گرم(۶ درصد) نیتروژن دارد، مواد دفعی متابولیک فقط حاوی ۰/۱گرم نیتروژن می باشند، درحالیکه مقدار مواد هضم شده ۰/۴ تا ۰/۶ گرم نیتروژن دارند. ازینرو مقدار مواد زائد جامد نسبت به مواد اصلی مصرفی در غذاهای ترکیبی و نیز سهم مختلف هر یک از مواد مغذی (پروتئین ها، چربیها و هیدراتهای کربن) متفاوت است.

۱-۳-۲-٤) ترکیب

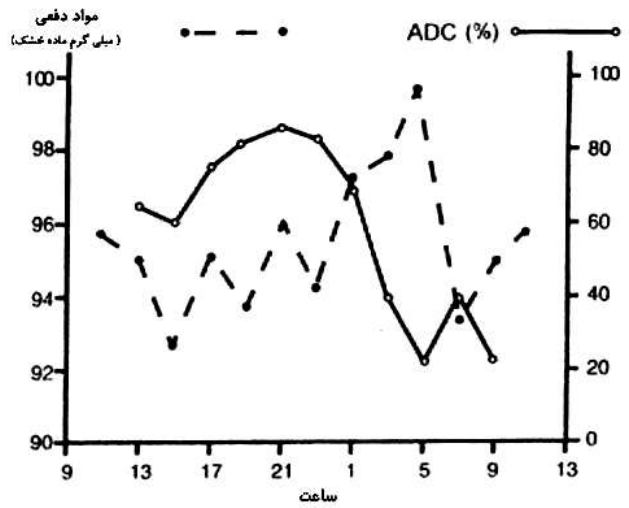
بین ۳ تا ۶ گرم از فضولات دفع شده توسط یک قزل آلای ۲۰۰ گرمی حاوی ۸۰ تا ۸۵ درصد آب است. بخش جذب نشده غذا به طور متوسط شامل۱۵ تا ۲۰ درصد پروتئین (۶/۲۵ × N)، کمتر از یک درصد لیپید ، ۱۵ تا ۲۰ درصد مواد معدنی و مقادیر مختلفی از هیدراتهای کربن و فیبرهاست. سهم هر یک از این مواد در ترکیب غذا به شکل قابل توجهی به نوع غذا بستگی دارد. در ماهیان دریایی میزان مواد معدنی در فضولات افزایش می یابد که مقدار این افزایش با توجه به روش نمونه برداری متفاوت است.

۲-۳-۲-٤) عوامل موثر بر تغییرات

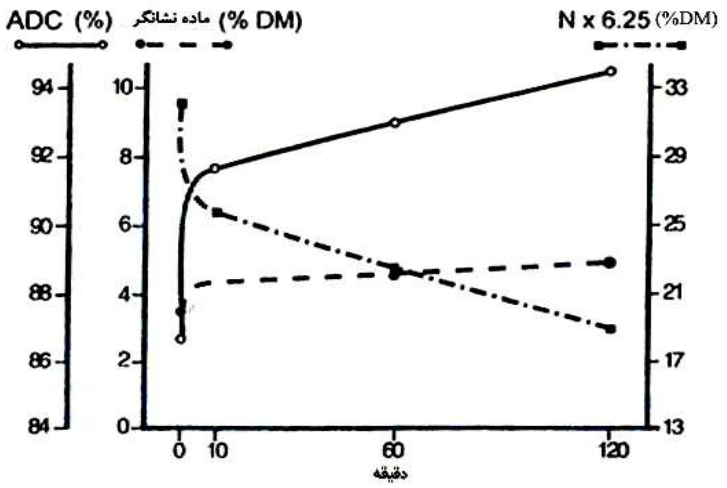
در قزل آلا ، دفع فضولات در یک دوره ۲۴ ساعته صورت می گیرد اما بصورت منظم تداوم نداشته و در شب افزایش می یابد. ریتم دفع فضولات در قزل آلا سینوسی است(شکل ۸-۴) و تفاوت در میزان دفع همراه با تغییر در ترکیب آنهاست. این پدیده باید هنگام اندازه گیری مقادیر ADC ، در یک دوره طولانی مدت، در نظر گرفته شود.

٤-۲-٤) جمع آوری مدفوع

چون محیط پیرامون ماهی را آب تشکیل می دهد، بروز پدیده هایی نظیر خیس خوردن، رقیق شدن و خرد و تکه‌تکه شدن وجود دارد، جمع آوری فضولات ماهی بمراتب دشوارتر از حیوانات خشک زی است. تاثیر این عوامل از پنج دقیقه اول دفع فضولات آغاز می شود و برای چندین ساعت ادامه دارد(شکل ۹-۴). این عوامل موجب تخمین بیش از حد مواد دفعی می شود (برای مثال ، برای نیتروژن ۱۰ تا ۱۵ درصد در ساعت) و این عامل منجر به برآورد بیش از حد ADC می گردد. بنابراین، تفکیک روشهای جمع آوری فضولات از اهمیت خاصی برخوردار بوده و براساس اینکه ماهی خارج از آب یا داخل آب باشد، طبقه بندی صورت گرفته است.



شکل ۸-٤) بررسی تغیرات در میزان دفع و ADC طی شبانه‌روز در ماهی قزا آلای رنگین کمان



شکل ۹-٤) تغییردر مقدار ماده نشانگر و ماده خشک مدفوع پس از غوطه ور شدن در آب (در صورتیکه از آب خارج نشوند). نتایج بر آورد ADC

۱-٤-۲-٤) ماهی خارج از آب

جمع آوری فضولات با استفاده از وارد کردن فشار به شکم : در این روش ماهی بی حس شده و از طریق فشار به شکم، فضولات خارج می شود. در قزل آلا وارد کردن فشار موجب صاف شدن روده می شود، اما این روش را نمی توان برای تمامی ماهی ها بکار برد (از جمله ، کپورمعمولی). علاوه براین، فشار دادن شکم باعث خروج ترشحات جنسی و بعضی اوقات خون می شود. ADC در این روش کمتر از حد واقعی برآورد می شود. از اینرو، در جهت تکمیل این روش دو روش دیگر مورد استفاده قرار میگیرد.

جمع آوری مدفوع از طریق تخلیه مقعدی: با استفاده از یک کانولای[1] شیشه ای متصل به یک مخزن و ایجاد خلاء، مواد دفعی موجود در محفظه رکتال جمع آوری می شوند.

تشریح و کالبد شکافی : در این روش محتوای رکتوم به طور کامل جمع آوری می شود، اما لازمه آن کشتن ماهی است.

این سه روش با وجود ساده بودن دارای نقاط ضعفی نیز هستند. از آنجاییکه جذب (عمدتا پروتئین ها)، در قسمت عقبی روده صورت می گیرد، نمونه هایی که از طریق این روش ها جمع‌آوری می شوند ، در حقیقت دارای مواد قابل جذب بوده و مدفوع واقعی محسوب نمی‌شوند. علاوه براین، این نمونه ها فقط در یک لحظه و به صورت آنی جمع آوری می شوند، در حالیکه فضولات در یک دوره ۲۴ ساعته در جریان یک فرآیند کامل هضم تولید می شوند. متوسط زمان هضم در ماهی قزل آلا، حدود ۳۰ دقیقه است، بنابراین بدیهی است که نمونه هایی که در ابتدا، وسط و انتهای زمان هضم جمع آوری شوند، مشابه نباشند ودر نهایت اینکه، دستکاری ماهی علاوه بر محدودکردن تعداد نمونه‌ها، باعث ایجاد استرس در ماهی می شود که این امر امکان نمونه گیری بعدی را دشوار می سازد.

[1] Canula

٢-٤-٢-٤) ماهی داخل آب

برای جلوگیری از بروز مشکلات هنگام نمونه برداری مانند نمونه برداری از موادی که جزء مواد دفعی محسوب نمی شوند، چندین روش جهت جمع آوری مداوم فضولات ماهی ایجاد شده که به شرح ذیل می باشند :

سیفون کردن فضولات : این روش شامل سیفون کردن لحظه ای مدفوع بلافاصله پس از خروج از بدن می باشد. اگر چه این روش، آزمایشگاهی است اما می توان از نتایج آن به عنوان مرجع استفاده نمود. این روش ساده به علت وجود برخی محدودیت ها، اصلاح شده و با فیلتر و ستون های تخلیه تکمیل‌تر شده است . (شکل ١٠-۴، بالا). اما باید اثر پدیده های حل شدن و خرد و متلاشی شدن فضولات را که قبلا به آنها اشاره شد، بویژه لحظه رهاسازی مدفوع، به حداقل رساند. همچنین مدفوع قبل از جمع آوری در معرض فعالیت باکتریایی نیر قرار می گیرند و سرانجام اینکه استفاده از این روش در ماهیان دریایی منجر به جمع آوری مقدار زیادی نمک می‌شود که حاوی آب فراوانی است و لازم است که آب آنها تبخیر شود زیرا مقادیر زیادی نمک به ترکیب مواد دفعی لطمه زده و اندازه گیری ADC را دشوار میسازد.

تصفیه مداوم آب : در این روش از طریق حرکات صفحات دوار آب دائما تصفیه می شود (شکل ١٠-۴) و به این ترتیب، مدفوع موجود در آب بسرعت جدا می شود، اما این روش را نمی توان برای گونه های دارای فضولات بسیار نرم بکار برد.

اضافه کردن ترکیبات چسبنده یا سیمانی به منظور تولید مدفوع سفت تر همواره کافی نیست.

در ماهی آزاد چینوک و باس دریایی از این روش ها به منظور تعیین قابلیت هضم پروتئین ها استفاده شده است. نتایج حاصل از روش های صاف کردن در مقایسه با دو روش دیگر (جدول۵-۴) به روش مرجع(سیفون کردن مواد دفعی) بسیار نزدیک بود.

جدول ۵-٤) ضریب هضم ظاهری پروتئین ها و لیپیدها در باس دریایی با استفاده از روش جمع آوری مدفوع (میانگین ± خطای استاندارد)(Spyridakii *et al*., 1989)

	روش های جمع آوری مدفوع					
	فشار به بخش شکمی	کالبد شکافی	تخلیه مقعدی	فیلتر کردن	سیفون کردن	صاف کردن
ADC پروتئین ها	۸۲ /۵ ± ۱/٤[a]*	۸٤/٤ ±۰/ ۸ [ab]	۸٦/٦ ±۰/۳ [a]	۹۰/٤ ± ۰/ ٦ [c]	۹۰/٦ ±۰/ ۳ [c]	۹٤/۲ ±۰/ ۱ [d]
ADC لیپید ها	۹٤/۱ ±۰/ ۸ [a]	۹۵ ± ۰/ ٤ [ab]	۹٦/۳ ±۰/ ٤ [b]	۹٦ ±۰/ ۲ [b]	۹۷/۳ ±۰/ ۲[b]	۹۷/۱ ±۰/ ۳ [b]

*: اعداد با حروف مشابه(در هر ردیف) اختلاف معنی ندارند

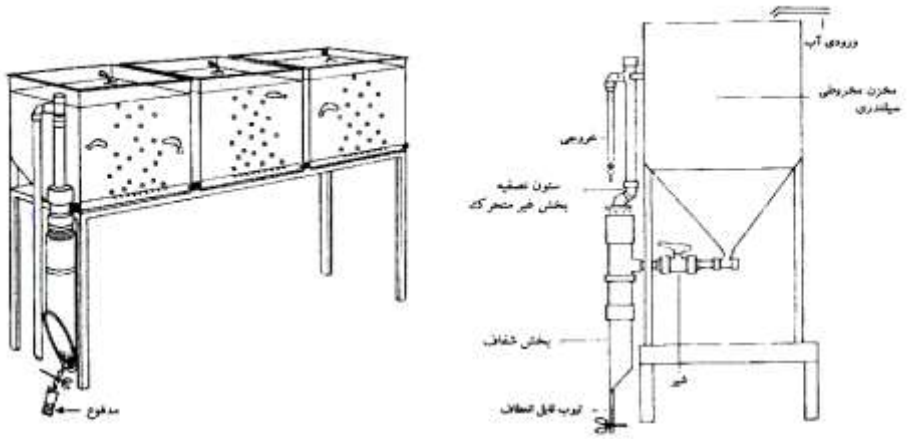
۵-۲-٤) استاندارد سازی

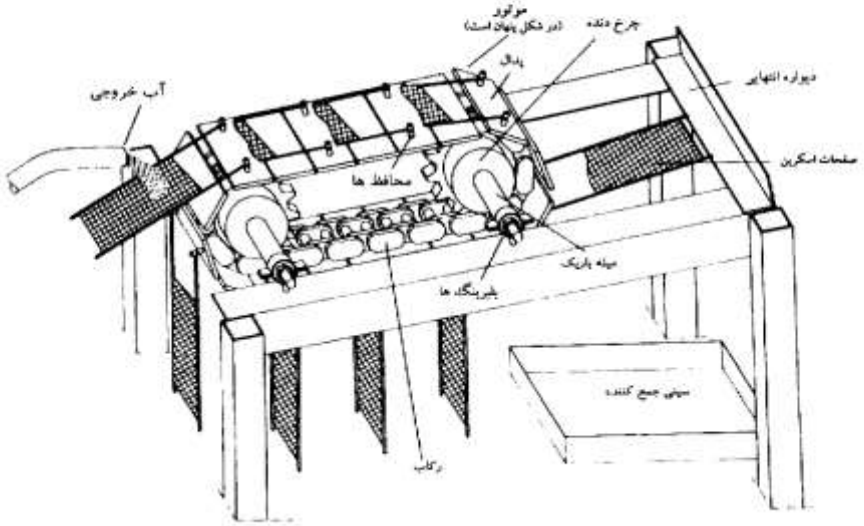
هر چند روش های عملی کاربردی و متعددی جهت برای جمع آوری مواد دفعی توسط EIFAC[1] پیشنهاد شده، اما بین مطالعات انجام شده در زمینه قابلیت هضم ماهی و در مفهوم مطلق آن، هیچگونه همگونی وجود نداشته و هر محققی معیارهای مخصوص بخود را برای برآورد قابلیت هضم دارد. با این وجود، برخی نکات متدولوژیک قابل تعریف به شرح ذیل است:

زمان سازگاری ماهی با شرایط تغذیه ای جدید: بعد از گذشت سه روز از تغییر جیره ADC مقادیر معینی را بخود اختصاص می دهد. بنابراین، سازگاری بسرعت انجام می شود و فقط اثرات زمان هضم را باید مورد توجه قرار داد به این ترتیب، مدفوع سه روز پس از توزیع جیره غذایی جمع‌آوری و قابلیت هضم آن بررسی می شود.

تکرار وعده های غذایی: بنظر نمی رسد تعداد وعده های غذایی در روز اثری بر قابلیت هضم داشته باشد، اما در زمان هضم و جذب غذا تاثیر می گذارد. از نظر اهداف کاربردی، یک وعده غذا در روز برای ماهی قزل آلا کافیست.

[1] European Inland Fishery Advisory Commission





شکل ٤-١٠) دستگاههای جمع آوری کننده فضولات ماهی

شکل بالا: دستگاهی با ستون تصفیه (از Guelph)

شکل پایین: دستگاهی با فیلتراسیون مداوم

(Choubert *et al.*,1983 ,Spyridakis *et al.*, 1989 Cho *et al.*,1985) (INRA-Saint-Pee)

ـ تعداد تکرار نمونه برداری و طول دوره نمونه برداری به منظور تعیین ADC با دقت بالا:
برای این منظور می توان از حاصل ضرب تعداد روزها × تعداد تکرارها استفاده کرد(جدول ۶-۴).

٦-۲-٤) قابلیت هضم مواد غذایی: نتایج

۱-٦-۲-٤) ویژگیهای کلی

اگر چنین فرض شود که دفع فضولات داخلی و قابلیت هضم در گسترده‌ترین مفهوم خود، مستقل از مقدار غذایی هستند که توسط حیوان خورده شده، TDC نیز مستقل از غذای خورده شده خواهد بود، اما در مورد ADC این حالت وجود ندارد. در صورت وجود سطوح بسیار پایین مصرف غذا، میزان ADC مقادیر بالای منفی را بخود اختصاص میدهد تا به صورت مجانب به TDC نزدیک شود. در صورت افزایش مقدار بلع ، حالت عکس صادق است. در عمل، ADC در منطقه ای اندازه گیری می شود که ADC آن نزدیک به TDC باشد و به این ترتیب ، ADC تقریبا ثابت باقی می ماند. اما زمانیکه میزان بلع غذا بالا باشد، در میزان ADC کاهشی مشاهده می شود که می تواند در نتیجه اشباع شدن ظرفیت هضم باشد.
ADC یک ماده غذایی را می توان با دقت بسیار بالایی اندازه گیری کرد (شاخص تغییر پذیری ۲ تا ۳ درصدی برای یک جیره و ۴ تا ۵ درصدی برای یک عنصر موجود در آن جیره)، اما میزان تغییر پذیری شیوه مورد استفاده بسیار زیاد می باشد. در نتیجه، مقایسه مقادیرADC بدست آمده در آزمایشگاههای مختلف با استفاده از گونه های متفاوت و مواد خام مختلف دشوار است. بنابراین، مقادیر قابل اطمینان، چیزی بیش ازیک بانک اطلاعاتی نسبتا اندک، نمی باشند اما برخی از نتایج با استفاده از همین مقادیر بدست آمده اند(جدول ۷-۴).

۲-٦-۲-٤) پروتئین ها

ماهی معمولا پروتئین ها را با ضریب هضم ظاهری (ADC) بیش از ۹۰ درصد هضم می کند که برابر یا بیشتر از مقادیر برآورد شده در مهره داران خشک زی است. در گونه های مختلف ماهی قابلیت هضم پروتئین ها از یک منبع مشخص، به میزان اندکی تغییر می کند.

جدول ٦-٤) تعداد تانک ها (T)× تعداد روزها (D) برای کسب یک دقت نسبی در برآورد ADC ترکیبات مختلف (de la Noue *et al* ,1980)

اجزاء	دقت		
	٪۱	٪۲	٪ ۵
مواد خشک	> 5T 14D	> 5T14D	3T10D
نیتروژن	2T 6D 3T5D 4T4D	2T4D 3T3D	2T3D 3T2D
انرژی	> 5T14D	> 5T14D	3T5D 4T4D

از حاصلضرب تکرار× تعداد روز، جهت تعیین دقت های مورد استفاده در جدول ٦-٤ استفاده شد.

جدول ٧-٤ قابلیت هضم برخی اجزاء اولیه جیره غذایی در قزل آلا (درصد)

عناصر اولیه	مواد خشک	پروتئین ها	لیپیدها	انرژی
آرد یونجه	۳۹	۸۷	۷۱	٤۳
آرد خون	۹۱	۹۹	-	۸۹
ذرت	-	۹۵	-	۳۹
گلوتن آرد ذرت	-	۹٦	-	۸۳
پودر پر هیدرولیز شده	۷۵	۵۸	-	۷۰
آرد ماهی	۸۵	۹۲	۹۷	۹۱
آرد استخوان	۱۸	۸۵	۷۳	۸۵
کنجاله شلغم روغنی	۳۵	۷۷	-	٤۵
سویای پخته	۱۸	۹٦	۹٤	۸۵
کنجاله سویا	۷٤	۹٦	-	۷۵
کنسانتره پروتئین ماهی	۹۰	۹۵	-	۹٤

در برخی گونه ها، ADC ثابت است، گرچه ممکن است با توجه به اندازه ماهی اندکی افزایش یابد. از نظر کاربردی، ADC تقریبا مستقل از مصرف غذا و درجه حرارت آب است و نیز تحت تاثیر لیپیدهای جیره، حتی در صورت غنی بودن جیره از لیپید ها قرار نمی گیرد.

قابلیت هضم با ماهیت پروتئین، منابع تامین کننده آن ، واکنش هایی که پروتئین در آن شرکت می کند و حتی اندازه ذرات غذا ارتباط دارد. پروتئین های با منشا حیوانی قابلیت هضم بیشتری نسبت به پروتئین های با منشا گیاهی دارند. هنگام استفاده از منابع پروتئینی گیاهی و به منظور بهبود ADC ، روش های پیشرفته ای جهت از بین بردن عوامل کاهنده ارزش غذایی این ترکیبات بکار می روند بطوریکه استفاده از سویای پخته شده باعث افزایش ADC تا ۷۰ تا ۸۵ درصد می شود.

۳-٦-۲-٤) لیپیدها

لیپیدها به علت نقطه ذوب پایین و بدون توجه به منشا،کاملاً توسط ماهی‌مصرف می شوند ٪ ۹۵<ADC) . در صورت جلوگیری از اکسیداسیون اسید های چرب جیره، میزان ADC افزایش می یابد در حالیکه با افزایش طول زنجیره اسیدهای چرب اشباع که منجر به افزایش درجه اشباعیت می شود، قابلیت هضم کاهش می یابد. به این ترتیب ، لیپیدهای غنی از اسیدهای چرب اشباع شده و زنجیره هایی با طول متوسط (مانند پیه) بخصوص هنگام پایین بودن دما، ADC نسبتا پایینی دارند. این پدیده به علت جامد بودن لیپیدها در دمای پایین است که امولسیون آنها را دشوار می سازد. ADC روغن خوک (lard) با نقطه ذوب ۲۸ تا ۴۸ درجه سانتیگراد در جیره غذایی آزاد ماهیان، هنگام افزایش دما از ۵ به ۱۵ درجه سانتیگراد، از ۷۰ به ۷۸ درصد تغییر می کند درحالیکه در شرایط مشابه، ADC روغن هایی با نقطه ذوب کمتر از صفر درجه سانتیگراد تقریبا بدون تغییر باقی می ماند(۹۰ تا ۹۳ درصد).

٤-٦-۲-٤) هیدراتهای کربن

گرچه قابلیت هضم قندهای ساده (گلوکز و ساکارز) نزدیک به صددرصد است ، اما مواد زائد هیدرات‌کربنی نسبت به سایر ترکیبات در مواد دفعی مشخص‌تر است. در حقیقت قابلیت هضم ۷۰ تا ۸۰ درصد و گاهی کمتر از ۵۰ درصد برای نشاسته که به دلایل اقتصادی احتمالا تنها منبع هیدرات‌کربنی است که در غذای ماهی گنجانده می شود، می تواند دلیل اصلی بالا بودن میزان مواد زائد حاصل از

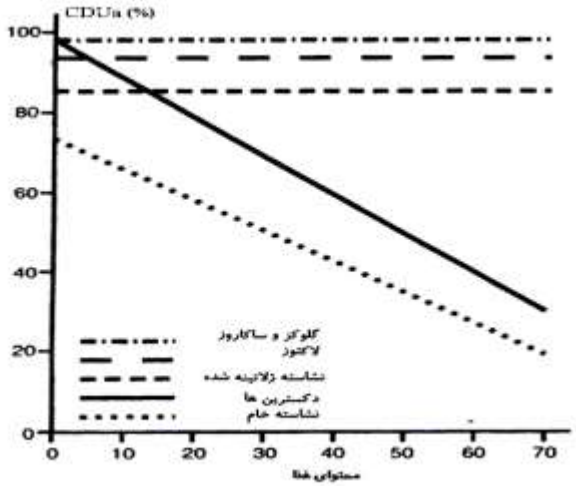
هیدراتهای کربن باشد. ADC نشاسته در رابطه با فعالیت آمیلاز تغییر می کند(جدول ۴-۴) همچنین تحت تاثیر دمای آب بوده و به طور کلی ADC نشاسته در ماهیان آبهای گرم، نسبت به ماهیان آبهای مناطق معتدل بالاتر است. افزایش دمای آب در ماهیان مناطق معتدل منجر به بهبود قابلیت هضم نشاسته می شود. این پدیده در قزل آلا در دمای ۸ تا ۱۸ درجه سانتیگراد و در کفشک در دمای ۱۳ تا ۱۸ درجه سانتیگراد مشاهده شده، بطوریکه ADC نشاسته خالص در قزل آلا و کفشک در دمای ۱۸ درجه از ۲۵ درصد به ۴۸ درصد افزایش می یابد. بطورکلی ، قابلیت هضم نشاسته به ماهیت آن که شامل ویژگی های نسبی آمیلوز و آمیلوپکتین (فصل ۸) و اندازه و پایداری نشاسته است، بستگی دارد. گرچه آمیلاز بر آمیلوز خالص، راحت تر از آمیلوپکتین عمل می کند، اما وجود ساختارکریستاله روی دانه های نشاسته باعث کاهش حساسیت آنها به آمیلاز می گردد، بنابراین زمانی که مقدار آمیلوز و همچنین اندازه ذرات نشاسته افزایش می یابد، ADC آن کاهش یابد. به این ترتیب، دانه های نشاسته در گیاهان غده ای و حبوبات نسبت به نشاسته غلات اندازه بزرگتر داشته واز قابلیت هضم کمتری برخوردارند. اعمال تیمارهای گرمایی یا هیدروترمال به منظور تغییر ساختار دانه ای نشاسته، ضریب بهره وری هضم (CDU[1]) آن را افزایش میدهد و نشان دهنده اثرات مفید ژلاتینه شدن است(فصل ۸). انجام تیمار خشک گرمایی نیز روی نشاسته خالص موجب هیدرولیز مولکول های اولیه و تبدیل آنها به دکسترین ها (فرآورده تجاری) می شود و تاثیری مشابه سایر تیمارهای گرمایی دارد. هنگام غیر قابل هضم بودن نشاسته وکاهش میزان مشارکت آن، معمولا ADC نیز کاهش می یابد، اما ADC قندهای ساده یا نشاسته های کاملاً ژلاتینه شده ثابت میمانند(شکل ۱۱-۴). در ماهیان فاقد معده قابلیت هضم نشاسته با اندازه ذرات غذایی رابطه معکوس دارد که در این زمینه اطلاعات بسیارمحدودی وجود دارد.

۷-۲-٤) سایر متغیرها

همانند سایر حیوانات، در ماهی نیز قابلیت هضم مواد مختلف بخصوص هیدراتهای کربن پیچیده از گونه‌ای به گونه دیگر متفاوت است. در مورد میزان جذب مواد از جیره غذایی هنوز اختلاف‌نظرهای زیادی وجود دارد.

[1] Coefficient of Digestive Utilisation

بطورکلی ، فرض می شود که قابلیت هضم مواد غذایی مستقل از مقدار غذای خورده شده است. اما در گربه ماهی آفریقایی بین مقدار پروتئین خورده شده و قابلیت هضم همبستگی منفی وجود دارد، مشابه این حالت در ارتباط با قابلیت هضم نشاسته در قزل الا وجود دارد. علاوه براین، در همه گونه ها ، کاهش در مقدار غذای خورده شده امکان بهره برداری بهتر از مواد غذایی را فراهم می کند که با بهبود میزان ADC قابل توجیه است. سایر عوامل بصورت محدود ADC را تحت تاثیر قرار می دهند. صرف نظر از روش کار، از جمله این عوامل می توان به گیاهان قابل هضم و عوامل زیست محیطی دما (اثرآن نسبت به نشاسته تشریح شد) و شوری آب اشاره کرد. ظاهراً نقش گیاهان قابل هضم (حداقل در مورد گونه های مناطق معتدل) ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است اما در مورد تاثیر دما بر قابلیت هضم اختلاف نظرهای بسیاری وجود دارد.طبق نظر برخی محققان، در دمای ۸ درجه سانتیگراد ADC پروتئین ها و انرژی اندکی کمتر از دمای ۱۸ درجه سانتیگراد است، درحالیکه سایر محققان اثر دما را بسیار ناچیز و قابل اغماض می دانند. اما این مغایرت را می توان از طریق تغییر ADC نشاسته توجیه نمود که در دماهای بالا افزایش می یابد.



شکل ۱۱-٤) تغییرات بهره وری هضم (CDU) درهیدراتهای کربن مختلف نسبت به سطح همبستگی

احتمالاً افزایش شوری در گونه های یوری هالین کاهش قابلیت هضم پروتئین را بدنبال دارد. تاثیر شوری در ADC لیپیدها و هیدراتهای کربن کمتر شناخته شده است ، با این وجود بنظر می رسد که اثر شوری بر ADC این ترکیبات، مشابه اثرات مشاهده شده بر پروتئین‌هاست که می تواند ناشی از تسریع زمان هضم باشد.

٣-٤- خلاصه

ساختار دستگاه گوارش در ماهی بسیار متنوع تر و متفاوت تر از مهره داران عالی است. در مقابل، آنزیمهای درگیر در فرآیند هضم، گاهی از نظر مقادیر کمّی، مشابه آنزیم های مهره داران خشک زی میباشد. این حالت از نظر کیفی صادق نیست برای مثال، فعالیت زیاد پروتئاز در مقابل فعالیت کم آنزیم های تجزیه کننده گلوکز (گلوکوسیدازها) قرار می گیرد. امروزه، مکانیسم های اصلی هضم – جذب بخوبی شناخته شده اندکه به میزان زیادی تحت تاثیر خونسرد بودن ماهی قرار دارند، اما تنظیم فرآیند هضم، جذب و انتقال باعث می شود که تعادل هضم توسط عوامل جیره ای یا زیست محیطی تحت تاثیر قرار گیرد. گرچه بسیاری از جنبه ها هنوز مطالعه نشده که از بین آنها اختلافات بین گونه ای بیشتر قابل ملاحظه است.

به طور کلی، روند همه فرایند ها از فیزیولوژی هضم تا قابلیت هضم مواد غذایی ، در ماهی منحصربفرد بوده و این امر اندازه گیری این فرایند ها را بمراتب دشوارتر از حیوانات خشک زی ساخته است. ماهی ها قابلیت بسیار بالایی در هضم پروتئین ها دارند، درحالیکه قابلیت هضم هیدراتهای کربن در آنها پایین است. امروزه اطلاعاتی در دسترس است که می توان از آنها به منظور فرموله کردن غذا یا تنظیم آن استفاده نمود، اما این داده ها گونه های محدودی را در بر میگیرند و در مورد سایر گونه ها ناقص و پراکنده ارائه شده اند. پیشرفت حاصل شده در زمینه تغذیه و غذادهی، ضرورت افزایش علم ودانش مرتبط با فیزیولوژی هضم و قابلیت هضم غذا را می طلبد.

((فصل ۵))

انرژی‌زایی مواد غذایی

ماهی نیز همانند سایر حیوانات، در جهت انجام فعالیت های حیاتی به انرژی نیاز دارد. اکسیداسیون ترکیبات آلی (هیدراتهای کربن، چربیها و پروتئین‌ها) تحت شرایط هوازی، از طریق هضم غذا و تغییر و تحول سلول ها و بافت ها تامین می شود، تنها منبع انرژی است که می تواند توسط ارگانیسم مورد استفاده قرار گیرد. نیاز های انرژی در ماهی بستگی به گونه و مرحله فیزیولوژیک آبزی دارد. همچنین این نیاز ها با توجه به عوامل زیست محیطی بویژه دمای آب متغیر بوده بنحویکه خونسرد بودن تاثیر زیادی در متابولیسم انرژی در ماهی می‌گذارد. متخصصان علوم تغذیه در جهت تجزیه وتحلیل انرژی حاصل از غذا و تقسیم آن در مسیر کاتابولیسم یا آنابولیسم مطالعات زیادی انجام داده اند. مطالعه استفاده متابولیک از مواد مغذی مانند مراحل مختلف حدواسط متابولیسم و تولید انرژی در سطح سلولی بصورت شیوه ای مکمل، تفسیری بهتری از داده های تغذیه ای را امکان‌پذیر می کند.

۱-۵ - تولید انرژی در سطح سلولی

۱-۱-۵) کلیات

طی فرآیند هضم داخل یا خارج معده ای، ذرات غذایی درشت حاصل از غذای مصرفی به اجزاء کوچکتر شکسته می شوند بطوریکه پروتئین ها به آمینواسید ها (AA) ، تری اسیل گلیسرول ها (TAG) به اسیدهای چرب (FA) و گلیسرول ها ، و پلی هولوسیدها به هگزوز ها بویژه گلوکز تبدیل میشوند(فصل ۴).

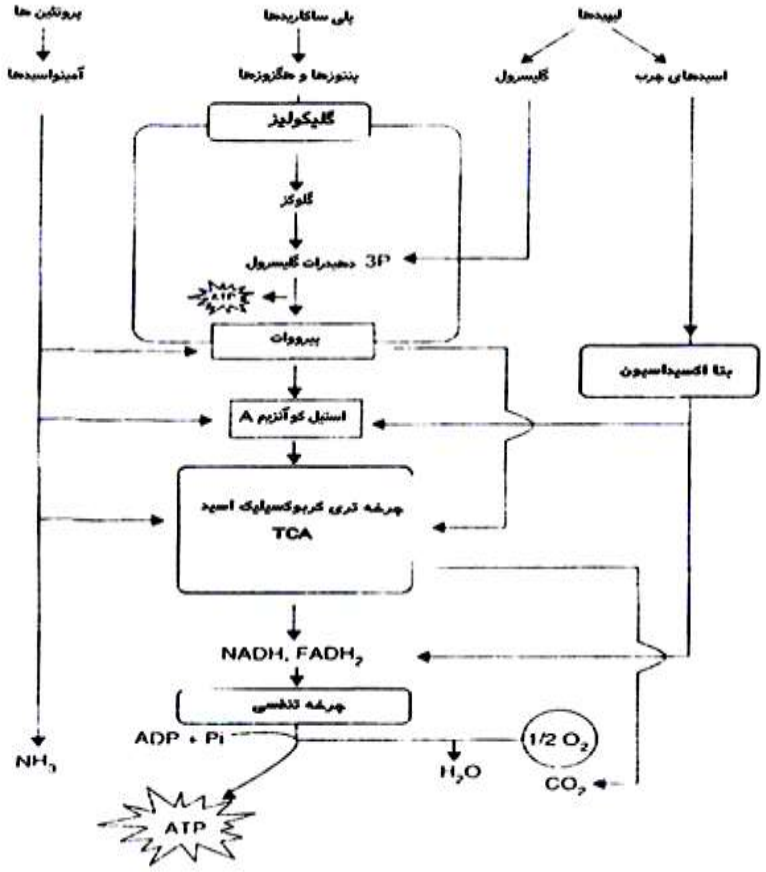
در هر حال، ذرات غذایی پس از جذب بر اثر تغییر شکل از طریق واکنش های آنابولیک که امکان تجمع انرژی را برای موجود زنده فراهم می کند، در ساختار سلولی گنجانده می شوند یا از طریق واکنش های گرمازایی که به معنی واکنش های تولید کننده انرژی است، کاتابولیز می شوند. واکنش های گرمازا به منظور سنتز مولکول هایی با حداقل یک باند غنی از انرژی که عمدتا شامل مولکول های ATP می باشد، استفاده می شوند و انرژی مورد نیاز جهت انجام فرآیندهایی از قبیل سنتز، انتقال بین غشایی و انقباضات ماهیچه ای، بر اثر هیدرولیز این مولکول ها حاصل می شود. مطابق اصل دوم ترمودینامیک که تبدیل انرژی شیمیایی به اشکال دیگر انرژی همیشه با بازدهی ۱۰۰ درصد نخواهد بود، در جریان فرآیندهای کاتابولیک، نیز بخشی از انرژی به شکل ATP یا اکی والان های آن ذخیره نشده بلکه به صورت گرما هدر می‌رود.

تولید انرژی به صورت هوازی در سلول ها در سه مرحله رخ می دهد(شکل ۱- ۵) :

- تشکیل استیل کوآنزیم A (CoA) از طریق اکسیداسیون اسیدهای چرب، اسیدهای آمینه یا پیروات که عمدتا به واسطه گلیکولیز تولید شده است.
- تجزیه گروه های استیل بواسطه چرخه کربوکسیلیک اسید (TCA) معروف به چرخه اسید سیتریک یا چرخه کربس، همراه با آزاد شدن CO_2 ، احیاء نوکلئوتیدها و اتم های هیدروژن.
- انتقال الکترون های هیدروژن به اکسیژن مولکولی همزمان با فسفریلیشن و اتصال فسفر به ADP و تولید ATP .در هر لحظه با توجه به نیاز سلولی، انرژی می تواند از طریق پیوند ADP/ATP آزاد یا ذخیره شود و توزیع انرژی در داخل سلول را ممکن سازد.

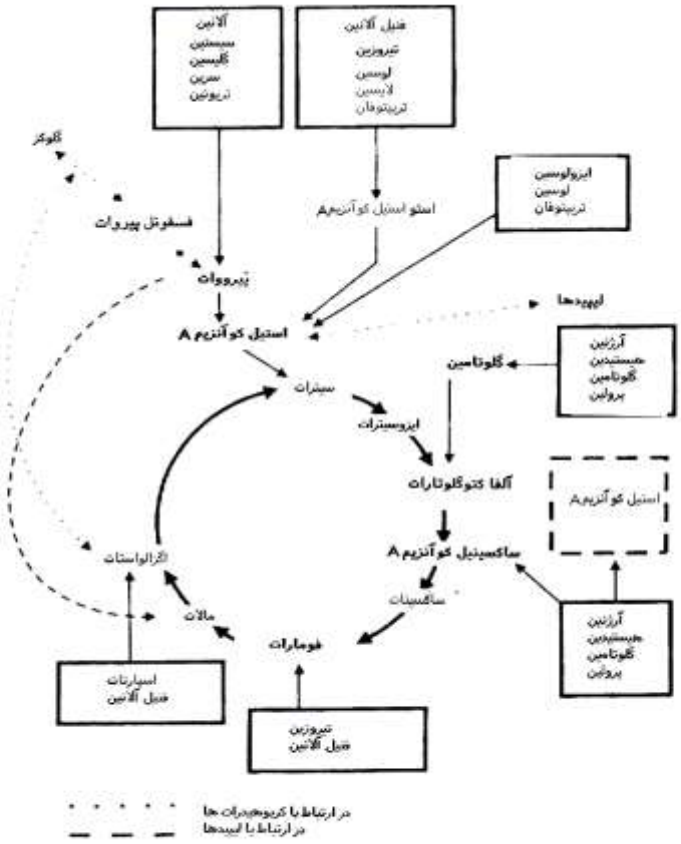
در ماهی همانند سایر مهره داران، چرخه کربس مکان معمول استفاده از مواد انرژی زا تحت شرایط هوازی است. برخلاف پرندگان و پستانداران، ماهی میزان کمی از گلوکز را به عنوان ماده انرژی زا برای اکسیداسیون سلولی مورد استفاده قرار می دهد.

از مهمترین خصوصیات ماهی، استفاده از اسید آمینه به عنوان منبع تامین انرژی است. اسیدهای‌آمینه میتوانند از جهات مختلف وارد چرخه شده (شکل ۲-۵) و باعث افزایش فعالیت ماهی ها شوند. بنابراین، در ماهی ترجیحا از اسیدهای‌آمینه به جای گلوکز به عنوان منبع انرژی استفاده می شود. اسیدهای چرب نیز در تولید ATP نقش دارند. هنگامی که جیره غذایی حاوی مقدار زیادی چربی باشد اکسیداسیون اسیدهای‌آمینه به میزان قابل توجهی کاهش یافته و باعث صرفه جویی در مصرف پروتئین می گردد.



شکل ۱-۵) مسیر های اصلی تولید انرژی

از نظر اکسیداسیون، تفاوت زیادی بین بافت ها وجود دارد. در بافت هایی که دارای بیشترین تعداد میتوکندری هستند مانند کبد، قلب، آبشش ها و عضله قرمز که انقباضات آرام و مستمری دارد، بالاترین سطح اکسیداسیدن مشاهده می شود.در کبد، کتواسیدهای حاصل از کاتابولیسم آمینواسیدها همراه با گروههای استیل حاصل از بتا اکسیداسیون اسیدهای چرب، مهمترین منابع انرژی را تشکیل می دهند. در عضله سفید با داشتن فیبرهای فعال و وجود متابولیسم غیر هوازی،مهمترین منبع تولید انرژی تبدیل گلوکز به لاکتات است.



شکل۲-۵) جایگاههای احتمالی ورود اسیدهای آمینه به چرخه کربس در کبد ماهی

این بافت در مقایسه با عضله قرمز غنی از انرژی بوده و برای حرکات سریع در زمان کوتاه بکار می رود. ظرفیت اکسیداسیون و گلیکولیز عضله در گونه های مختلف متفاوت بوده و ظاهرا در ارتباط با ظرفیت شنای مستمر و دائمی گونه است.

۲-۱-۵) کاتابولیسم اسیدهای آمینه

اولین مرحله در تجزیه آمینواسیدها تبادل آمینی است. اسیدآمینه از طریق تجزیه آمینی به آلفا-کتواسید تبدیل می شود که با سنتز گلوتامین از آلفا-کتوگلوتارات همراه می باشد. سپس در مسیر دهیدروژنه شدن گلوتامین آلفا-کتو گلوتارات از طریق تجزیه گلوتامین ، مجددا شکل می گیرد. تبادل آمینی گلوتامین توسط تعداد زیادی اسید آمینه انجام می شود و کبد مکان اصلی این واکنش است. در هر بار تبدیل نیتروژن، ساختار کربنی می تواند هم برای سنتز گلیکوژن توسط اکسالواستات استفاده شود و هم درچرخه کربس اکسید گردد. زمانیکه اسیدهای آمینه در مراحل مختلف وارد چرخه می شوند مسیر چرخه نه تنها توسط فعالیت سنتز سیترات بلکه از طریق وارد شدن در مرحله آلفا-کتو گلوتارات تنظیم میشود. مهمترین انتقال دهنده های اسیدهای آمینه، انتقال دهنده اسپارتات و آلانین می باشند(به اتتقال دهنده اسپارتات، انتقال دهنده اکسالواستات گلوتامات یا GOT و به انتقال دهنده آلانین، انتقال دهنده پیروات گلوتامات یا GPT نیز گفته می شود).

۳-۱-۵) کاتابولیسم چربی‌ها

اگر چه در ماهی سنتز چربی ها عمدتا در کبد صورت می گیرد، اما تجزیه آن تقریبا در همه بافت ها انجام می شود. مکانیسم های انتقال در میتوکندری و اکسیداسیون اسیدهای چرب در ماهی مشابه سایر مهره‌داران است.اسیدهای چرب حاصل از هیدرولیزتری اسیل گلیسرول ها(TAG) در مسیر لیپاز از طریق سیستم انتقالی آسیل- کارنتین به میتوکندری منتقل می شوند. سپس این ترکیبات از طریق چرخه های متوالی بتا- اکسیداسیون شکسته شده و اجزاء دو کربنه ای به شکل استیل کوآنزیم A آزاد می شود (فصل ۷) که در مرحله اسید سیتریک وارد چرخه کربس(TCA) می گردد.

درپستانداران استیل کوآنزیم A تولید شده از طریق بتا-اکسیداسیون اسیدهای چرب هنگام ورود به چرخه کربس، اشباع شده و منجر به تشکیل توده های کتونی می شود. در ماهی به علت وجود چرخه Futile «فرآیند بسیار فعالی که ماده انرژی زا تولید نمی کند ولی منجر به از دست رفتن انرژی به صورت استیل کوآنزیم A – استو ⟷ استو- استات می شود » سطح توده های کتونی در حد پایین نگه داشته میشود.

٤-١-٥) کاتابولیسم هیدرات‌کربن

مهمترین مسیر کاتابولیسم گلوکز در بافت های ماهی، گلیکولیز است. طی فرآیند گلیکولیز، گلوکز به پیروات تبدیل شده و ۲ مولکول ATP و مقدار کمی انرژی بدست می آید. البته این مقدار انرژی تنها معادل ۲ درصد انرژی حاصل از سوختن کامل (آنتالپی) گلوکز است.

در ماهی همانند سایر حیوانات واکنش های گلیکولیتیک کاملا برگشت پذیر بوده که بجز سه واکنش شامل کاتالیز شدن توسط هگزوکیناز، فسفوفروکتوکیناز و پیروات کیناز، می توانند در جهت تولید گلوکز از منابع غیر قندی (گلوکونئوژنز) عمل نمایند. هر سه این واکنش ها گلیکولیز را محدود میسازندکه از بین آنها هگزوکیناز از اثر کمتری برخوردار است و محدودیت کمتری ایجاد می کند. آنزیم های گلیکولیتیک موجود دربافت های گونه های مختلف ماهی، کشف و مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند(فصل ۸). گلیکولیز در کبد ماهی به جای تولید پیروات به منظور اکسیداسیون، زمینه های بیوسنتز مولکول های مختلف را فراهم می کند. در سلول های هوازی، طی فرآیند جداشدن گروه های کربوکسیل از مولکول پیروات (دکربوکسیلاسیون) استیل کوآنزیم A تشکیل می شود که بعدا در چرخه کربس اکسید می گردد. واکنش تبدیل پیروات به لاکتات تحت شرایط بی هوازی در عضله سفید به وسیله کاتالیزور لاکتات دهیدروژناز تسریع می شود. گلیکولیز تنها راه تجزیه هیدراتهای‌کربن نیست. در ماهی ها چرخه پنتوز یا Shunt نیز به منظور تجزیه هیدراتهای‌کربن عمل می نماید. این چرخه NADP مورد نیاز جهت سنتز اسیدهای چرب را فراهم می کند (فصل ۸) و فعالیت آن به دما بستگی دارد.

٥-١-٥) چرخه تری‌کربوکسیلیک اسید(TCA)

هشت واکنش این چرخه در پستانداران و ماهی ها به شکلی مشابه در میتوکندری انجام می گیرد و آنزیمی که در کبد قزل آلا ورود استیل کوآنزیم A را در مرحله سنتز سیترات به داخل چرخه کنترل میکند دارای عملکردی مشابه با پستانداران است. با این وجود، در ماهی تنها یک شکل فعال از آنزیم ایزوسیترات دهیدروژناز (شکل وابسته +NADP) وجود دارد، در حالیکه این آنزیم در پستانداران دارای دو شکل فعال است. مراحل بعدی که منجر به تشکیل اکسالواستات در ماهی می شود تفاوت چندانی با پستانداران ندارد.

٦-۱-۵) چرخه تنفسی

اشکال احیاء شده NAD, NADP, FAD که در چرخه کربس و همچنین طی فرایند گلیکولیز تولید شده‌اند، سرانجام به صورت هوازی و از طریق پاره ای واکنش های اکسیداسیون- احیا در چرخه تنفسی اکسید می شوند. در چرخه کربس جفت الکترون های حاصل از واکنش های حدواسط در طول یک زنجیره از آنزیم های انتقال الکترون همراه با کاهش تدریجی سطوح انرژی عبور داده می شوند. این الکترون ها در آخرین مرحله، اکسیژن مولکولی را که پذیرنده نهایی الکترون ها در عمل تنفس است، احیا می کنند که در واقع در این مرحله، الکترون ها اکسیژن و هیدروژن را با هم ترکیب نموده و مولکول آب را تشکیل می دهند. کل این فرآیند، در اصطلاح فسفریلاسیون اکسیداتیو (سنتز ATP) نامیده میشود که طی آن از هر مولکول گلوکز ۳۶ مولکول ATP تولید می شود و انرژی معادل ۳۸٪ انتالپی این ترکیب ایجاد خواهد شد.

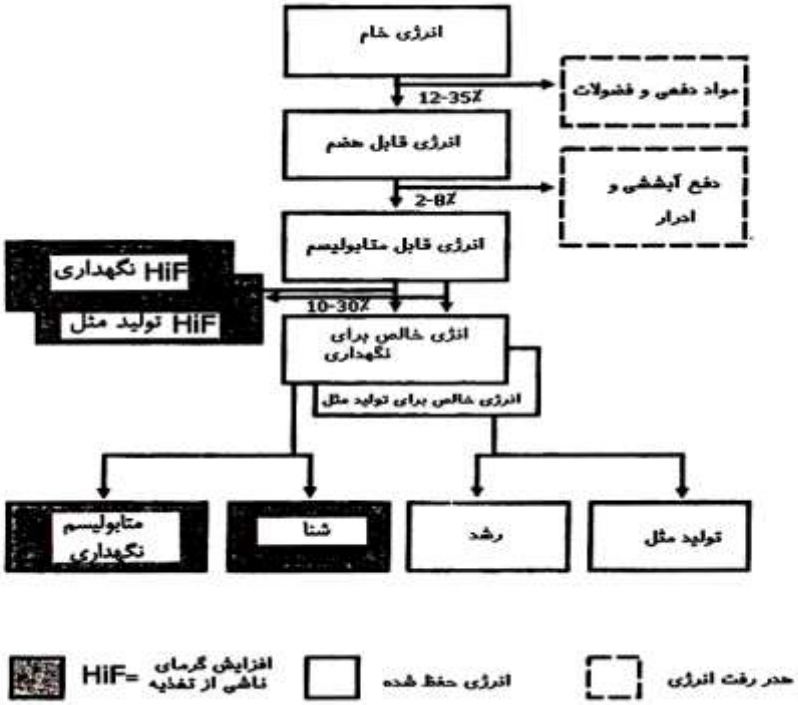
تغییرات مداوم کربن در چرخه کربس بوسیله نسبت های ATP/ADP , NADH/NAD+ تنظیم می شود و چون این مولکول ها به عنوان تعدیل کننده های آنزیم های متابولیک عمل می کنند، حضور آنها برای عملکرد این آنزیم ها ضروری است. نسبت های ATP و ADP در سلول، نشان دهنده تعادل بین واکنشهای مصرف و تولید انرژی است. حالت انرژی زایی سلول بر طبق شارژ انرژی به صورت ذیل توصیف می گردد:

$$EC = \frac{[ATP] + \frac{1}{2}[ADP]}{[ATP] + [ADP]} + AMP$$

شارژ انرژی بافت کبدی در گونه های مختلف ماهی پایین تر از پستانداران است که گرچه نشان دهنده وجود تفاوت تنظیم متابولیسم انرژی در بین این ارگانیسم‌هاست، اما پیامدهای این پدیده ناشناخته مانده و هنوز مطالعه نشده است.

۲-۵ - تقسیم بندی انرژی غذایی

تقسیم بندی انرژی حاصل از غذا در ماهی در شکل ۳-۵ ارائه شده است. انرژی خام (GE[1]) ، انرژی قابل هضم (DE[2]) ، انرژی قابل متابولیسم(ME[3]) و انرژی خالص (NE[4]) همگی می توانند برای تعیین میزان انرژی موجود در غذا مورد استفاده قرار گیرند. در تمامی موارد، انرژی برحسب کیلوژول (KJ) یا مگا ژول (MJ) در گرم یا کیلوگرم از ماده خشک بیان می شود (واحد کیلوکالری نیز مورد استفاده قرار می گیرد : 1 KJ = ۴/۱۸ K Cal).



شکل ۳-۵) تقسیم‌بندی انرژی جیره غذایی در ماهی

---

[1] Gross Energy
[2] Digestible Energy
[3] Metabolisable Energy
[4] Net Energy

۵-۲-۱) انرژی خام (GE)

میزان انرژی خام معادل اصطلاح انتالپی مورد استفاده توسط فیزیکدانان است (گرمای حاصل از سوختن در یک حجم ثابت) که به طور قراردادی با علامت + به جای علامت – مشخص می شود. انرژی خام حاصل از غذا صرفا به ترکیب شیمیایی آن بستگی داشته و مقدار آن را می توان از انرژی های خام به دست آمده از هر یک از ترکیبات آلی رژیم غذایی محاسبه نمود. مقدار متوسط انرژی خام برای پروتئینها ۲۳/۷ کیلو ژول بر گرم ، چربیها ۳۹/۵ کیلو ژول بر گرم و هیدراتهای کربن (شامل فیبر) ۱۷/۲ کیلوژول بر گرم می باشد. همچنین در صورت مشخص بودن انرژی های خام هر یک از اجزاء سازنده جیره غذایی، می توان انرژی خام را برآورد کرد.

۵-۲-۲) انرژی قابل هضم (DE)

انرژی قابل هضم برابر با میزان انرژی خام غذای خورده شده منهای انرژی خام مدفوع است که این مقدار معمولا بین ۱۰ تا ۳۰ درصد انرژی خام جیره غذایی را تشکیل می دهد. قابلیت هضم انرژی جیره غذایی به اجزاء تشکیل دهنده جیره بستگی دارد. بطوریکه در ماهی نیز قابلیت هضم انرژی یک ماده غذایی مشخص به میزان زیادی تحت تاثیر اجزاء تشکیل دهنده جیره (فصل ۴) بجز نشاسته خام (فصول ۴و۸) است. انرژی قابل هضم یک جیره غذایی را می توان از طریق اندازه گیری انرژی خام غذا و مدفوع مشخص نمود یا با محاسبه مجموع انرژی های قابل هضم پروتئین‌ها، چربی‌ها و هیدراتهای کربن یا حتی با محاسبه مجموع انرژی های قابل هضم اجزاء غذایی برآورد کرد. بنابراین، اگر از روابط متقابل بین اجزاء جیره و قابلیت هضم صرفنظر شود، انرژی قابل هضم را می توان به عنوان یک فاکتور جمع پذیر در نظر گرفت.

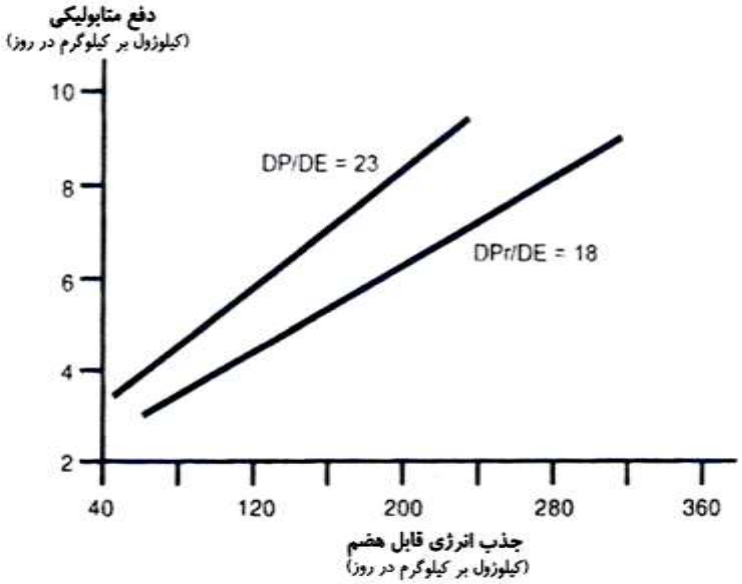
۵-۲-۳) انرژی قابل متابولیسم (ME)

انرژی قابل متابولیسم برابر با میزان انرژی قابل هضم منهای میزان هدررفت انرژی از ماهی از طریق آبششها و ادرار ماهی است. همانطور که قبلا اشاره شد، کاتابولیت های نیتروژنی از طریق تجزیه آمینواسیدها و بیش از اکسیداسیون آنها تولید می شوند. از نظر کاربردی، مقدار انرژی آنها (بر حسب کیلو ژول) به صورت حاصلضرب مقدار نیتروژن دفع شده در ضریب ۲۴/۷ قابل محاسبه است.

بنابراین، تخمین مقدار مواد دفعی نیتروژنی به صورت ۸۵ درصد نیتروژن آمونیاکی (۲۵ کیلوژول بر گرم) و ۱۵ درصد نیتروژن به شکل اوره (۲۳ کیلوژول بر گرم) خواهد بود، هر چند این مقادیر تقریبی است.

برخی محققان انرژی جیره غذایی ماهی بر حسب انرژی قابل متابولیسم را از طریق قیاس با سیستم های مورد استفاده برای سایر گونه ها بویژه ماکیان بیان می کنند که در این روش تفکیک هدررفت انرژی از طریق مدفوع و ادرار از یکدیگر دشوار است. با این وجود، گرچه انرژی قابل هضم یک جیره را می توان با جمع کردن انرژی های قابل هضم هر یک از ترکیبات جیره محاسبه نمود اما برای محاسبه انرژی قابل متابولیسم باید مواد دفعی متابولیک ضروری برای محاسبه این انرژی را اندازه گیری کرد. دفع مواد از طریق ادرار و آبشش ها نه تنها با میزان غذای خورده شده و عملکرد منبع پروتئینی (بر طبق تعادل آمینواسید های ضروری در منبع پروتئینی) تغییر می کند بلکه به همان اندازه به تعادل بین میزان انرژی منابع پروتئینی و غیر پروتئینی بستگی دارد. این موازنه را می توان به صورت رابطه بین مقدار پروتئین های قابل هضم (بر حسب میلی گرم) و مقدار انرژی قابل هضم حاصل از جیره (بر حسب کیلوژول) بیان کرد. شکل ۴-۵ نشان می دهد که وقتی نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم غذا از ۲۳ به ۱۸ میلی گرم بر کیلوژول کاهش یابد، میزان دفع انرژی متابولیک حاصل از مصرف یک ماده نیتروژنی مشخص، کمتر می شود. دفع مواد نیتروژنی با افزایش ورود انرژی قابل هضم حاصل از مواد غیر پروتئینی کاهش می یابد، در این صورت، غذاهای غیر پروتئینی اضافی به مصرف تولید انرژی رسیده و سوخت و ساز پروتئین کاهش و بقا آن افزایش می یابد. تاثیر صرفه جویی در مصرف پروتئین از طریق استفاده از هیدراتهای کربن قابل هضم مانند نشاسته گندم یا ذرت ژلاتینه شده در جیره غذایی مورد بحث و اختلاف است. این مسئله در مورد قزل آلا، تیلاپیای نیل و مارماهی به اثبات رسیده است.

دفع انرژی متابولیک با توجه به منبع پروتئین و نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) بین ۲ تا ۸ درصد انرژی خام است. بنابراین، انرژی قابل متابولیسم مستقل از مواد خام بوده و تنها در ارتباط با جیره غذایی کامل است و جهت اندازه گیری میزان دفع نیتروژن در صورت فقدان مواد مورد نیاز، ترجیحا باید غذای ماهی را بر اساس انرژی قابل هضم تنظیم نمود.



شکل ٤-٥) تغییرات میزان دفع متابولیک براساس نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) جیره

٤-٢-٥) انرژی خالص (NE)

انرژی خالص یک جیره غذایی شامل تفاضل انرژی قابل متابولیسم انرژی مصرف شده از طریق خوردن غذا می باشد. این مقدار کاهش انرژی که به صورت انرژی حرارتی است، ناشی از فعالیتهای مکانیکی (خوردن، جویدن و حرکات دستگاه گوارش) و فعالیتهای بیولوژیک (هضم، جذب، انتقال و تبدیل مواد غذایی) می باشد که در این میان فعالیتهای بیولوژیک از اهمیت بیشتری برخوردار است.این فعالیت ها موجب افزایش مصرف اکسیژن پس از صرف غذا می شود. این همان چیزی است که رابنر(Rubner) در سال ۱۹۰۲ آن را اثر دینامیک ویژه غذا (SDA[1]) نامید.

[1] Specific Dynamic Action

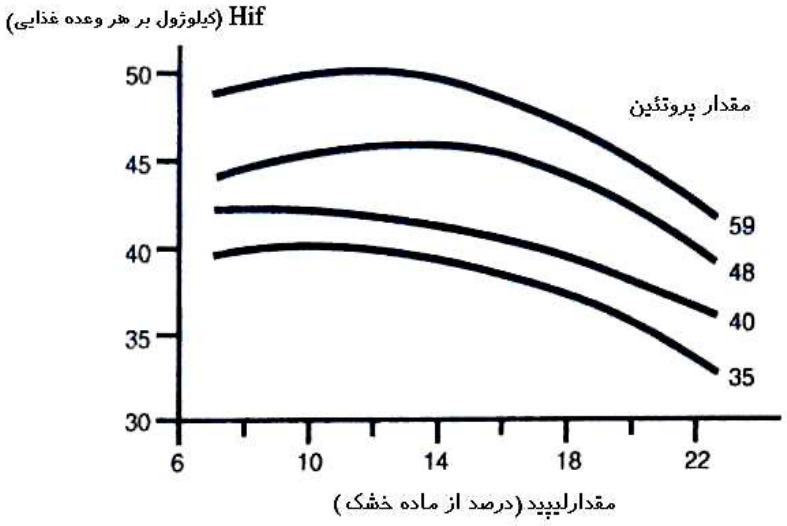
گرچه با خوردن و جذب غذا اصطلاحات دیگری نیز مانند اثر گرمازایی، اثر کالرژنیک، گرمازایی غـذا و غیره جهت توصیف انرژی مصرفی بکار می روند ولی اصطلاح افـزایش گرمـای ناشـی از تغذیـه (HiF[1]) بیشتر مورد قبول واقع شده است. افزایش گرمای ناشی از تغذیه (HiF) گرچه عمدتا در ارتبـاط بـا مقـدار پروتئین خورده شده است ولی بر حسب مقدار هیدرات‌کربن و چربی جیره غذایی نیز تغییر می کند.

میزان HiF به جیره غذایی بستگی دارد و تقریبا با انرژی غذای خورده شده متناسب است. HiF در مـاهی نیز مانند پستانداران تک معده ای و پرندگان عمدتا در ارتباط با پروتئین مصرفی است. بطوریکه مقدار آن با افزایش محتوای پروتئین جیره افزایش می یابد (شکل ۵-۵). در مورد ماهی قزل آلا میزان نیتروژن قابل هضم ۳۰ کیلوژول بر گرم پیشنهاد شده است. بر اسـاس شـکل ۵-۵ ، زمانیکـه محتـوای چربـی غـذا بـه ۱۵ درصد می رسد، مقدارHiF در قزل آلا افزایش می یابد.

نتیجه مشابهی نیز در مورد گربه ماهی کانالی به اثبات رسیده اسـت. نقـش هیـدراتهای‌کـربن برمیـزان HiF کمتر مشخص شده است، اما نتایج مطالعات جدید در مـورد قـزل آلا نشـان داده کـه در دمـای ۱۸ درجـه سانتیگراد جیره غنی از هیدراتهای‌کربن قابل هضم از HiF بالاتری نسبت به جیره غنی از چربی برخـوردار است ولی این‌نتایج در دمای ۸ درجه سانتیگراد حاصل نشد (جدول ۱-۵).

محققان در اوایل قرن بیستم رابطه HiF و کاتابولیسم پروتئین را کشف نمودند و اخیرا مشـخص شـده کـه در حیوانات پرواری HiF عمدتا بیان کننده نرخ تجمع پروتئین است و به طـور کلـی، ایـن عامـل ناشـی از کل تلفات انرژی به صورت حرارت در زمان تبـدیل انـرژی از یـک حالـت بـه حالـت دیگـر و در جریـان متابولیسم است. بنابراین، یک غذای مشخص دارای HiF ثابتی نبوده و میزان آن با مصـرف غـذا و روابـط متقابل بین مواد غذایی مرتبط است. HiF تحت تاثیر دمای آب نیز قرار می گیرد. برای هر گونـه محـدوده حرارتی وجود دارد که مقدار HiF در آن ناحیه حداقل است. همانطور که در شکـل ۶-۵ نشان داده شـده است، این دما در مورد ماهی کاد ۱۰ درجه سانتیگراد و در مورد قزل آلا ۱۵ درجه سانتیگراد می باشد.

[1] Heat increment of Feeding



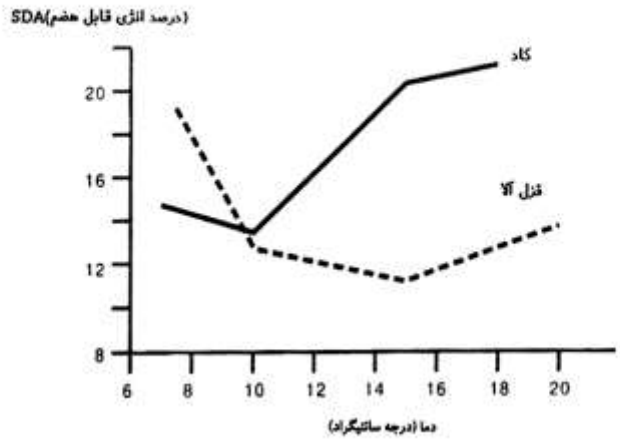
شکل ۵-۵) اثر مقدار پروتئین و چربی غذا بر HiF در ماهی قزل آلا(Beamish and Legrow, 1986)

انرژی خالص یک جیره غذایی(انرژی قابل متابولیسم منهای انرژی مصرف شده از طریق خوردن و جذب غذا) به منظور نگهداری، فعالیت عضلانی و تولید (رشد بافت های معمولی و گنادهای جنسی) مصرف می شود. اگر چه بنظر می رسد که انرژی خالص روش مطمئنی برای بیان انرژی غذا باشد اما تاکنون روش اندازه گیری مناسبی برای آن در مورد ماهی معرفی نشده است.

روش های مورد استفاده برای حیوانات عالی در مورد ماهی که دفع کننده آمونیاک بوده و نسبت به حیوانات دیگر به میزان بیشتری انرژی خالص خود را از متابولیسم پروتئین بدست می آورد، مناسب نیست.

جدول ۱-۵) مثال هایی از سیر انرژی در دو جیره مختلف در قـزل آلا (پـروتئین قابـل هضـم : ۳۸ درصد و انرژی قابل هضم : ۲۰ کیلوژول بر گرم ماده خشک). مقادیر بر حسب درصد مصرف انرژی قابـل هضم بیان شده است.

منبع اصلی انرژی غیرپروتئنی در جیره	لیپیدها		هیدراتهای کربن	
دما (^0c)	۸ ---------- ۱۸		۸ ---------- ۱۸	
دفع متابولیک	۵/۲	٤/۳	۵/٤	۵
مصرف	۳۹/۹	۳۲/۳	٤۱/۸	٤۳/۱
متابولیسم پایدار	۲۸/۱	۲۱/۳	۲۹/٦	۲۳/۷
گرمای ناشی از تغذیه(HiF)	۱۱/۸	۱۱	۱۲/۲	۱۹/٤
ابقاء	۵٤/۹	٦۳/۳	۵۵/٤	٤۹/۳
ذخیره به شکل پروتئین ها	۳۰/۸	۲۵/۹	۳۰	۲۲/۸
ذخیره به شکل لیپیدها	۲٤/۱	۳۷/٤	۲۵/٤	۲٦/۵



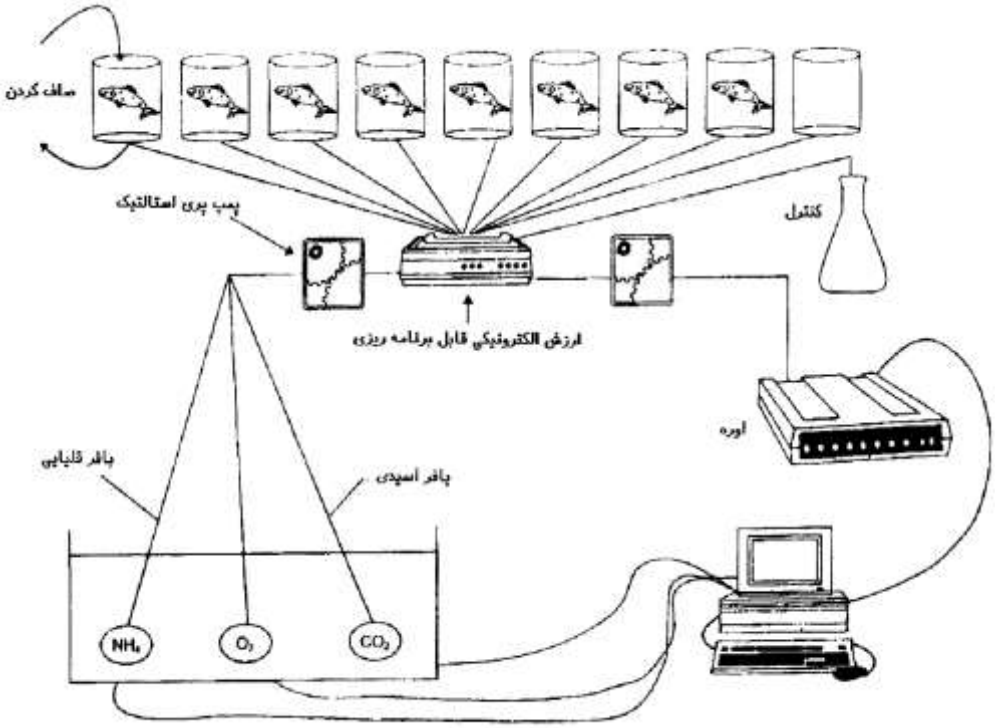
شکل ٦-۵) اثر دمای آب (درجه سانتیگراد) بر میزان HiF (درصد مصرف انـرژی قابـل هضـم) در قـزل آلا و ماهی کاد

۳-۵ - نیاز های انرژی ماهی

۱-۳-۵) اصول اندازه گیری

مصرف انرژی به شکل گرما را می توان با استفاده از دو روش کالریمتری مستقیم یا غیر مستقیم اندازه‌گیری کرد. در روش کالریمتری مستقیم، مقدار اتلاف گرما توسط ارگانیسم (انرژی هدایتی، انتقالی و تابشی) اندازه گیری می شود در حالیکه با کالریمتری غیر مستقیم مقدار گرمای حاصل از فرآیندهای اکسایشی برآورد می گردد. اصولا انرژی مورد استفاده موجود زنده، حاصل کاتابولیسم اکسایشی است. در یک دوره طولانی و در مورد یک منبع انرژی زای مشخص با استفاده از روش کالریمتری مستقیم، مقدار اکسیژن مصرفی توسط یک حیوان در کالریمترهای آدیاباتیک یا محفظه های کالریمتری اندازه‌گیری می شود. انجام این روش در مورد ماهی بسیار دشوار است چون متابولیسم پایه خیلی کم و ظرفیت گرمایی آب بسیار بالاست و به ابزار های خیلی دقیق جهت اندازه گیری گرما نیاز است. علاوه بر این، به منظور افزایش دقت در اندازه گیری، محفظه ها باید کوچک باشند ازینرو، کارکردن با گروهی از ماهی ها در این محفظه ها غیرممکن است.

کالریمتری غیر مستقیم اغلب فقط روی اندازه گیری مصرف اکسیژن تکیه دارد. میزان گرمای تولید شده به ازای هر گرم اکسیژن مصرفی(QO_2) به طور متوسط ۱۳/۶ کیلوژول است. اما این مقدار به ماهیت مواد اکسید شده نیز بستگی دارد. اکسیداسیدن یک غذای مشخص به مقدار معینی اکسیژن نیاز داشته و مقدار معینی انرژی تولید می کند (کادر۱-۵). زمانیکه اندازه گیری مصرف اکسیژن از طریق اندازه گیری میزان دفع نیتروژن و دی اکسید کربن تکمیل شود، ارزیابی هدر رفت انرژی بسیار دقیق تر صورت خواهد گرفت. این داده ها امکان برآورد مؤثرتر از میزان هر ماده اکسید شده را فراهم می کنند. نرخ انرژی HiF از اختلاف گرمای تولید شده توسط ماهیان سیر و گرسنه ارزیابی می شود. نحوه آنالیز آب مورد استفاده جهت اندازه گیری کالریمتری غیر مستقیم در ماهی در شکل ۷-۵ ارائه شده و جزئیات این روش همراه با اطلاعاتی از روش های نگهداری و کنترل در کادر ۱-۵ قابل ملاحظه است.



شکل ۷-۵) دیاگرام نحوه اندازه گیری انرژی به روش کالریمتری غیر مستقیم در ماهی

۲-۳-۵) مصرف انرژی ماهیان تغذیه نشده

اندازه گیری متابولیسم پایه حیوانات خشک زی از طریق گرسنه نگه داشتن هر یک از آنها در حالت استراحت صورت می گیرد اما ایجاد حالت استراحت کامل در ماهیان پلاژیک دشوار است زیرا ماهی برای حفظ موقعیت خود در محیط آبی نیاز به حرکت دارد و ثابت نگه داشتن آن در محفظه های متابولیک، ماهی را در معرض استرس قرار می دهد. محققان تلاش نموده اند تا حالت» استاندارد» را برای ماهیان گرسنه مانده بدون تحرک، « عادی» را برای ماهیان گرسنه مانده اما « متحرک و حتی « فعال» را برای ماهیان سیر و متحرک، تعریف نمایند. در ارتباط با ماهیان گرسنه مانده، استفاده از اصطلاح نرخ حداقل انرژی که بیان کننده مازاد فعالیت فیزیکی است دقیق تر از استفاده از اصطلاح نرخ استاندارد است.

کادر ۱-۵) اصول روش اندازه گیری کالریمتری غیر مستقیم در ماهی

نمونه های آب از مخازن دارای ماهی و مخزن فاقد ماهی گرفته می شود. با استفاده از الکترودهای ویـژه ای آنـالیز می شوند. تبادلات گازی (R) بیشتر با استفاده از این فرمول محاسبه می شود :

$$R = \frac{(S_1 - S2_2)}{M \times (t_2 - t_1)} \times V + \frac{(E_1 - S_1) + (E_2 - S_2)}{2 \times M} \times F$$

E_1 = غلظت گاز در مخزن بدون ماهی در زمان t_1

E_2 = غلظت گاز در مخزن بدون ماهی در زمان t_2

S_1= غلظت گاز در مخزن حاوی ماهی در زمان t_1

S_2 = غلظت گاز در مخزن حاوی ماهی در زمان t_2

M = بیوماس ماهی برحسب کیلوگرم

V = حجم آب در مخزن برحسب لیتر

F= جریان آب در مخزن بر حسب لیتر بر ساعت

t_1 , t_2 بر حسب ساعت و غلظت ها بر حسب میلی گرم بر لیتر بیان می شوند.

مصرف انرژی (EE[1]) بر حسب کیلو ژول با استفاده از فرمول Brafield (1985) محاسبه می گردد :

EE = ۱۱/۱۸ O_2 + ۲/۶۴ CO_2 − ۹/۵۵ N

بهره تنفسی (RQ[2]) و بهره نیتروژن (NQ[3]) با استفاده از مصرف اکسیژن، CO_2 خروجی و دفع نیتروژن محاسبه می شوند:

$$RQ = \frac{(CO_2 mmoles)}{(O_2 mmoles)}$$

$$NQ = \frac{(Nmmoles)}{(O_2 mmoles)}$$

[1] Energy expenditure
[2] Respiratory quotient
[3] Nitrogen quotient

ادامه کادر ۱-۵

مقدار پروتئین های کاتابولیسم شده (P)را می توان از طریق رابطه NQ محاسبه کرد. اگر پروتئین ها تنها ماده ای اکسیدشونده باشند، RQ حدود ۹۷ درصد و NQ حدود ۲۷ درصد خواهد بود(توجه : این مقادیر برای یک پروتئین استاندارد می باشد).

بنابراین، مقدار کل پروتئین های کاتابولیسم شده برابر است با :

$$P = NQ \times \frac{100}{0.27}$$

با این رابطه می توان RQ غیر پروتئینی (RQ_{np}) و همچنین مقادیر مربوط به کربو هیدرات ها (C) و لیپیدها (L) را در فرآیند کاتابولیسم محاسبه نمود. از لحاظ کاربردی، RQ هیدراتهای کربن حدودآ ۱ و RQ لیپیدها نزدیک به ۰/۷ می باشد(مقادیر مربوط به تریولئین).

$C = ۳۳۳/۳۳\ RQ_{np} - ۲۳۳/۳۳$

$L = ۱۰۰ - C$

مقادیر اکسیژن مصرفی (بر حسب مول بر کیلوگرم در روز) جهت اکسیداسیون مواد غذایی مختلف نظیر پروتئینها، کربوهیدرات ها و لیپیدها را می توان به ترتیب با استفاده از $O_{2np} \times L$, $O_{2np} \times C$, O_2p محاسبه نمود.ضریب گرمازایی اکسیژن پروتئین ها، کربوهیدرات ها، و لیپیدها در ماهی به ترتیب ۱۹/۱ ، ۲۱/۱ ، ۱۹/۶ کیلوژول بر لیتر اکسیژن مصرفی در ماهی است(Brafield, 1985). می توان انرژی تولیدی حاصل از کاتابولیسم هر نوع ماده غذایی را به این طریق تخمین زد و در نهایت کل هزینه انرژی را تعیین نمود. زمانیکه سنتز چربی ها از کربوهیدرات ها بیشتر از اکسیداسیون چربی باشد، بهره تنفسی بزرگتر از یک خواهد شد. در این حالت مقادیر اکسیداسیون برای چربی ها منفی خواهد بود که بیانگر سنتز خالص چربی هاست(اختلاف بین سنتز و تجزیه چربیها). در واقع، مقادیر اکسیداسیون کربوهیدرات ها، بیانگر میزان هیدراتهای کربن ناپدید شده است(اکسیداسیون + تبدیل به چربی). زمانیکه تنها میزان مصرف اکسیژن اندازه گیری شود محاسبه مصرف انرژی بر حسب کیلوژول با دقت کمتری صورت می گیرد.

مصرف انرژی باید در مورد ماهیانی اندازه گیری شود که با شرایط محیطی خود بخوبی سازگار شده و برای مدت طولانی گرسنه نگه داشته شده‌اند تا دستگاه گوارش آنها خالی شود(فصل ۴) . به منظور به حداقل رساندن تاثیر استرس بهتر است اندازه‌گیریها در مورد ماهیها به جای انفرادی، بصورت گروهی انجام شود. مصرف انرژی در ماهی ۱۰ تا ۳۰ بار کمتر از پستانداران است که عمدتا ناشی از خونسرد بودن، دفع آمونیاک و قابلیت شناوری خنثی است.

ـ خونسرد بودن ماهی : دمای داخلی بدن ماهی ها (به استثنای تن ماهیان و تعداد خیلی کمی از ماهیان سایر رده ها) خیلی نزدیک به دمای آبی است که در آن زندگی می کنند بنابراین، بر خلاف موجودات خونگرم، ماهی ها برای ثابت نگه داشتن دمای بدن خود (تنظیم دمایی[1]) انرژی مصرف نمی کنند. وقتی دمای آب کاهش یابد متعاقب آن دمای بدن ماهی نیز کاهش یافته و نیازهای انرژی پایه بشدت کاهش می یابد.

ـ دفع آمونیاک : در ماهیان استخوانی مهمترین ماده کاتابولیک نیتروژنی، آمونیاک است که مستقیما از طریق آبشش ها و ادرار به داخل آب دفع می شود. این فرآیند یک انتقال غیر فعال است که انرژی زیادی مصرف نمی کند (در مقابل سنتز و دفع اوره و اسید اوریک).

ـ قابلیت شناوری خنثی: در مقایسه با حیوانات خشکی زی که عضلات قوی و بزرگی برای غلبه بر جاذبه زمین دارند، قابلیت شناور بودن در ماهی ها امکان صرفه جویی در مصرف انرژی را فراهم می کند. گرچه برای شنای سریع نسبت به حرکت در خشکی با سرعتی مشابه به انرژی بیشتری نیاز است اما شنای آرام با مصرف انرژی کمتری همراه است.

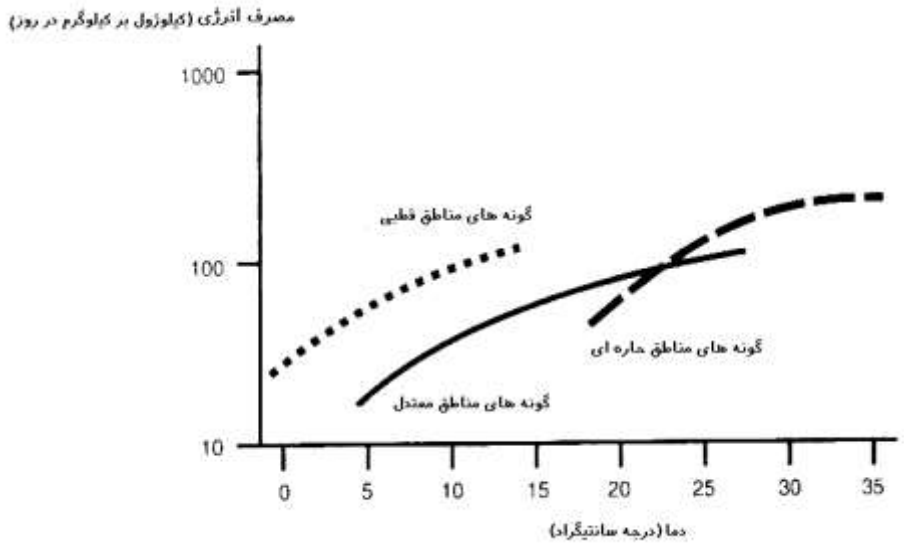
۳-۳-۵) عوامل مؤثر بر حداقل مصرف انرژی

نیازهای انرژی ماهی عمدتا تحت تاثیر اندازه آنها و دمای آب است (شکل۸-۵). ماهیان آب شیرین (۱۰ تا ۲۵ گرم) ، متوسط مصرف روزانه انرژی بسته به درجه حرارت، بین ۲۵ تا ۴۵ کیلوژول بر کیلوگرم متفاوت است.

[1] Thermoregulation

این مقادیر در مورد یک گونه ماهی در درجه حرارت مشخص و با توجه به طول دوره گرسنگی و مدت تغذیه آن متغیر است. در گزارشهای مختلف مقادیر ارائه شده مربوط به گونه های متنوعی از ماهیان دریایی بسیار متغیرتر از ماهیان آب شیرین و ماهیان پهن با متابولیسم بسیار پایین است. اثر شوری آب بر متابولیسم پایه ماهی مورد بحث و اختلاف است ولی بنظر می رسد که میزان مصرف انرژی به منظور انجام تنظیم اسمزی پایین باشد.

همانند موجودات خونگرم در موجودات خونسرد نیز مقدار انرژی مصرف شده به طور مطلق با وزن حیوان افزایش می یابد و لگاریتم نرخ متابولیک به صورت خطی با لگاریتم وزن بدن افزایش می یابد. با این وجود، شیب این رابطه کمتر از یک خواهد بود. در تمامی گونه ها، حیوانات کوچک جثه نسبت به حیوانات درشت به ازاء واحد وزن بدن به انرژی بیشتری در واحد سطح نیاز دارند.به عنوان اولین برآورد، در ارتباط با افراد بالغ از گونه های مختلف و در مورد افرادی با اندازه های مختلف از گونه های مشابه، استفاده از رابطه لگاریتمی بین وزن بدن و متابولیسم بسیار مفید و ارزشمند است. بنابراین لارو ماهی ها نسبت به ماهیان بزرگتر به ازاء واحد وزن بدن نیازهای انرژی بالاتری دارند. ارتباط بین متابولیسم و وزن بدن که در اصطلاح توده متابولیک نامیده می‌شود (برخی مواقع این اصطلاح را به اشتباه وزن متابولیک می گویند) بدین معنی است که وزن بدن هر حیوان تا یک توانی برابر با شیب رابطه لگاریتمی افزایش می‌یابد. در مهره داران عالی معمولا مقدار قابل قبول، ۰/۷۵ است در حالیکه در مورد ماهی مقادیر مستند بین ۰/۶۳ تا یک متغیر است و ضریبی که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد، ۰/۸۲ است. با این وجود، در برخی مطالعات انجام شده پیرامون ماهی هنوز مصرف انرژی اغلب نه به عنوان عملکرد توده متابولیک بلکه به عنوان عملکرد وزن بدن بیان میشود که از چند میلی گرم در لاروها تا چند کیلوگرم متغیر است.



شکل ۸-۵) اثـر دمـای آب (درجـه سـانتیگراد) بـر مصـرف انـرژی در گونـه هـای مختلـف مـاهی
(Brett, 1970)

بطور کلی، افزایش نرخ انرژی حداقل نسبت به دمای آب بـا Q_{10} بیـان مـی شـود. ایـن شـاخص مسـتقل از اندازه ماهی بوده و در مورد یک گونه مشخص در کل محدوده دمایی قابل زیست برای ماهی
مقدار ثابتی نیست (شکل۸-۵). اغلب در محدوده دمایی مطلوب بـرای مـاهی هـا، ایـن مقـدار پـایین تـر است. برای مثال، در مورد مصرف اکسیژن در قزل آلا، Q_{10} در دمای زیر ۸ درجه سانتیگراد برابـر بـا ۳/۵ و در دمای بین ۸ تا ۱۸ درجه سانتیگراد، ۱/۷ می باشد. در شرایط معمول Q_{10} کمتر از ۲ نشان دهنده تنظـیم از طریق آنـزیم هـای حرارتـی اسـت. ایـن آنـزیم هـا بـه مـاهی امکـان مـی دهنـد تـا در متابولیسـم بیشـتر، صرفه‌جویی کند که این امر تنها با وابستگی فیزیکی به دما امکان پذیر نیست. این عامل تا حدی پیامـدهای خونسرد بودن ماهی را جبران می کند. با این وجود، در سایر موارد بویژه زمانیکـه Q_{10} برابـر بـا ۳/۵ اسـت (قبلا به آن اشاره شد)، باید فرض شود که تنظیم متابولیک در ارتبـاط بـا مکانیسـم هـای مختلـف صـورت می گیرد.

هنگامیکه موجود زنده گرسنه می ماند انرژی لازم جهت بقای آن از طریق تجزیه ذخائر بدن تامین میشود. طی سه روز اول گرسنگی در قزل آلا منابع اصلی تامین انرژی، پروتئین ها هستند. نقش پروتئین ها در تامین انرژی پایه در ماهی ها، تقریباً ده برابر بیشتر از مهره داران عالی است، در حالیکه مصرف انرژی در ماهی بطور متوسط بیست برابر کمتر از مهره داران خشک زی است در حالیکه میزان دفع مواد نیتروژنی تنها دو برابر کمتر است (۱۰۰ $mg\ N.kg^{-1\ 0.8}day^{-1}$ تا ۲۰۰ در روز در ماهی در مقابل ۲۲۰ $mg\ N.kg^{-1\ 0.8}day^{-1}$ تا ۳۲۰ در روز در پستانداران خشک زی نشان دهنده ۲ تا ۵ میلی گرم بر کیلوژول نیتروژن دفع شده در ماهی در مقابل ۰/۲ میلی گرم بر کیلوژول در پستانداران خشک زی است). زمانیکه دوره گرسنگی طولانی می شود، نقش چربی ها در تامین انرژی بیشتر می گردد. برای مثال، در قزل آلا در دمای ۱۸ درجه سانتیگراد از دوازدهمین روز گرسنگی نقش چربی ها و پروتئین ها در تامین انرژی برابر خواهد بود.

٤-۳-۵) نیازهای انرژی نگهداری

نیازهای انرژی به منظور نگهداری به عنوان مقدار انرژی مورد نیاز برای رسیدن به یک سطحی از تعادل بین ورود و مصرف انرژی است بطوریکه موازنه انرژی صفر باشد. این نیاز ها تنها در مورد ماهی‌ها بندرت مورد ارزیابی قرار گرفته است. با وجودیکه نیازهای انرژی ماهیان گرسنه تنها بیانگر ۵۰ تا ۶۰ درصد نیازهای نگهداری می باشد ولی برخی مواقع این نیازها برابر با نیاز های انرژی ماهیان گرسنه در نظر گرفته می‌شود(شکل ۹-۵). یک جیره غذایی که فقط تامین کننده انرژی ضروری جهت جبران نیازهای انرژی گرسنگی است برای ثابت نگه داشتن وزن بدن حیوان کافی نیست. همانطور که پیش از این اشاره شد، ورود، هضم، جذب غذا و استفاده متابولیک از مواد مغذی منجر به مصرف انرژی ویژه یا HiF می شود. بنابراین، HiF نگهداری در تضاد با SDA تولید است که بیانگر نرخ ذخیره انرژی است.

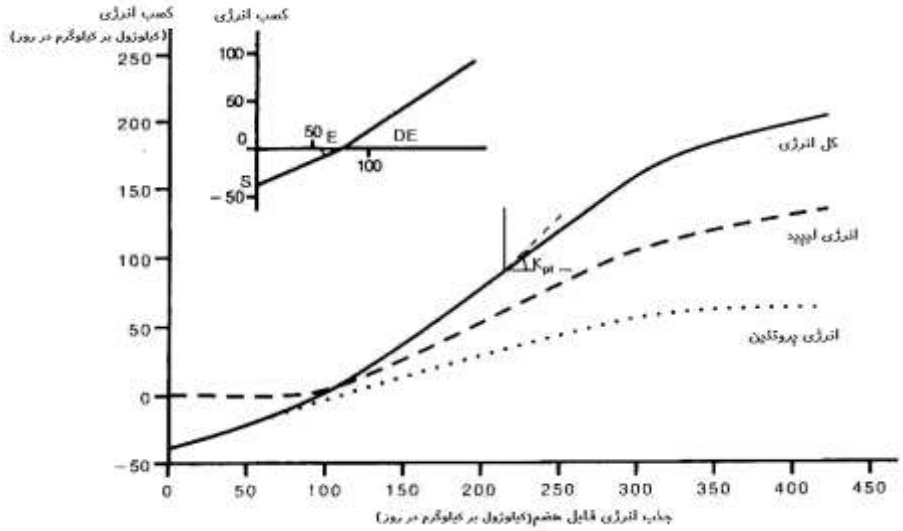
مطمئن ترین روش ارزیابی نیازهای نگهداری شامل اندازه گیری تغییرات محتوای انرژی گروههایی از ماهیان با انرژی افزوده است تا با پیش بینی و درون یابی کردن به بهره انرژی برابر با صفر دست یابند(شکل۹-۵). مقادیر نیازهای انرژی برای نگهداری ۳ گونه ماهی در جدول ۲-۵ نشان داده شده است.

تغییرات نیازها نسبت به وزن بدن و دمای آب، ناشی از تاثیر این عوامل بر حداقل متابولیسم بوده که بیانگر بخش اصلی مصرف انرژی نگهداری می باشد. در مورد گربه ماهی در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و قزل‌آلا در ۱۸ درجه سانتیگراد نرخ نگهداری روزانه تقریبا ۰/۴ تا ۰/۶ درصد از وزن بدن خواهد بود.

۵-۳-۵) نیازهای انرژی برای تولید

۵-۳-۵-۱) نیازهای رشد

زمانیکه ماهی تا حد سیری تغذیه شود یا تغذیه آن از طریق غذاده های تقاضایی صورت بگیرد، با توجه به تراکم انرژی جیره قادر به تنظیم میزان مصرف غذا به منظور حداکثر رشد خواهد بود.



شکل ۹-۵) تغییرات کسب انرژی در قزل آلا متناسب با عملکرد انرژی قابل هضم.
شیب K_{pf} بازدهی مصرف انرژی قابل هضم را به منظور ذخیره انرژی نشان می دهد. K_{pf} -1 بیانگر HiF است. ناحیه تیره: تغییر در سیر انرژی پیرامون انرژی نگهداری می باشند. OS : سیر انرژی ماهیان گرسنه km = OS / OE : بازدهی مصرف انرژی قابل هضم را برای تامین انرژی نگهداری نشان می‌دهد. این نسبت به علت HiF نگهداری کمتر از یک است.

جدول ۲-۵) نیازهای انرژی نگهداری در چند گونه ماهی

گونه ها	وزن بدن (گرم)	دما (°C)	مصرف انرژی(کیلوژول بر کیلوگرم در روز)
کپور معمولی	۸۰ ۸۰	۱۰ ۲۰	۲۸ ٦۷
گربه ماهی	۲۰-۱۰ ۱۰۰	۲۵ ۲۵	۸٤ ۷۲
قزل آلا	۱۵۰ ۳۰۰	۱۸ ۱۵	۱۰۰-۸۵ ٦۰

این نوع تطابق همیشه مصداق ندارد بخصوص زمانیکه محتوای انرژی غذا کم باشد که ممکن است پرشدن معده عامل محدود کننده رشد گردد. بطور کلی، جیره های غذایی باید به گونه‌ای باشند که به ازاء هر کیلوگرم وزن خشک غذا حداقل ۱۵ تا ۱۸ مگاژول انرژی قابل هضم را تامین کنند.

نیازهای انرژی برای رشد را می توان به عنوان مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم ماهی، تعریف کرد. این مقدار در قزل آلا تقریباً ۱۵ تا ۱۶مگاژول به ازاء افزایش یک کیلوگرم وزن بدن در ۸ درجه سانتیگراد و ۱۷ تا ۱۹ مگاژول به ازاء افزایش یک کیلوگرم وزن بدن در دمای بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتیگراد است. مقادیر مورد نیاز برای رشد گربه ماهی کانالی مشابه قزل آلاست، ولی این مقادیر در مورد کپور معمولی و سیم دریایی که هر دو در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد رشد می کنند، خیلی بالاتر است. بنابراین، چون نیاز گونه های مختلف در دماهای یکسان اندازه گیری نشده و ترکیب بدنی آنها می تواند خیلی متفاوت باشد، امکان عمومیت دادن مقادیر برای تمامی گونه ها وجود ندارد. فرض بر این است که افزایش وزن بدن(محتوای پروتئین و چربی) عاملی است که نیازهای انرژی برای رشد را تحت تاثیر قرار می دهد(افزایش وزن بدن بر حسب مگاژول بر کیلوگرم). چنین حالتی را در حیوانات خشک زی هم میتوان مشاهده نمود.

نیازهای انرژی برای رشد به ترکیب جیره نیز وابسته است. اینکه مواد غذایی در مسیر آنابولیسم تجزیه شوند یا کاتابولیسم، به توازن انرژی بین منابع انرژی پروتئینی و غیر پروتئینی بستگی دارد از اینرو توصیه می شود ترکیب جیره ها بر حسب نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم تعیین شود.

این مقادیر بسیار بیشتر از مقادیر ارائه شده برای خوک ها یا پرندگان کوچک است که در حدود ۱۰ تا ۱۴ یلی گرم بر کیلوژول می باشد(جدول۳-۵). گرچه بنظر می رسد که این مقادیر در رابطه با برخی گونه‌ها بیش از حد معمول برآورد شده است. مطالعات اخیر در مورد قزل آلا نشان داده است که با افزایش انرژی قابل هضم به ۱۸ مگاژول بر کیلوگرم می توان نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP / DE) را به ۱۸ میلی گرم بر کیلوژول کاهش داد بدون اینکه اثر منفی بر رشد داشته باشد. این وضعیت در رابطه با کپور و سیم دریایی مشابه قزل آلاست.

۲-۵-۳-۵) نیازهای انرژی برای تولید مثل

انرژی مورد نیاز برای تولید مثل صرفا شامل میزان انرژی لازم برای تولید گامت ها نمی باشد. بروز صفات ثانویه جنسی(مورفولوژیکی یا تغییر رنگ) ، تولید موکوس، رفتارهای تولید مثلی، ساختن لانه در مورد برخی از گونه ها یا مهاجرت، به صرف انرژی نیاز دارد. انرژی مورد نیاز جهت انجام تمامی فرآیندهای تولید مثلی را تنها می توان در دوره های طولانی فعالیت های تولید مثلی برآورد نمود. این انرژی برابر با نسبت مقدار انرژی ذخیره شده در گامت ها به انرژی غذای خورده‌شده می باشد. مقادیر انرژی تولید مثلی در مورد برخی گونه های آکواریومی مورد بررسی قرار گرفته که مقدار آن در مورد گونه medaka، ۱۰ تا ۱۸ درصد و در مورد گونه stickleback، ۱۶ تا ۳۰ درصد گزارش شده است Tytler and Calow, (Wooton, 1985).

در اکثر گونه ها وزن گنادهای جنسی نر هنگام بلوغ بیش از ۱۰ درصد وزن بدن نمی باشد. در مقابل، در بعضی گونه ها وزن تخمدان های بالغ می تواند تا ۳۰ درصد وزن بدن را تشکیل دهد. مقدار متوسط انرژی تخم ها برای ۵۰ ماهی استخوانی تقریباً ۲۳/۵ کیلوژول بر گرم از ماده خشک برآورد شده است. در اردک ماهی محتوای انرژی گنادهای جنسی نر درست پیش از خروج گامت، حدود ۷۵ کیلوژول است در حالیکه محتوای انرژی تخمدان ها، بالغ بر ۱۰۰۰ کیلوژول می باشد. در آزاد ماهیان مقدار انرژی ذخیره شده در تخم ها ۸ تا ۱۵ درصدکل انرژی بدن است که برابر با شاخص گنادوسوماتیک می باشد.

در رابطه با تولید مثل نیازی به بیان نسبت پروتئین به انرژی جیره غذایی نیست. سطح انرژی بالاتر از ۱۷ مگاژول بر کیلوگرم از ماده خشک حاوی ۳۵ درصد پروتئین، موفقیت در تولید مثل را در آزادماهیان بهمراه خواهد داشت.

هنگامیکه از طریق غذا انرژی کافی تامین نشود، بیشتر گونه ها تولید گناد را با مصرف رشد سوماتیک امکان پذیر می کنند بطوریکه ذخائر بدن ماده ها به منظور توسعه گنادها مصرف می شود.

٤-٥ - توازن انرژی و ذخیره آن

سیر انرژی در بدن موجود زنده به مراحل مختلف استفاده از انرژی خام (GE)تحت شرایط زیست محیطی مشخص بستگی دارد. بازدهی مصرف غذایی بیان کننده رابطه بین انرژی قابل هضم یا انرژی قابل متابولیسم ورودی و ابقاء انرژی (R)می باشد. ابقاء انرژی (R) معادل انرژی ورودی (I) منهای انرژی دفع شده از طریق مدفوع (F)، تلفات متابولیکی (BU) و گرما (C) است که انرژی دفعی به صورت گرما شامل مصرف انرژی توسط خود حیوان و تولید گرمای ناشی از مصرف غذا (HiF) می باشد.

طبق قانون بقای انرژی، سیر انرژی برابر است با :

$$R = I - (F + BU) - C$$

جدول ۳-۵) رابطه بین پروتئین قابل هضم و انرژی قابل هضم در گونه های مختلف ماهی که معمولا به منظور بیان میزان رشد پیشنهاد می شود.

گونه ها	DPr (میلی گرم بر گرم ماده خشک)	DE (کیلوژول بر گرم ماده خشک)	DP/DE (میلی گرم بر کیلوژول)
گربه ماهی	۲٤٤-۲۷۰	۱۳/۱ - ۱۲/۸	۱۹-۲۱
باس کانالی	۳۱۵	۱۳/٤	۲٤
تیلاپیای نیل	۳۰۰	۱۲/۱	۲٦
کپور معمولی	۳۱۵	۱۲/۱	۲٦
قزل آلا	٤۲۰-۳۳۰	۱۵/۱-۱۷/۲	۲۲-۲۵

۱-٤-۵) روش های اندازه گیری سیر انرژی

۱-۱-٤-۵) اندازه گیری سیر انرژی بر اساس انرژی های دفع شده

دفع انرژی مربوط به هضم با استفاده از انرژی ورودی و ضریب ظاهری انرژی قابل هضم (ADC) محاسبه می شود. تلفات متابولیک (B+U کیلوژول بر کیلوگرم در ساعت) از طریق ضرب میزان دفع مواد نیتروژنی (گرم بر کیلوگرم در ساعت) درضریب ۲۴/۷ حاصل می شود (مراجعه شود به بخش ۲-۳-۵). اندازه گیری تفاوت بین میزان مصرف انرژی در ماهیان سیر و ماهیان گرسنه (کادر ۱-۵) بیانگر مقادیر HiF است. به این ترتیب، امکان محاسبه بخشی از انرژی قابل هضم دفع شده از طریق آبشش و ادرار فراهم می‌گردد که به عنوان HiF ، نگهداری و فعالیت مصرف می‌شود. بخش باقی مانده مربوط به انرژی تولید است (رشد جسمی و تولید گامت ها).

با استفاده از این روش، ارزیابی اجزاء مختلف سیر انرژی امکانپذیر می‌باشد که به معنی مراحل مختلف تبدیل انرژی حاصل از غذاست. با این وجود، این روش به علت برآورد کمتر دفع انرژی در حالات مختلف منجر به برآورد انرژی ذخیره شده به میزان ده درصد بیش از مقدار واقعی می‌گردد.

۲-۱-٤- ۵) اندازه گیری سیر انرژی بر اساس افزایش وزن بدن

اندازه گیری انرژی بدن (از طریق سوزاندن مقدار مشخصی از ماده خشک بدن در کالریمتر) در شروع و پایان دوره زمانی مشخص، بهترین روش برآورد میزان انرژی ذخیره شده در گروهی از حیوانات می باشد. اندازه گیری ها در مراحل ابتدایی و انتهایی روی گروهی از حیوانات به عنوان نماینده از کل گروه انجام می شود. از نقاط ضعف این روش، اشاره نکردن به سایر اجزاء سیر انرژی است و باید با اندازه گیری دفع متابولیک، HiF و انرژی دفعی به صورت گرما تکمیل شود. در چنین آزمایشهایی در صورت فقدان وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز برای اندازه گیری مواد دفعی و گرمای تولید شده، روش های دیگری به منظور ارزیابی اجزاء مختلف سیر انرژی پیشنهاد شده است (Kaushik and Cho, 1990). بدین نحو که دفع متابولیک از تفاوت بین نیتروژن قابل هضم ورودی و نیتروژن ذخیره شده بدست می آید و با ضرب این مقدار در ضریب ۲۵ قابل محاسبه است(همانطور که قبلا توضیح داده شد، بهتر است که ضریب ۲۴/۷ بکار برده شود). انرژی قابل متابولیسم را می توان با کم کردن مقدار محاسبه شده از انرژی قابل هضم

برآورد نمود. کل مصرف انرژی گرمایی نیز برابر با تفاوت بین انرژی قابل متابولیسم ورودی و انرژی ذخیره شده است.

۲-٤-۵) ذخیره انرژی

ذخیره انرژی با توجه به اندازه ماهی و شرایط پرورش (جدول ۴-۵) و همچنین اندازه و ترکیب جیره غذایی، متغیر است. شکل ۹-۵ رابطه بین کسب انرژی روزانه و ورود انرژی قابل هضم را در دو گروه از ماهی قزل آلا نشان میدهد که طی ۸ هفته با افزایش روزانه مقادیر غذا تغذیه شده اند. محتوای انرژی بدن با استفاده از روشی که قبلا به آن اشاره شد، اندازه گیری شده و نتایج بر حسب کسب یا هدر رفت انرژی کل یا به شکل میزان پروتئین بر حسب کیلوگرم در روز، بیان شده است. در ابتدا کسب انرژی نسبت به ورود انرژی قابل هضم، به صورت خطی افزایش می یابد و شیب K به ترکیب جیره غذایی بستگی دارد ولی بالاتر از یک سطح آستانه مشخص، رابطه به صورت منحنی در می آید. به هنگام افزایش انرژی قابل هضم ورودی ، افزایش کسب انرژی کمتر مشخص شده و به تناسب بیشتر افزایش تولید HiF با میزان انرژی ورودی اشاره دارد. تعیین ذخیره انرژی به شکل پروتئین روش مشابهی است که بیشتر نشان دهنده انباشت انرژی می باشد. شیب رابطه بین کسب انرژی روزانه به شکل پروتئین و مقدار ورود انرژی قابل هضم به ازاء هر کیلوگرم در روز (با علامت K_p) همراه با افزایش ورود انرژی قابل هضم ، به علت وجود حداکثر آنابولیسم پروتئین، تغییر می کند.

در مجموع، انرژی ذخیره ای در هر نوع رژیم غذایی به شکل پروتئین یا چربی، با سن (و نیز اندازه) ماهی تغییر می کند. در ماهیهای جوان انرژی عمدتا به شکل پروتئین ذخیره می شود و سپس در حدود سن ۲ سالگی در آزادماهیان، بیشتر ذخیره انرژی به صورت چربی خواهد بود. با توجه به میزان چربی ذخیره شده محتوای انرژی بدن یک ماهی، بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوژول بر گرم از ماده خشک تغییر می کند. احتمالاً این پدیده موجب افزایش نیازهای رشد می‌شود.

بنابراین، هر نوع غذا با توجه به خصوصیات گونه و شرایط پرورش، باعث انباشت و ذخیره انرژی با مقادیر و ماهیت های متفاوت می شود. به منظور تعیین سرنوشت انرژی غذا را از طریق تلفیق عوامل مختلف، مطالعات آزمایشگاهی زیادی مورد نیاز است.

جدول ٤-٥) نرخ انرژی پایه در برخی گونه های ماهی طی دوره گرسنگی

گونه ها	وزن بدن (گرم)	دما (°C)	مصرف انرژی (کیلوژول بر کیلوگرم در روز)
گونه های آب شیرین			
ماهی قرمز	۲۹	۲۵	۳۹
کپور معمولی	۸۰	۲۸	٤١-٥٠*
خاویار	۲۳۰	۱۸	۳۰
اردک ماهی زرد	٤-۱۳۰	۲۰	۲۵
ماهی آزاد سوکای	۱۰ - ۲۰	۱۵	۲۳
قزل آلا	۱۰۰	۸	۲۹
	۱۰۰	۱۸	٤٠-٤٨*
گونه های دریایی			
سیم دریایی سرطلایی	۱۰	۲۰	۷۹
	۱۰۰	۲۰	٤١
سیم دریایی قرمز	۳۵-۷۰	۲۰	٦٤
ماهی کاد	۳۰-۸۰	۷	۳۰
	۳۰-۸۰	۱۰	٤۳
	۳۰-۸۰	۱۵	۵۲
باس دریایی	۱۰	۲۰	۸۱
	۱۰۰	۲۰	٤۸
ماهی پهن	۵	۲۰	۱٦۳
	۱۱۰	۲۰	۳۰

* مقادیر ارائه شده از مقالات استخراج شده اند.

انرژی ذخیره ای در ماهیان معمولا ۲۰ تا ۵۰ درصد یا ۳۵ تا ۶۵ درصد میزان انرژی قابل هضم ورودی است در حالیکه این مقادیر بیشتر از مقادیر مشاهده شده در موجودات خونگرم است. علت این اختلاف عمدتاً ناشی از سطح پایین متابولیسم پایه یا نیازهای نگهداری در ماهیهاست که خود به دلیل خونسردی و عوامل ثانویه‌ای همچون دفع آمونیاک و قابلیت شناوری است.

چون متخصصان تغذیه اغلب دمای نزدیک به حالت اپتیمم را برای گونه ها انتخاب می کنند، نقش درجه حرارت در سیر انرژی عمیقا مورد مطالعه قرار نگرفته است. با این حال ، سیر انرژی به میزان قابل توجهی وابسته به دماست(جدول۵-۵). پیرامون درجه حرارت اپتیمم و پایین تر از آن، ورود و مصرف انرژی در یک رابطه ثابت تعادلی باقی می ماند. ذخیره انرژی درگونه ها در درجه حرارت اپتیمم یا کمی بالاتر از آن در حد بیشینه است. در دمای بالاتر از اپتیمم، میزان ورود انرژی افزایش نمی یابد، اما مصرف انرژی به طور مستمر و دائمی زیاد می شود. در دمای نزدیک به حد کشنده، سیر انرژی به سرعت سیر نزولی مییابد.

جدول ۵-۵) اثر دمای آب بر استفاده از انرژی قابل‌هضم و نرخ انرژی نگهداری در قزل‌آلا.
جیره محتوی ۳۸ درصد پروتئین قابل هضم و ۹ درصد چربی قابل هضم است (Slinger and Cho,1980)

دما (درجه سانتیگراد)	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
انرژی ذخیره ای (درصد انرژی قابل هضم ورودی)	٤٤	٤٩	٥٣	٥٨
انرژی نگهداری ($kj/kg^{-1\ 0.824/day}$)	١٢	١٩	٣٥	٣٨

۵-۵ - خلاصه

در ماهی ها مراحل مختلف تولید انرژی از غذا، بسیار مشابه مراحل شناخته شده در پستانداران است. متابولیسم انرژی صرفا از دو جنبه با مهره داران عالی تفاوت دارد اولاً، اولویت استفاده از مواد مغذی تامین کننده انرژی در سطح سلولی در بین مهره داران عالی و ماهی ها متفاوت است. ثانیاً، خونسرد بودن ماهی منجر به اثر قابل توجه درجه حرارت محیط بر متابولیسم در کل سطح موجود زنده می شود. مواد مغذی مورد استفاده جهت تامین انرژی در ماهی ها ترجیحا اسیدهای‌آمینه هستند که کاتابولیسم این مواد منجر به تولید آمونیاک می شود. با این حال، حداقل در آزاد ماهیان این امکان وجود دارد که به منظور کاهش کاتابولیسم پروتئین ها، مقدار زیادی چربی جایگزین این مواد مغذی شود. پیامدهای ناشی از خونسرد بودن ماهی ها توسط آنزیم های حرارتی کاسته می شود. دمای آب می تواند بر تعدادی از اجزاء سازنده

متابولیسم انرژی از قبیل HiF یا نسبت های پروتئین یا چربی ذخیره شده نیز مؤثر باشد. بالابودن نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم به علت پایین بودن نیاز انرژی در ماهی ناشی از خونسرد بودن ماهی است که بایستی در جیره های غذایی مصرفی مدنظر قرار گیرد. همچنین پایین بودن نیازها موجب افزایش کارآیی ماهی در ذخیره سازی انرژی جیره غذایی به صورت انرژی بدنی می شود. در حال حاضر، به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین و بازدهی بهتر انرژی، پیشنهادات ارائه شده در خصوص نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) در چندین گونه در حال بررسی است.

«فصل ٦»

پروتئین‌ها

بدون شک بیشترین مطالعات انجام شده پیرامون مواد مغذی مورد مصرف ماهی به مواد پروتئینی اختصاص دارد. از زمان شروع اولین اقدامات در جهت کاربرد غذاهای فرموله شده در پرورش ماهی، تلاش های زیادی به منظور تعیین حد بهینه پروتئین جیره غذایی انجام گرفته است و این موضوع خیلی سریع به اثبات رسید که سطح بهینه پروتئین در ماهی ها بسیار بالاتر از پستانداران یا پرندگان است. در این رابطه از چندین روش تکمیلی به منظور تشریح نیازهای ویژه ماهی استفاده شد. محققان به بررسی علت تفاوت چشمگیر بین ماهی ها و مهره داران عالی که می تواند ناشی از نیازهای فوق العاده بالای ماهی به منظور رشد یا نگهداری باشد پرداختند. در مورد برخی گونه ها تلاش های گسترده ای به منظور تعیین نیازهای آنها بر اساس اسیدهای آمینه ضروری (EAA) انجام شد و نیز نتایجی در جهت توجیه مکانیسمهای بنیادی ارائه گردید. اگرچه اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه پیرامون متابولیسم پروتئینها بوده اما نقش پروتئین ها و نیز منابع نیتروژنی غیر پروتئینی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

در این فصل ابتدا به معرفی شاخص های عمده متابولیسم پروتئین ها پرداخته خواهد شد و در ادامه نیازهای پروتئینی و آمینواسیدی و روابط متقابل پروتئین و انرژی تشریح می شود.

۱-٦ - ویژگی‌های متابولیسم پروتئین در ماهی

۱-۱-٦) متابولیسم اسیدهای آمینه

در حیوانات اسیدهای آمینه یا به شکل آزاد یا متصل به پروتئین (که به معنی قرار گرفتن در زنجیره‌های پپتیدی است) هستند. اسیدهای آمینه آزاد دارای ۳ منشأ هستند که شامل جذب روده ای مواد حاصل از هیدرولیز پروتئین های غذا، سنتز از منابع غیر پروتئینی و هیدرولیز پروتئین ها ی بدن می شود. اسیدهای آمینه به منظور سنتز پروتئین ها یا سایر ترکیبات نیتروژنی (اسیدهای نوکلئیک، آمین ها، پپتیدها، هورمونها و غیره) مورد استفاده قرار می گیرند و می توانند تامین کننده منبع کربنی برای متابولیسم حدواسط بوده یا برای تولید انرژی اکسید شوند.

۱-۱-۱-٦) سنتز

ماهی ها نیز همانند مهره داران عالی و بسیاری از بی مهرگان، قادر به سنتز پاره ای از اسیدهای آمینه نیستند و باید از طریق جیره غذایی تامین شوند. این اسیدهای آمینه را در اصطلاح اسیدهای آمینه ضروری مینامند (فصل۲) و برای شناسایی آنها از دو روش استفاده می شود.

قدیمی ترین و ساده ترین روش شامل حذف ترکیباتی از جیره غذایی است که گمان می رود این ترکیبات ضروری هستند، سپس حیوانات طی چند هفته یا چند ماه کنترل شده و علائم کلینیکی ناشی از کمبود ترکیبات حذف شده مورد بررسی قرارمی گیرند. در این آزمایشها بجز متیونین، لایزین و تریپتوفان که کمبود آنها در ماهی علائم پاتولوژیک خاصی بدنبال دارد، تاکنون در مورد سایر اسیدهای آمینه نشانه خاصی ناشی از کمبود آنها مشاهده نشده است.

کمبود یک اسید آمینه ضروری بلافاصله موجب توقف رشد و در پی آن کاهش وزن می شود. در واقع، قابلیت برگشت پذیر بودن علائم کمبود ترکیبات حذف شده پس از اضافه کردن آنها به ترکیب جیره می تواند دلیل کافی در جهت اثبات ضرورت این ترکیبات باشد. از اینرو، ضرورت جایگزینی ۱۸ اسید آمینه به صورت مخلوطی از اسیدهای آمینه سازنده پروتئین جیره کپور مورد بررسی قرار گرفت (Nose,1974) و در پایان هفته چهارم کاهش وزن بدن در مورد کمبود ده اسید آمینه مشاهده شد که با اضافه کردن اسیدآمینه حذف شده، رشد افزایش یافت. هرچند این روش ها به اندازه گیری های بیوشیمیایی دقیق نیاز داشته و نسبتا وقت گیر و کند هستند.

امروزه روش های دقیق تر و سریعتری ترجیح داده می شوند که بر تکنیک های بیوشیمیایی بخصوص استفاده از مواد رادیو اکتیو متکی هستند. در خصوص استفاده از مواد رادیواکتیو، دو نوع ترکیب متفاوت شامل استات یا گلوکز نشان دارشده با C^{14} به ماهی تزریق می شود . این تزریق بعد از چندساعت موجب مرگ ماهی شده و به موجب آن بخشی از پروتئین بدن برداشت شده و هیدرولیز می شود سپس اسیدهای آمینه بدست آمده از طریق کروماتوگرافی جداشده و میزان رادیواکتیویته آنها بررسی می شود. گرچه مواد رادیواکتیویته را فقط می توان در اسیدهای آمینه غیرضروری یافت اما این روش سریع بوده و امکان مطالعه همزمان ضرورت تمامی اسیدهای آمینه را فراهم می کند. با این وجود، پاره ای از انتقادات به این روش وارد شده است. از جمله، پس از آنالیز آزمایشهای انجام شده ، نتایج حاصل از هیدرولیز اسیدی یک پروتئین مشخص به منظور تعیین گلوتامین، مشابه با اسید گلوتامیک و همچنین اسید آمینه آسپاراژین مشابه اسید آسپارتیک خواهد بود. علاوه بر این، این روش امکان تمایز بین مولکولهایی که سنتز نمی‌شوند و مولکولهایی را فراهم سازد که موجود زنده قادر به سنتز آنها نیست و آنها را از طریق غذا تامین می‌کند.
نتایج حاصل از دو نوع آزمایش مشابه بود: ده نوع از اسیدهای آمینه ضروری(جدول۱-۶) در ماهی و مهره داران عالی که دفع کننده اوره نمی باشند، مشابهند. اما آرژنین که یکی از اسیدهای آمینه ضروری در ماهی هاست بخشی از آن در حیوانات دفع کننده اوره در چرخه اوره تولید می شود. همچنین دو اسید آمینه نیمه ضروری در ماهی شناسایی شده که فقط از اسیدهای آمینه ضروری ساخته می شوند. این اسیدهای آمینه شامل سیستئین و تیروزین هستند که سیستئین از اتصال سرین با متیونین و تیروزین از اتصال سرین با فنیل آلانین ایجاد می شوند. در محل هایی که سنتز اسیدهای آمینه بکندی صورت می گیرد، اسیدهای آمینه نیمه ضروری می نامند. در ماهی ها، پرولین و گلوتامین جزء اسید آمینه های نیمه ضروری هستند.

در شرایط بحرانی، سرعت سنتز اسیدهای آمینه غیرضروری بسیار کند شده و رشد بکندی صورت میگیرد. در چنین شرایطی، بدون اینکه این اسیدهای آمینه ذاتاً ضروری باشند می توانند به عنوان اسید آمینه ضروری قلمداد شوند. از اینرو اصطلاح غیر ضروری به آنها اتلاق می شود. اسیدهای آمینه غیرضروری از آلفا- کتواسیدهای قرینه و متشابه حاصل از تبادل آمینی (انتقال برگشت پذیر یک گروه آمین از اسید آمینه به آلفا- کتو اسید بدون آزاد شدن آمونیاک) ساخته می شوند.

به عبارت ساده تر، چنین فرض می شود که ضروری بودن اسید آمینه ای که حیوان قابلیت سنتز آن را ندارد، توسط چرخه کربن تعیین می شود. امروزه با استفاده از ^{15}N مشخص شده که در مهره‌داران عالی چند حالت کاملا مجزا برای اسیدهای آمینه ضروری وجود دارد. اسیدهای آمینه ضروری در سه دسته طبقه بندی می شوند (جدول b۱-۶ و کادر ۱-۶)

ـ آرژنین و هیستیدین که در چارچوب متابولیسم حدواسط ساخته می شوند بدون اینکه این سنتز به علت فعالیت پایین سیستم های آنزیمی، موازنه مثبت انرژی در بر داشته باشد.

ـ لوسین، ایزولوسین، والین، تریپتوفان، فنیل آلانین و متیونین که از طریق تبادل آمینی ساخته می شوند اما به علت کمبود ماده انرژی زا، میزان سنتز آنها کافی نیست.

ـ لایزین و ترئونین که به علت فقدان ترانس آمینازهای ضروری (آنزیم های ضروری برای انتقال اسیدهای آمینه) نمی توانند در هیچ یک از مسیرهای متابولیک حدواسط ساخته شوند.

بنابراین تنها اسیدهای آمینه دسته سوم (لایزین و ترئونین) مطلقا ضروری هستند (مراجعه شود به کادر ۱-۶). هشت اسید آمینه ضروری باقی مانده، حداقل از لحاظ تئوری و در مهره داران عالی، کاملا ضروری نخواهند بود. فرض می شود که مسیر سنتز این اسیدهای آمینه در ماهی ها مشابه مهره داران عالی است و اسیدآمینه های مذکور وضعیت مشابهی در ماهیها دارند. البته این فرضیه هنوز به اثبات نرسیده اما از لحاظ کاربردی نباید ضرورت ده اسید آمینه مذکور در جدول a ۱-۶ مورد تردید قرار گیرد.

۲-۱-۱-٦) مصرف

در ماهی ها همانند مهره داران خشک زی پروتئین های بدن ماهیت ثابتی ندارند. سنتز و تجزیه پروتئین به طور همزمان و دائمی از طریق فراهم شدن اسید آمینه آزاد ناشی از ورود مواد غذایی و تجزیه بافت های پروتئینی، انجام می شود (شکل۱- ۶). در مطالعه متابولیسم اسیدهای آمینه و خصوصا تعیین نیازها باید جنبه های دینامیک و بویژه تغییر و تحول اسیدهای آمینه در هر بخش مدنظر قرار گیرد. تاکنون مطالعات انجام شده پیرامون دوگونه آب شیرین از ماهیان شامل قزل آلا وکپور، متمرکز بوده و گونه های آمفی هالین مانند آزادماهی اطلس یا گونه های دریایی از قبیل باس دریایی، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

جدول ۱-٦) انواع اسیدهای آمینه ضروری، نیمه ضروری و غیر ضروری

A : طبقه بندی تعیین شده برای ماهی

انواع نیمه ضروری و غیرضروری	انواع ضروری
آلانین	آرژنین
آسپاراژین	هیستیدین
اسید آسپارتیک	ایزولوسین
اسید گلوتامیک	لوسین
گلوتامین	لایزین
گلایزین	ترئونین
پرولین	تریپتوفان
سرین	والین
سیستئین*	متیونین
تیروزین*	فنیل آلانین

* اسیدهای آمینه نیمه ضروری

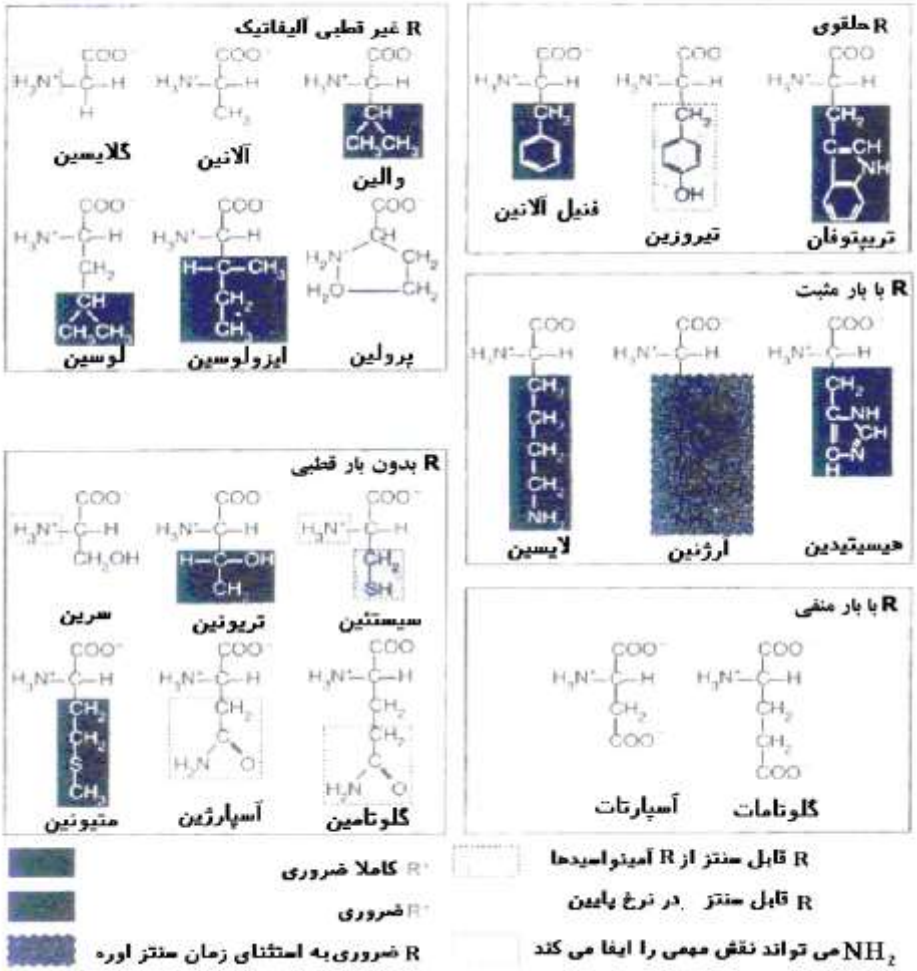
B : طبقه بندی آمینواسیدها با توجه به ضروری بودن ساختار کربنی و گروه آمینی اصلی

گروه آمینی	ساختار کربنی	
	ضروری	غیر ضروری
ضروری	لایزین ترئونین	سرین گلایزین سیستئین
غیرضروری	*اسیدهای آمینه شاخه دار تریپتوفان فنیل آلانین متیونین	** گلوتامات ، گلوتامین آلانین ** اسپارتات ، آسپاراژین

* ایزولوسین، لوسین، والین

** این اسیدهای آمینه ممکن است در ماهی ضروری باشند.

کادر ۱-٦) فرمول ۲۰ اسیدآمینه، پروتئین ها و اهمیت گروههای آمینی و رادیکال های آنها



تکنیک های مورد استفاده به منظور مطالعه سیر متابولیک اسیدهای آمینه

در این تکنیک ها از ایزوتوپ های پایدار (N^{15}، H^{2}، C^{13}) که امروزه در مطالعات پیرامون ماهی کاربرد کمی دارد، یا ایزوتوپ های رادیواکتیو (C^{14} یا H^{3}) استفاده می شود. بعد از وارد کردن اسیدهای آمینه نشان دار و اندازه گیری میزان رادیو اکتیویته ویژه آمینو اسیدهای آزاد یا متصل به پروتئین های بافتی

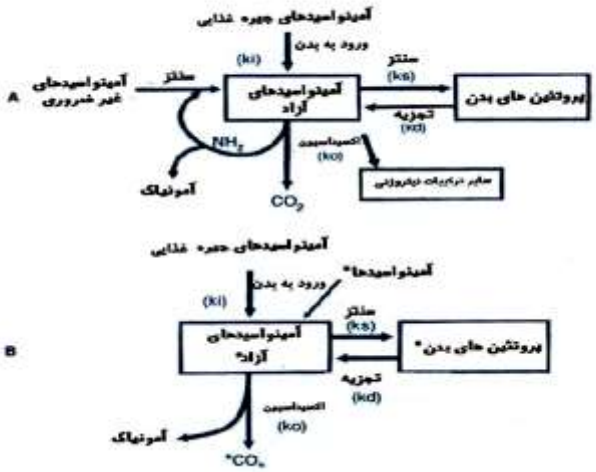
موجود در مواد دفعی (رادیواکتیویته بر مول ترکیبات مربوطه) ، معمولا سیر متابولیک اسیدهای آمینه از لحاظ کمی، مشخص می شود. بدین منظور، روند حرکت و چگونگی سیر متابولیک مواد نشان دار دنبال شده و به صورت خیلی ساده، سیرحرکت اسید آمینه با استفاده از مدل دوقسمتی بسیار دقیق تعیین میشودکه یک قسمت این مدل اسیدهای آمینه آزاد و قسمت دیگر آن پروتئین های بدن را نشان می دهد (۱b- ۶). وارد کردن اسید با استفاده از یکی از سه روش: تزریق ساده، هیدروژن دار کردن[1] و تزریق ساده همراه با غوطه ور سازی در اسیدهای آمینه غیر نشان دار انجام میشود.

روش تزریق ساده به کنترل آزمایشگاهی و جا بجایی های آشکار و غیرآشکار مواد نشان دار نیاز دارد. علاوه بر این، استفاده مجدد اسید آمینه نشان دار حاصل از تغییر و تبدیل پروتئین، در نتایج حاصله انحراف ایجاد می کند.

در حال حاضر، روشی که در مهره داران خشک زی بیشتر استفاده می شود، روش استفاده از هیدروژن رادیواکتیویته است. استفاده از این روش در محیطهای آبی بدون ایجاد استرس در حیوان دشوار است مگر اینکه از میکروپمپ های زیر پوستی استفاده شود که کارایی بالایی در هیدروژن‌دارکردن مواد ندارند. از اشکالات این روش محدودیت در اندازه گیری سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه (ko) است در حالیکه سرعت سنتز پروتئین (ks) را می توان از طریق روش دوز بالا یا غوطه ورسازی اندازه گیری نمود. این روش شامل غوطه ور سازی گروه اسیدهای‌آمینه آزاد تا زمان دستیابی به تعادل بین فعالیت ویژه اسیدهای آمینه آزاد در پلاسما (نزدیک به فعالیت ویژه محلول تزریق شده) و فعالیت ویژه اسیدهای آمینه آزاد در بافت ها می باشد.

در هیچ کدام از این روش ها امکان اندازه گیری مستقیم تجزیه پروتئین (Kd) وجود ندارد. از آنجاییکه تجمع پروتئین نتیجه فرآیندهای سنتز و تجزیه پروتئین است، بنابراین میزان تجزیه پروتئین را می توان از اختلاف بین میزان تجمع و سنتز تعیین نمود. تجمع پروتئین از آزمایشهای رشد طی چندین هفته قابل اندازه‌گیری است در حالیکه میزان سنتز پروتئین معمولا طی چهل دقیقه تعیین می شود. ازینرو، انتقادات زیادی بر این روش وارد شده و باید در آینده روش هایی معرفی گرددکه امکان مطالعه منطقی جریانهای اسیدهای آمینه را فراهم نماید.

[1] perfusion



شکل ۱- ٦) مدل متابولیسم پروتئین در ماهی

A : مدل کلی

B : مدل دو بخشی که پس از تزریق اسید آمینه نشان دار استفاده می شود(مواد نشان دار با علامت ستاره مشخص شده اند).

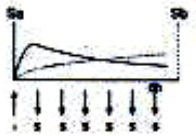
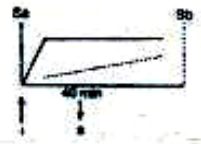
سنتز و تجمع پروتئین

نرخ سنتز پروتئین در ماهی همانند مهره داران عالی با توجه به نوع بافت، متغیر است. ترتیب سنتز پروتئین در بافت های ماهی به شرح ذیل است(جدول ۲-۶).

عضله سفید < عضله قرمز < دستگاه گوارش < آبشش ها < کبد

در صورت در نظر گرفتن پایین تر بودن دمای داخلی بدن موجودات خونسرد نسبت به موجودات خونگرم، نرخ سنتز پروتئین های کبدی و آبشش ماهی مشابه نرخ سنتز پروتئین در کبد وکلیه موش است. نرخ سنتز پروتئین در عضلات سفید ماهی ($g/kg^{0.75}$ ۵-۴ در روز) در مقابل پستانداران ($g/kg^{0.75}$ ۱۶ در روز) خیلی پایین است.

کادر ۲-٦) روش های اندازه گیری سیر متابولیسم پروتئین در ماهی، مزیت ها و محدودیتها

روش	روش کار	امکان اندازه گیری	مزیت ها	محدودیت ها
تزریق ساده	نمونه های جایگزینی جهت طی دوره تغییر ٦ ساعته تنظیم شده به منظور ارزیابی سیر مصرف آمینواسیدها 	سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه(ko) سرعت سنتز پروتئین (ks)	- حداقل استرس - ساده	- امکان استفاده از گروههای زیادی از ماهیان - مصرف مجدد مواد نشان دار - مشاهده تغییرات معنی دار در Sa
هیدروژن دار کردن	پس از موازنه، یک نمونه (٤ ساعت) به منظور اندازه گیری سیر مصرف آمینواسیدها با استفاده از نسبت Sa/Sb کافی است.	سرعت اکسیداسیون اسیدهای آمینه(ko) سرعت سنتز پروتئین (ks)	- تعداد نمونه های کم - موازنه نمودن - اندازه گیریهای جداگانه	- صرف زمان طولانی جهت موازنه - دشواری استفاده از روش هیدروژن دار کردن در ماهی(به سبب ایجاد استرس) یا استفاده از یکروپمپها (به علت مصرف مجدد موادنشان دار)
دوز بالا	پس از بررسی خطی، یک نمونه (٤٠ دقیقه) به منظور محاسبه نرخ سنتز از طریق نسبت Sa/Sb کافی است. 	سرعت سنتز پروتئین (ks)	- حداقل استرس - تعداد نمونه های کم - اندازه گیری سریع - تعین موازنه - اندازه گیریهای جداگانه - حداقل استفاده مجدد از مواد نشان دار	- نامشخص بودن تاثیر استفاده از دوز بالا روی متابولیسم پروتئین - تنها امکان اندازه گیری نرخ سنتز وجود دارد

s = نمونه برداری
Sa = رادیواکتیویته ویژه در آمینواسیدهای آزاد نشان دار
Sb = رادیو اکتیویته ویژه در آمینواسیدهای متصل به پروتئین نشان دار

جدول ۲-٦) نرخ سنتز پروتئین ها « KS» (درصد در روز) در اندام های مختلف ماهیان غذا خورده، میزان حداقل و حداکثر ثبت شده در مقالات مختلف و قابلیت تجمع پروتئین [KS-KD/KS×100]

اندام	نرخ سنتز	قابلیت تجمع پروتئین
کبد	۵/۳-۲۰	۵
آبشش ها	۲/٤-۲۳	-
دستگاه گوارش	۱/۳-۲۱/۲	۸
معده	۷/۸-۱۸/۳	-
عضله قرمز	۰/۳-۷/۷	-
عضله سفید	۰/۱-۱/۳	۷۰

سنتز سایر ترکیبات نیتروژنی

اسیدهای آمینه به عنوان پیش ساز برای بسیاری از ترکیبات نیتروژنی عمل می کنند (جدول۳-۶) اما تعیین میزان این سنتزها در ماهی دشوار است. برخی مسیرهای متابولیک کوتاه هستند (برای مثال، سنتز هورمونها) در حالیکه سنتز بازهای پورین، کراتین یا حتی تری متیل آمین به مقادیر قابل توجهی پیش ساز اسیدآمینه‌ای نیاز دارند. گرچه بسیاری از پپتیدها از انواع تنظیم کننده‌های متابولیک یا فیزیولوژیک هستند و نیز مولکول هایی مانند اکسید نیترو نقش مهمی در سلامت ماهی ایفا می کنند اما همچنان اطلاعات کیفی ناچیزی در این زمینه وجود دارد. حتی در پستانداران نیز این پدیده ها به صورت جزئی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و در رابطه با ماهی ها عملا ناشناخته مانده است. البته در ماهی اسیدهای آمینه غیرپروتئینی معینی مانند تورین و تری متیل آمین در تنظیم اسمزی نقشی ویژه دارند.

جدول ۳-٦) ترکیبات نیتروژنی غیر پروتئینی ساخته شده از اسیدهای آمینه

فرآورده	اسید آمینه
پریمیدین ها	آسپاراتیک
دوپامین	آلانین
کراتین، اکسید نیترو، اسپرمین	آرژنین
پورین ها، پریمیدین ها	گلوتامین
کراتین ،پورین ها، پورفیرین ها[1]	گلایزین
هیستامین	هیستیدین
پلی آمین، اسپرمین	لوسین
کارنیتین	لایزین
تورین، کولین، کراتین، پلی آمین ،گلوتاتیون[2]	متیونین/ سیستئین
کتکولامین، هورمون های تیروئید	فنیل آلانین/ تیروزین
کولین، اتانول آمین، تری متیل آمین	سرین
سروتونین، نیاسین	تریپتوفان

اکسیداسیون اسیدهای آمینه

این حقیقت که ماهی ها اسیدهای آمینه را به منظور تولید انرژی اکسید می کنند و محصول نهایی متابولیسم نیتروژنی در آنها آمونیاک است، آنها را از مهره داران خشک زی متمایز می کند. مسیر های کاتابولیسم اسید آمینه که منجر به تولید انرژی می گردد در فصل ۵ تشریح شد و در این فصل تنها به ذکر مسیرهای کلی کاتابولیسم اسیدهای آمینه اشاره می شود.

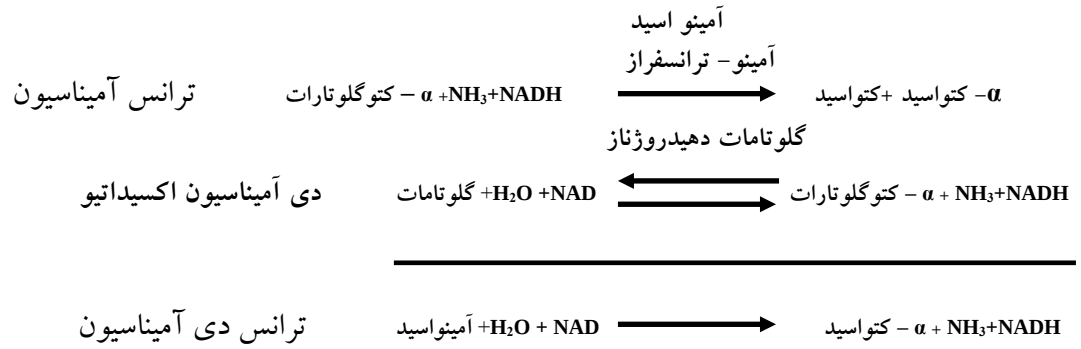
طی فرآیند کاتابولیسم، زنجیره کربنی اسید آمینه می تواند در جهت سنتز سایر ترکیبات نیتروژنی (اسیدهای آمینه غیرضروری، نوکلئوتیدها و غیره) بکار رود اما معمولا به منظور اکسیدشدن و تولید انرژی وارد چرخه کربن می گردد (فصل ۵). اکسیداسیون اسیدهای آمینه را می توان با تزریق آمینواسید نشاندار شده با ^{14}C و تعیین رادیواکتیویته CO_2 تولیدی برآورد نمود. تزریق یک اسید آمینه ضروری نسبت به یک اسید آمینه غیرضروری، موجب تولید درصد کمتری $^{14}CO_2$ می‌شود.

---

[1] porphyrins
[2] glutathion

حتی با استفاده از اسید آمینه غیرضروری مقدار $^{14}CO_2$ تولیدی از طریق بازدم بیشتر از مقدار بدست آمده در موش است. مطالعه سیر لوسین نشاندار شده با ^{14}C نشان می دهد که بیش از ۳۵ تا ۴۹ درصد منبع لوسین آزاد در متابولیسم اکسایشی شرکت می کند در حالیکه این مقدار در پستانداران بیش از ۲۰ درصد نمی باشد. این تفاوت ناشی از تمایل ماهی ها به استفاده از اسیدهای آمینه به عنوان منبع تامین کننده انرژی است. مقدار کمی از اسیدهای آمینه از تجزیه پروتئین ها تامین می شوند (کمتر از ۴۵ درصد در مورد اسید آمینه لوسین) از اینرو، متابولیسم غذا عمده ترین منبع تامین کننده اسیدهای آمینه می باشد.

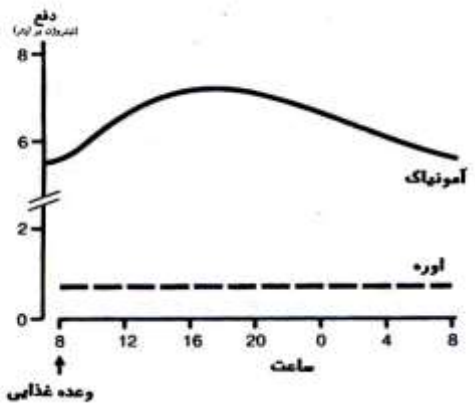
گروههای NH_2 حاصل از کاتابولیسم اسیدهای آمینه در واکنش های تبادل آمینی مصرف می شوند اما پیش از دفع از طریق واکنش های دی آمیناسیون آزاد می شوند. واکنش هایی که منجر به رها سازی آمونیاک می شوند، شامل واکنش های دی آمیناسیون مستقیم یا واکنش های انتقال دهنده یک گروه آمینی به پذیرنده می‌باشند که در محل خود دی آمینه می شوند و واکنش « ترانس دی آمیناسیون » نام دارند. چون دی آمیناسیون مستقیم به آنزیم های خاصی نیاز دارد که غلظت آنها در بافت های ماهی به منظور تشکیل مقدار قابل توجهی آمونیاک بسیار پایین است، لذا ظاهراً واکنش های ترانس دی آمیناسیون مسیر اصلی آزادسازی آمونیاک است. با دخالت ترانس آمینازها، اسیدهای آمینه به آلفا- کتواسیدها و گلوتامات تبدیل شده و گلوتامات بواسطه فعالیت آنزیم دهیدروژناز، گلوتامات به آلفا-کتوگلوتارات و آمونیاک تبدیل می شود(شکل۲- ۶). غلظت این آنزیم درکبد ماهی بیشتر از مهره داران عالی است و نقش مهمی در اکسیداسیون اسیدهای آمینه ایفا می کند.



شکل ۲-٦) واکنش های کلی ترانس آمیناسیون و دی آمیناسیون اسیدهای آمینه

دفع

در اکثر ماهی ها، ۸۰ درصد از نیتروژن حاصل از کاتابولیسم نیتروژنی به شکل آمونیاک دفع می شود. آمونیاک(NH_3) فوق العاده سمی است اما در pH های فیزیولوژیک قسمت عمده این ترکیب به شکل یونی (NH_4+) حضور دارد. یون آمونیوم سمیت کمتری داشته و ماهی براحتی می تواند آن را از طریق آبشش ها (۷۵ درصد) یا از طریق ادرار (۲۵ درصد) به محیط اطراف دفع کند. بین ورود نیتروژن و دفع آمونیاک ارتباط مستقیم وجود دارد. دفع آمونیاک ماهی را از مهره داران خشک زی متمایز میکند که ناگزیر از تبدیل آمونیاک به ترکیبات غیر سمی ولی پیچیده مانند اسید اوریک یا اوره هستند. در ماهیان استخوانی مجموعه کاملی از آنزیم های چرخه اوره وجود دارد اما تنها در چند مورد استثناء کارآمد و قابل استفاده هستند. این مسئله در مورد دهان گردان (الاسموبرانشها) که آمونیاک تجمع یافته در تخم برای جنین سمی خواهد بود یا در بسیاری از ماهیان آفریقایی صدق میکند که در محیطهای خیلی شور زندگی می کنند و دفع آمونیاک برای آنها سخت است. اغلب مقدار مشخصی اوره ترشح می شود(حدود ۵ تا ۲۰ درصد نیتروژن دفعی) که حاصل کاتابولیسم پورین و آرژنین است و از پروتئین ها حاصل نمی‌شود. بر خلاف آمونیاک میزان دفع اوره، پایین بوده و در شرایط عادی به وعده غذایی بستگی دارد (شکل۳- ۶). مطالعات اخیر نشان داده است که حداکثر دفع اوره در ماهی کفشک وجود دارد البته این پدیده هنوز به اثبات نرسیده است.



شکل ۳-٦) تغییرات دفع آمونیاک و اوره در قزل آلا (Kaushik,1980)

۳-۱-۱-٦) خلاصه ای از ویژگیهای متابولیسم در ماهی

ویژگیهای اصلی متابولیسم پروتئین در ماهی شامل: سنتزکم پروتئین در عضله سفید، نقش اندک پروتئینهای بدن در تامین پیش سازهای اسید آمینه، اهمیت کاتابولیسم مستقیم از طریق اکسایش اسیدهای آمینه جذب شده و سرانجام دفع مواد دفعی نیتروژنی به شکل آمونیاک می باشد

برخلاف برخی فرضیه ها، نیاز بسیار بالای ماهی به پروتئین در ارتباط با هیپرتروفی بالای عضلات سفید ماهی نیست. تغییرات کم پروتئین ها در عضلات سفید منجر به سنتز قابل توجه پروتئین می شود که هزینه آن برای موجود زنده مشابه مهره داران عالی است. دومین و سومین ویژگی که قبلا به آنها اشاره شد، علت وابستگی بیشتر متابولیسم پروتئین در ماهی به منبع پروتئینی را نسبت به مهره داران عالی تشریح می‌کنند. همچنین این ویژگی ها امکان درک اهمیت متابولیسم پروتئین در تامین نیازهای انرژتیک ماهی را فراهم می کنند که البته مطالب ارائه شده در فصل ۵ در این رابطه، از موارد استثنا هستند.

۲-۱-٦) تغییرات در متابولیسم

۱-۲-۱-٦) سن ماهی

اثر عوامل زیستی بر متابولیسم نیتروژن موضوعی است که مطالعات کمی پیرامون آن انجام شده است. علاوه بر این، چون روش های مورد استفاده بسیار متغیرند فقط می توان از مقایسه های بسیار تقریبی بین آزمایشهای مختلف استفاده نمود. در این رابطه صرفاً تاثیر این مورد بررسی قرار گرفته است. رشد ماهی با افزایش سن کاهش می یابد اما متوقف نمی شود. این امر به سبب کاهش همزمان سنتز و تجزیه پروتئینهای بدنی و به دنبال آن کاهش تدریجی تجمع پروتئین است.

۲-۲-۱-٦) عوامل غیر تغذیه‌ای غیر زیستی: درجه حرارت

در نگاه اول بعید بنظر می رسد که در بررسی تاثیر دما در سنتز پروتئین توسط محققان مختلف نتایج مشابهی حاصل شده باشد. چون Q_{10} محاسبه شده دارای دامنه متغیری از ۲/۱ تا ۷ است، البته این دامنه متغیر بیشتر یک تناقض ظاهری است تا واقعی و عملاً اختلاف دما در رابطه با عاملی که مورد مقایسه قرار می گیرد، از درجه اهمیت یکسانی برخوردار نیست :

A : گونه های مشخصی که در اقلیم های مختلف زندگی می کنند و در طول دوره تکامل با محیط سازگار شده اند .

B : گونه های مشخصی که نسبتا یوری ترم بوده ولی بعدا با دماهای خاصی سازگار شده اند.

C : گونه های مشخصی که که نسبتا یوری ترم بوده ولی زمان لازم برای سازگاری را پیدا نکرده اند.

در مناطق با دماهای متغیر، Q_{10} گونه های یوری ترم سازگار یافته با شرایط آب و هوایی حدود ۲/۵ است. منحنی اثرات دما بر گونه های یوری ترم مناطق معتدل نشان می دهد که گونه های ساکن در آبهای خیلی سرد میزان سنتز بالایی در عضله دارند اما در مورد گونه های گرمسیری عکس این حالت رخ میدهد. بنابراین، در دماهای یکسان میزان سنتز پروتئین عضلات در ماهیان اقیانوس منجمد جنوبی ۳ برابر مناطق گرمسیری است. این اختلاف این تصور را ایجاد می کند که طی تکامل یک موازنه بدون واسطه دمایی رخ داده است. تغییرات تصادفی در دما بدون ایجاد سازگاری، منجر به ایجاد استرس شده و اثرات قابل توجهی را بر میزان تغییر وتحول پروتئین از طریق ترشح کورتیزول به دنبال دارد گرچه این استرس ارتباطی با یک پدیده فیزیولوژیک ندارد.

۳-۲-۱-٦) عوامل تغذیه ای

متابولیسم پروتئین در ماهی به عوامل مختلف تغذیه ای بویژه غذا خوردن، تکرار وعده های غذایی و کیفیت غذا بستگی دارد. در این رابطه نیز مطالعات متناقضی انجام شده که در این فصل فقط به نقش برخی عوامل اشاره می گردد.

گرسنگی تاثیر اندکی بر سنتز پروتئین دارد اما مسلما تجزیه پروتئین را افزایش داده و سطح اسیدهای آمینه را بالا می برد و حتی پس از یک دوره طولانی محرومیت غذایی، آنزیم های اکسید کننده اسیدهای آمینه به صورت فعال باقی می مانند. اسیدهای آمینه منبع اصلی انرژی هستند. تولید گلوکز ناشی از اسیدهای آمینه که در محیط آزمایشگاهی قابل اندازه گیری است، طول دوره گرسنگی را افزایش می دهد.

زمانی که حیوان غذا می خورد سنتز و تجزیه پروتئین همراه با افزایش مقادیر غذای خورده شده افزایش می یابد و هنگامیکه نیازهای نگهداری برآورده شد سنتز پروتئین از تجزیه آن پیشی گرفته در نتیجه قابلیت ذخیره سازی پروتئین ks (ks-kd) از صفر درصد در مورد جیره نگهدارنده به ۵۰ تا ۶۰ درصد در مورد جیره های حداکثر قابل افزایش است. اگرچه تاثیر واقعی انرژی غذا هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته اما بنظر

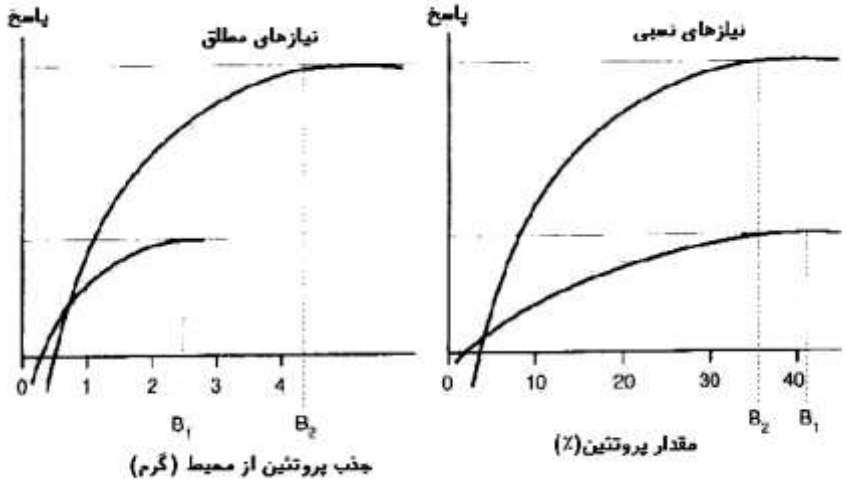
می رسد که این تغییرات عمدتا ناشی از نسبت پروتئین جیره باشد. بنظر می رسد که همانند مهره داران عالی، در ماهی نیز سنتز تابع مستقیمی از میزان دسترسی به منبع تامین کننده انرژی است اما بدون تردید میزان سنتز مطابق با پتانسیل حیوان محدود شده و به عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیک وابسته است. افزایش وعده های غذایی معمولا موجب افزایش تغییر وتحول پروتئین در کبد و عضله می گردد.

متابولیسم غذا به صورت پیچیده ای توسط نوع غذا تنظیم می شودکه در این رابطه تنها نقش منبع پروتئینی مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش محتوای پروتئین نسبت به یک سطح غذایی مشخص منجر به افزایش همزمان سنتز پروتئین و اکسیداسیون اسیدهای آمینه می شود. کیفیت پروتئین های غذا نیز میتواند تغییر و تحول پروتئین های غذ را تحت تاثیر قرار دهد اما زمانیکه ارزش بیولوژیک غذا بالا باشد، اثر آن کمتر خواهد بود.

۲-٦ - نیازهای پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری

۱-۲-٦) برخی تعاریف ها

تعاریف مختلف ارائه شده از نیازها (فصل۲) معنی و کاربرد یکسانی ندارند. برای مثال، نیازهای مطلق طی دوره رشد با افزایش اندازه حیوان افزایش می یابد در حالیکه نیازهای نسبی رو به کاهش می گذارد(شکل۴- ۶). نیازهای مطلق نیازهایی هستند که هیچگونه موجودیت فیزیولوژیک خاص ندارند: حیوان غذا را برحسب کمیت می خورد نه بر حسب درصد یا نسبت و این عامل تابع عوامل خارجی و عوامل مرتبط با خود حیوان است. بهرحال، نیازهای مطلق طی دوره رشد بسرعت تغییر می کنند و از چند میلی گرم برای آلوین ها تا چند ده گرم برای ماهی چند کیلوگرمی متغیرند. نیازهای نسبی ثابت تر بوده و ازینرو این نیازها مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند. برای این منظور، شیوه های حدواسط توصیفی پیشنهاد شده است. از اینرو، مقدار پروتئین های مورد نیاز به ازاء هر کیلوگرم ماهی در روز نه تنها به منظور رویکردهای علمی بلکه برای تعیین اندازه جیره غذایی موردتوجه قرار می‌گیرند. جایگزین‌کردن وزن‌متابولیک بدن(M) با اندازه متابولیک ($M^{0.75}$) از نظر علمی با ارزش تر بوده ولی کاربرد آن آسان نیست. همچنین از شیوه های مختلف توصیفی برای بیان نیازهای اسیدهای آمینه ضروری می توان استفاده نمود.



شکل٤-٦) نیازهای مطلق و نسبی پروتئین. نمایش نموداری این نیازها برای ماهیان کوچک و (۱) ماهیان بزرگ (۲) از یک گونه مشابه

۲-۲-٦) روش های مطالعه

بهترین روش مطالعه، روش پاسخ بر اساس دوز مصرفی است که حداقل دوز مصرفی یا درصد بهینه پروتئین یا یک اسیدآمینه ضروری را تعیین می کند. اصول کار شامل مقایسه عملکردها یا سایر ویژگیهای گروههای مختلف ماهیانی است که با مقادیر رو به افزایش پروتئین ها یا اسیدهای آمینه ضروری تغذیه می‌شوند.

۱-۲-۲-٦) جیره های غذایی آزمایشی

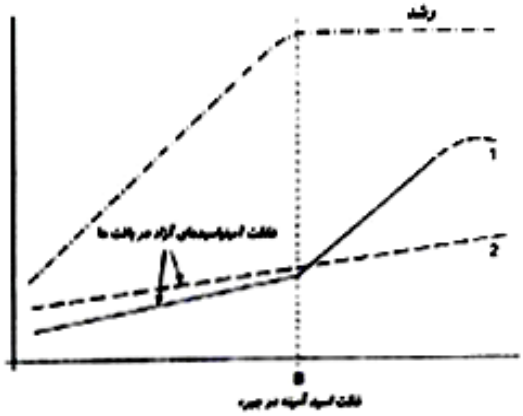
ترکیب جیره های آزمایشی باید با دقت کنترل شود. معمولا به منظور دستیابی به شیب غلظت پروتئین های جیره، این جیره های غذایی جایگزین هیدراتهای کربن می شوند با این شرط که سطح انرژی جیره تغییر چندانی نکند. با این وجود، تا جاییکه ممکن است باید ارزش واقعی انرژی منبع پروتئینی و هیدرات‌کربنی بررسی شده و در صورت امکان محتوای چربی یا بالک (سلولز) تنظیم شود. امکان ورود انواع ویتامین‌ها، مواد معدنی، هیدراتهای‌کربن و اسیدهای چرب از منبع پروتئینی نیز باید در نظر گرفته شود.

علاوه بر ویژگی های مذکور، تعادل اسیدهای آمینه ضروری از اهمیت زیادی برخوردار است که بعدها به آن خواهیم پرداخت. شایان ذکر است مقدار جیره مصرفی نیز عاملی است که می تواند به میزان قابل توجهی پاسخ به شیب پروتئینی را تغییر دهد.

هنگام تعیین نیازهای اسیدهای آمینه ضروری اول باید مطمئن بود که ترکیب پروتئین جیره تمامی نیاز به اسیدهای آمینه ضروری را برآورده می کند. در صورت نبود شناخت کامل، نیازها آنچنانکه که در مورد اسیدهای آمینه ضروری چنین حالتی وجود دارد، باید پروتئین مرجع انتخاب شود. در این رابطه، در مقایسه با پروتئین های تخم یا عضله پروفیل اسیدهای آمینه ضروری لاشه گونه های مورد بررسی بر حسب گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن بهترین راهنما و مرجع می باشد. همچنین موجودی اسیدهای آمینه ضروری باید در سطحی ثابت نگهداشته شوند و مقدار اسیدهای آمینه غیرضروری بطورکلی، نه بصورت جداگانه، مدنظر قرار گیرند. این شرایط از طریق تنظیم جیره حاوی مواد خام طبیعی دارای کمبود یا جایگزینی پروتئین های موجود با مخلوطی از اسیدهای آمینه خالص‌سازی شده، حاصل می شود. در حالت اول، تنظیم این نوع از جیره دشوار بوده و انتخاب غلظت های اسید آمینه محدود است. در حالت دوم نیز، رشد اغلب به کندی صورت می گیرد. حداقل بخشی از این کمبود رشد ناشی از اسیدهای آمینه خالص سازی شده است که سریعتر از اسیدهای آمینه حاصل از هضم پروتئین، جذب شده و موجب کاهش قابلیت سنتز پروتئین می‌شوند. هنگامی که اسیدهای آمینه کریستاله شده با آگار- آگار یا آگار- ژلاتین پوشیده شوند، سرعت جذب آنها کاهش یافته و مصرف متابولیک آنها تا حدی افزایش می یابد. اسیدی بودن ترکیب اسید آمینه‌ای که منجر به کاهش اشتهای ماهی شده و افزایش فشار اسمزی محتویات معده شده و اختلال در جذب مواد غذایی را بدنبال دارند، از عوامل دیگری هستند که موجب محدودیت در استفاده از جیره‌های نیمه مصنوعی می شوند.

۲-۲-۲-٦) مدل

بصورت تئوری، چنانچه منحنی پاسخ به جیره های آزمایشی را بتوان بوسیله دو پاره خط و یک انحنا در سطح نیازها مشخص نمود، روش ساده ای است (شکل۵- ۶) اما از نظر کاربردی بویژه در جمعیت های ناهمگون، همیشه نقطه شکست بخوبی مشخص نمی شود، همچنین معیار انتخاب شده کاملا بر سطح نیازها منطبق نمی باشد.



شکل۵-٦) تاثیر غلظت یک اسید آمینه ضروری در رشد و همچنین غلظت شکل آزاد آن اسیدآمینه در بافت‌ها.

۱) : اسیدهای آمینه با یک نقطه شکست در شیب غلظت (بنابراین،طول نقطه B برابر با سطح نیازها است).

۲) : اسیدهای‌آمینه بدون نقطه شکست در شیب غلظت

مدل های پیشنهادی دیگری ارائه شده اند که ارتباط بین دوز مصرفی و پاسخ را از طریق منحنی‌های دقیق به شکل مجانب نشان می دهند بنابراین، سطح نیاز برابر با ۹۵ یا ۹۸ درصد از حداکثر پاسخ تصادفی خواهد بود. معمولا معادلات مربوط به منحنی ها که نشان دهنده بهترین توصیف از پاسخ ها هستند نسبت به روش ساده شکست در شیب، برآورد بهتری از نیازها را ارائه می کنند. این مدل ها به علت پیچیده بودن جز در دامنه ای که بسختی می توان آن را تعیین نمود، مقادیر واقعی را نشان نمی دهند و از اینرو مورد انتقاد قرار گرفته اند.

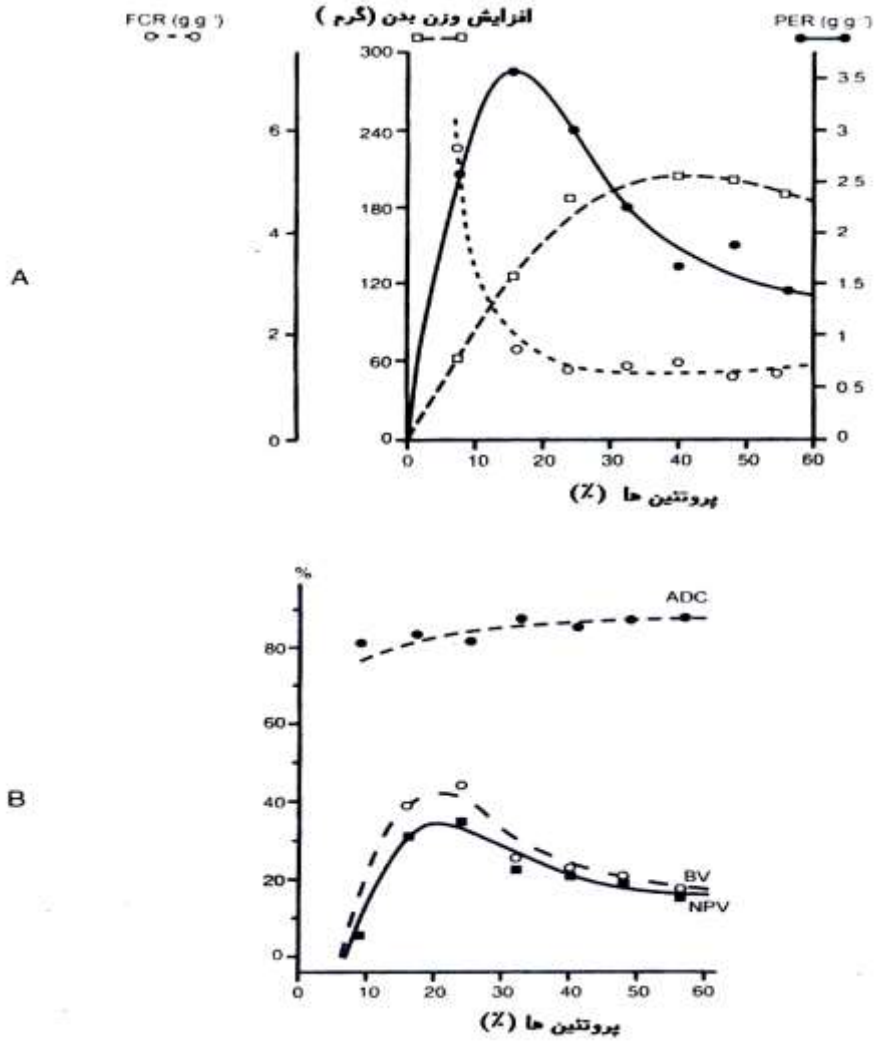
۳-۲-۲-٦) پاسخ

به منظور نشان دادن افزایش وزن بدن از شاخص افزایش وزن بدن بویژه میزان رشد ، شاخص رشد روزانه و غیره استفاده می شود(فصل۲). شاخص های مربوط به افزایش طول وابستگی کمتری با چاقی داشته و مسلما به دلیل وابستگی کمتر این شاخص ها با افزایش وزن بدن و تغییر تقریبی آنها به عنوان تابعی از

ریشه سوم وزن، بندرت مورد استفاده قرار می گیرند. از لحاظ تئوری، شاخص‌های مربوط به ذخیره پروتئین از دقت بیشتری برخوردارند اما این شاخص ها نیز به محاسبات تکمیلی (تجزیه و تحلیل پروتئین های بدن) نیاز داشته و به علت ثابت بودن محتوای پروتئین بدن، در شرایط عادی اعتبار نتایج را به میزان اندک بهبود می بخشند.

گاهی از شاخص های مصرف در رابطه با غذا و ذرات پروتئینی آن، به منظور برآورد نیازها استفاده میشود. شاخص مصرف و عکس آن یعنی بازدهی تغذیه، مقدار بهینه پروتئین ورودی به بدن را نشان میدهد که به مقدار پروتئین تضمین کننده رشد نزدیک می باشد اما این مقدار بهینه لزوما به عنوان نیاز تلقی نمی شود(a ۶- ۶). علاوه براین، استفاده از این شاخص ها به سبب نیاز به اندازه گیری های تکمیلی، خطاهایی را بدنبال دارند. شاخص های مصرف در رابطه با پروتئین از قبیل نسبت بازدهی پروتئین (افزایش بیوماس نسبت به میزان پروتئین مصرفی) یا ارزش بیولوژیک، میزانی را برای مقدار پروتئین غذا بدست میدهد قطعاً کمتر از میزان نیاز خواهد بود(b ۶- ۶).

روش های مختلف پاسخ بر حسب دوز مصرفی به منظور رشد در مورد اسیدهای آمینه قابل استفاده است اما رشد حاصله نسبتا کند بوده و زمان زیادی لازم است تا تفاوت در پاسخ ها آشکار شود. علاوه بر این، گاهی اوقات جیره های مصرفی گران خواهند بود. تمامی این عوامل موجب شد تا شاخص های متابولیک خاصی مورد بررسی قرار گیرند که بلافاصله قادر به نشان دادن وضعیت کمبود یا تامین نیاز ها باشند. اولین اندازه گیری در این رابطه، اندازه گیری تغییرات اسیدهای آمینه آزاد در خون است. منحنی حاصله (شکل۵- ۶) نشان می دهد که بطور کلی تجمع اسیدهای آمینه ضروری تا رسیدن به سطح مورد نیاز با سرعت کم صورت می گیرد اما تجمع آنها در بالاتر از سطح نیاز این مواد بسرعت افزایش می یابد. در مورد پاره ای از اسیدهای آمینه ضروری (لوسین، ایزولوسین، والین، متیونین و ترئونین) نقطه شکست مشخص بوده و کاملا بر سطح نیازها منطبق است. در مقابل، در مورد سایر اسیدهای آمینه ضروری در خارج از سطح نیازها هیچ تجمعی مشاهده نمی شود که این امر می تواند ناشی از افزایش کاتابولیسم یا واکنش های بین اسیدهای آمینه باشد. روش های پیشنهاد شده دیگر بر پایه اندازه گیری اکسیداسیون اسید آمینه مورد بررسی یا اسید آمینه شاخص استوار است.



شکل ٦-٦) تاثیر محتوای پروتئین غذا درعملکردهای بیولوژیک و شاخص های مختلف مصرف پـروتئین جیره (Huang and Shiau, 1989)

A : **تاثیر محتوای پروتئین غذا در افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل غذا** (FCR) **و نسبت بازدهی پروتئین** (PER)

B : **تاثیر محتوای پروتئین غذا در ضریب ظاهری قابلیت هضم** (ADC) ، **ارزش بیولوژیک** (BV) **و مقدار پـروتئین خالص** (NPV)

در این رابطه مجموعه ای از ماهی ها با غذایی محتوی مقادیر رو به افزایش اسید آمینه مورد مطالعه، تغذیه می شوند، بدین نحو که محلولی محتوی همان اسیدآمینه یا اسید آمینه نشان دار شده با ^{14}C به حیوان تزریق می شود و پس از گذشت چند ساعت مقدار $^{14}CO_2$ دفع شده ناشی از کاتابولیسم ثبت می شود. طی بررسی انجام شده، کاتابولیسم اسید آمینه مورد آزمایش در بالای سطح نیازها و کاتابولیسم اسید آمینه شاخص در زیر سطح نیازها افزایش می یابد. نتایج به دست آمده با نتایج تعیین شده کاملا مطابقت دارد اما این روش دقت کمی داشته و به لوازم پیشرفته ای نیاز است. این عوامل کاربرد این روش را جز در موارد خاص، محدود می سازد.در نتیجه روش های مختلف اندازه گیری یا حتی پارامترهایی که برای یک روش مشخص تعیین می شوند، اغلب مواقع نتایج هماهنگی ارائه می کنند اما می توانند منشاء تغییرات معنی داری در میزان احتیاجات باشند.

۳-۲-٦) کیفیت غذایی پروتئین ها

کیفیت غذایی پروتئین ها شامل دو مبحث قابلیت هضم و ارزش بیولوژیک است.

۱-۳-۲-٦) قابلیت هضم

ضریب قابلیت هضم (فصل ۴) اولین شاخصی است که در مورد کیفیت غذایی پروتئین ها مورد توجه قرار می گیرد. اگر نیازها بر حسب پروتئین های قابل هضم بیان شود مستقل از قابلیت هضم بوده و هیچ ارتباطی با هم ندارند اما چنانچه بر حسب پروتئین های خام بیان شوند، با قابلیت هضم نسبت عکس دارند.

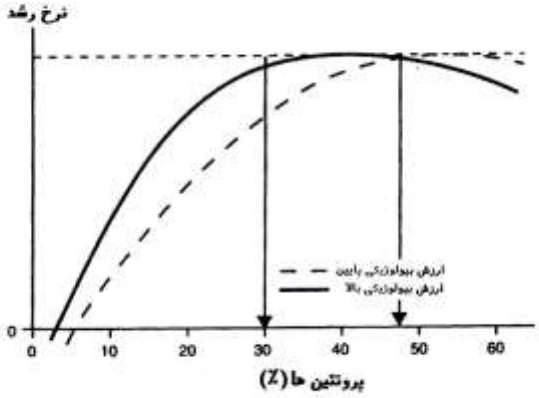
۲-۳-۲-٦) ارزش بیولوژیک

در صورت مشابه بودن سایر عوامل چنانچه نیازها بر حسب پروتئین های قابل هضم بیان شوند، باز هم نیازهای یک حیوان تابع منبع پروتئین مصرفی است. بنابراین، یکی دیگر از شاخص های پروتئین غذا با نام ارزش بیولوژیک (BV[1]) توسط توماس مطرح شد که این شاخص برابر است با:

[1] Biological value

$$BV = \frac{\text{ذخیره پروتئین تصحیح شده}}{\text{پروتئین جذب شده}} \times ۱۰۰$$

این شاخص با در نظر گرفتن عوامل داخلی[1] و تلفات متابولیک تصحیح می شود. ارزش بیولوژیک را می‌توان با استفاده از موازنه نیتروژن اندازه گیری نمود.



شکل۷-٦) تعیین نیازهای کمی یک حیوان بر اثر مصرف دو نوع پروتئین با ارزش های بیولوژیک متفاوت

جهت تعیین ارزش بیولوژیک به دو گروه ماهی نیاز است تا یک گروه با جیره ای محتوی پروتئین مورد مطالعه و گروه دوم با جیره ای فاقد پروتئین (٪۰ پروتئین) تغذیه شوند. در گروه اول می توان اتلاف انرژی را از طریق مدفوع (Nf) و دفع از طریق آبشش ها و ادرار(Nub) اندازه گیری نمود.

[1] endognouse

در گروه دوم تلفات مواد دفعی متابولیک یا اتلاف انرژی از طریق دفع مواد متابولیک (Nf_o) و اتلاف انرژی داخلی به منظور دفع از طریق ادرار و آبشش ها(Nub_o) اندازه گیری می شود. در صورت وجود مقدار نیتروژن ورودی (Ni) ارزش بیولوژیک را می توان از طریق رابطه ذیل محاسبه نمود :

$$BV = \frac{Ni - \left[\left(Nf - Nf_0\right) + \left(Nub - Nub_0\right)\right]}{Ni - \left(Nf - Nf_0\right)} \times 100$$

ارزش بیولوژیک یک منبع پروتئینی مشخص، ثابت نیست و متناسب با محتوای پروتئین جیره تغییر میکند (شکل۶b-۶) ، اما مشخصه ویژه منبع پروتئینی غذای مورد نظر است. تا زمانی که این منابع تحت شرایط یکسان و به ویژه در سطوح یکسان در ترکیب جیره غذایی گنجانده شوند، این شاخص امکان درجه بندی بین منابع مختلف پروتئین های غذایی(که به معنی درجه بندی بین منابع یا مخلوط های پروتئینی است) را فراهم می کند. این نوع درجه بندی تقریبا در تمام مهره داران از جمله ماهی ها وجود دارد.

ارزش بیولوژیک(BV) بر خلاف ضریب ظاهری هضم(ADC) که طبق تعریف تنها مصرف مواد هضم شده را برآورد می کند، مصرف متابولیک پروتئین ها را نشان می دهد. منحنی های شکل ۶a-۶ و b ۶-۶ نشان می دهند که مصرف متابولیک پروتئین ها در ابتدا افزایش و سپس با توجه به ورود پروتئین در بالا یا پایین سطح نیازها کاهش می یابد.

۳-۳-۲-٦) ارزش پروتئین خالص (NPV[1]) یا مصرف پروتئین خالص(NPU[2])

ارزش پروتئین خالص (NPV) به عنوان یکی دیگر از شاخص های کیفیت پروتئین غذا معرفی شده است. این شاخص از طریق تعیین همزمان افزایش نیتروژن در گروهی که جیره محتوی منبع پروتئین های مورد بررسی را دریافت می کند (۱) و دفع نیتروژن در گروهی دیگر که جیره ای مشابه اما فاقد پروتئین را دریافت می کند(۲)، اندازه گیری می شود.

[1] Net protein value
[2] Net protein utilisation

ارزش پروتئین خالص از فرمول ذیل قابل محاسبه است :

$$\mathbf{NPV} = \frac{\text{تلفات نیتروژن (۲)} - \text{پروتئین دریافتی(۱)}}{\text{پروتئین های جذب شده (۱)}} \times ۱۰۰$$

با این شرط که این عوامل مربوط به گروههایی باشند که در مورد آنها توضیح داده شد. با استفاده از یک رابطه ساده می توان ارتباط بین ارزش پروتئین خالص (NPV)، ارزش بیولوژیک (BV) و قابلیت هضم مواد نیتروژنی را نشان داد.

$$NPV = BV \times ADC . N$$

همانند ارزش بیولوژیک ارزش پروتئین خالص نیز نسبت به محتوای پروتئین غذا تغییر می کند(۶b-۶)، با ثابت در نظر گرفتن ADC . N می توان این فرمول ساده را اثبات نمود که دو شاخص را بهم مربوط میسازد (فصل۴). ارزش پروتئین خالص بر خلاف مفهوم واقعی ارزش بیولوژیک، مصرف مربوط به هضم و مصرف متابولیک را نشان می دهد. توجه به این نکته ضروری است که گاهی ارزش پروتئین خالص با ارزش بیولوژیک اشتباه می شود گرچه اغلب ارزش بیولوژیک در مفهوم گسترده ای استفاده می شود (برخلاف عقیده توماس).

امروزه شاخص های ارزش بیولوژیک و ارزش پروتئین خالص بندرت جهت بررسی متابولیسم پروتئین در ماهی استفاده می شوند، امروزه اولویت با ضریب مصرف عملی نیتروژن (PUC[1]) تروین[2] است که طرح ساده شده ای از ارزش پروتئین خالص می باشد:

$$\mathbf{PUC} = \frac{\text{تجمع پروتئین}}{\text{مصرف پروتئین}} \times ۱۰۰$$

[1] Practical utilization coefficient
[2] Terroine Practical utilization coefficient of nitrogen

شاخص ارزش بیولوژیک که در مراجع متعددی ارائه شده است، پیشرفت چشمگیر در علم تغذیه را در پی داشته است. این شاخص از خاصیت عدم جمع پذیری برخوردار است. ارزش بیولوژیک یک مخلوط همواره معادل وزن متوسط اجزاء تشکیل دهنده آن نیست. در موارد خاص با مخلوط نمودن منابع پروتئینی با ارزش های بیولوژیک پایین می توان ارزش بیولوژیک مناسب را حاصل نمود. از نظر تجربی از این ویژگی جالب می توان در تغذیه حیوانات خشک زی و در انسان ها بخوبی استفاده کرد. هرچند این ویژگی استفاده از ارزش بیولوژیک را با مشکل مواجه ساخته اما در صورت امکان، در فرمولاسیون غذا استفاده می شود. در نتیجه آنالیزکامل پروتئین ها، این ویژگی با توجه به کمبود اسیدهای آمینه ضروری منابع مختلف و امکان تکمیل نمودن آنها به روشنی قابل تفسیر است.

٤-۳-۲-٦) شاخص های شیمیایی

شاخص های اندازه گیری کمبود یک یا چند اسید آمینه ضروری از پروتئین مورد بررسی در مقایسه با پروتئین مرجع می تواند به ارزش بیولوژیک مربوط باشد. دو نمونه از مهمترین این شاخص ها شامل شاخص شیمیایی بلاک و میشل[1] و شاخص اسید آمینه ضروری اوسر[2] است.

این دو شاخص همانند ارزش بیولوژیک دارای خاصیت عدم جمع پذیری هستند. بنابراین، از این شاخصها نمی توان در فرمول نویسی خطی استفاده کرد. به همین دلیل حداقل در مورد گونه هایی که نیازهای غذایی آنها شناخته شده است در مورد یک ارزش بیولوژیک مشخص ترجیحا نیازهای اسیدهای آمینه ضروری جایگزین نیازهای پروتئین می شود.

٥-۳-۲-٦) قابلیت دسترسی به اسیدهای آمینه

مفاهیم قابلیت هضم پروتئین و استفاده متابولیک که پیش از این در مورد آنها توضیح داده شد، معادلات مشابهی در رابطه با اسیدهای آمینه دارند. متاسفانه هنوز هم اغلب این مفاهیم با همان اصطلاح قابلیت دسترسی بیان می شوند. میزان مصرف مربوط به هضم هر اسیدآمینه مشخص، مشابه پروتئین ها قابل اندازه‌گیری است با این تفاوت که باید مقدار هر اسید آمینه ضروری تعیین شود.

---

[1] Mitchell and block´s chemical Score
[2] Oser´s Essential Amino Acid Index

نقطه ضعف این روش در رابطه با دی آمیناسیون، تبادلات متقابل و سنتز مجدد ناشی از فعالیت های فلور روده ای است. بخصوص دی آمیناسیون موجب تخمین بیش از مقدار قابل دسترس می شود. چون اندازه‌گیریها در خوک و ماکیان در مقیاس گسترده صورت می گیرد، فعالیت های ارگانیسم های روده با استفاده از فیستول هایی محدود می شود. این فیستول ها به دور قسمت انتهایی روده، جایی که بیشترین فعالیت ارگانیسم های روده در آن انجام می شود، پیچیده و فعالیت آنها را محدود می سازد. با توجه به فعالیت کم باکتری ها در ماهی، به منظور تعیین قابلیت هضم انجام چنین اقدام احتیاطی الزامی نیست.

مانند اندازه گیری قابلیت هضم پروتئین ها به منظور تعیین قابلیت هضم اسیدهای آمینه روش های آزمایشگاهی متعددی پیشنهاد شده است. این روش ها بر اساس هیدرولیز اسیدهای آمینه با کمک آنزیم هایی از قبیل پپسین و اندازه گیری بقایای اسید آمینه هیدرولیز شده پس از تقطیر استوار است. این روش بنا به دلایلی مورد انتقاد قرار گرفته است از قبیل: فعالیت پپسین نسبت به آنزیم های تجزیه کننده پروتئین حیوانی، پیچیدگی کمتری دارد و فرایند جذب نیز در نظر گرفته نمی شود. گرچه این روش ها سریعند اما بندرت در مورد ماهی ها استفاده می شوند. بنابراین گاهی قابلیت دسترسی به یک اسید آمینه خاص در محیط بیرون از آزمایشگاه تعیین می شود.

روش کارپنتر از جمله روش هایی است که در خارج از محیط آزمایشگاه قابلیت دسترسی اسید آمینه لایزین در هر منبع پروتئینی را مستقل از سرنوشت آن تعیین می کند.

معمولا روش هایی که به این صورت قابلیت دسترسی اسیدهای آمینه ضروری را تعیین می کنند، هر بار فقط برای تعیین یک اسید آمینه ضروری استفاده می شوند و این اسید آمینه به عنوان عامل محدود کننده در جیره غذایی محسوب می شود. اندازه گیری پاسخ در سطح اسید آمینه آزاد در بافت ها، خون یا بیشتر مواقع در عضله با معیاری انجام میشود که نشان دهنده رشد حیوان باشد. در هر حالت چندین جیره غذایی بایستی استفاده شود که یکی از آنها با مقادیر رو به افزایش اسیدهای آمینه ضروری مورد مطالعه غنی می‌شود. این اسید آمینه به شکل خالص (با فرض اینکه قابلیت دسترسی آن ۱۰۰ درصد است) یا از طریق یک منبع پروتئینی مورد آزمایش به جیره غذایی اضافه می شود. اگر پاسخ های کسب شده در مورد اسید آمینه خالص، P و منبع پروتئین مورد آزمایش، T باشد، قابلیت دسترسی برابر با نسبت T/P خواهد بود. در حال حاضر هیچ کدام از این روش ها در مورد ماهی ها مورد استفاده قرار نمی گیرند.

٤-۲-٦) کل نیازهای پروتئینی

۱-٤-۲-٦) نیازهای عمومی ماهی

نیازهای پروتئینی ماهی در مقایسه با مهره دارن عالی، بسیار بالاست(جدول C1، ضمیمه C). طی چند هفته اول زندگی ماهی ها یعنی مراحلی که بیشترین تقاضای پروتئین وجود دارد، مقدار بهینه پروتئین جیره تقریبا دو برابر پستانداران یا پرندگان است. البته این اختلاف نسبت به کل نیازها در نظر گرفته می شود. نیازهای نگهداری در ماهی بسیار کمتر از پستانداران است و برای ماهی ۳۲۰ میلی گرم پروتئین بر ۰/۷۵(کیلوگرم) در روز[1] در مقابل ۶۲۵ میلی گرم پروتئین بر ۰/۷۵ (کیلوگرم) در روز در پستانداران است. نیازهای رشد یا به عبارت دیگر مقدار پروتئین غذایی که بالاتر از نیازهای نگهداری بوده و برای ساخت یک گرم از پروتئین بدن ضروری است، در ماهی و مهره داران عالی یکسان است. بنابراین، بالا بودن نیاز پروتئین در ماهی ها نسبی است که این موضوع بواسطه پایین بودن سطح نیازهای انرژی در ماهی بوده که خود موجب کاهش نیازهای مربوط به مواد غذایی غیر نیتروژنی و به دنبال آن افزایش مقدار بهینه پروتئین جیره می شود نیز قابل توجیه می باشد.

۲-٤-۲-٦) نیازهای مولدین

این نیازها بندرت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند. با این وجود، این نیازها برابر با مقدار پروتئینی است که تضمین کننده رشدکافی بوده و نیز امکان سنتز مواد تولید مثلی در مولدین را فراهم کند. کمبود این نیازها موجب به تعویق افتادن بلوغ جنسی مولدین ماده می شود. هر چند حداقل در مورد تیلاپیای نیل این کمبود فقط باعث کندی رشد می شود و به عبارت دیگر، پروتئین مصرفی در محتوای پروتئین یا اسید آمینه اووسیت ها تاثیری ندارد.

۳-٤-۲-٦) اثر عوامل زیستی

گرچه کل نیازهای پروتئینی در بین گونه های مختلف ماهی متفاوت است اما مسلما تفاوت واقعی کمتر از تفاوت بدست آمده از طریق روش های مختلف اندازه گیری است.

---

[1] Mg protein . kg $^{-0/75}$ day^{-1}

با این وجود، روشن است که اختلافات زیادی برای مثال بین کفال با نیازهای پایین و آزاد ماهی و بخصوص ماهی کفشک با نیازهای فوق العاده بالا وجود دارد. این قبیل اختلافات بین گونه ای را که در سایر رده های مهره داران نیز وجود دارد، بسختی می توان توجیه نمود. معمولا این تفاوت ها ناشی از اختلاف در ویژگی های متابولیک و سایر خصوصیات فیزیولوژیک (از قبیل فعالیت، متابولیسم انرژی زا و غیره) است و بطور موقت می توان این اختلافات را به رژیم غذایی طبیعی ماهی مربوط دانست به این صورت که گونه های گوشتخوار نیازهای پروتئینی بالاتری نسبت به گونه های علفخوار دارند. گرچه این فرضیه بارها تجدید نظر شده اما هیچگاه در مورد ماهی ها به اثبات نرسیده است. از بین سایر عواملی که احتمالا نیازهای یک گونه را تحت تاثیر قرار می دهند می توان به توارث ژنتیکی اشاره کرد. در حیوانات اهلی که اصلاح ژنتیکی موثری در جهت افزایش نرخ رشد آنها انجام شده است، نیازهای مطلق بشدت تغییر یافته اند بطوریکه مصرف در حیوانات با قدرت تولید بالا خیلی بیشتر از حیوانات اصلاح نشده است. در مقابل، اثرات اصلاح ژنتیکی برنیازهای نسبی، محدود یا حتی قابل صرف نظر کردن است. مسلما در رابطه با ماهی نیز چنین حالتی وجود دارد، اما تاکنون اصلاح ژنتیکی(به جز موارد نادر) افزایش ناچیزی در نرخ رشد را در پی داشته است.

علاوه بر توارث ژنتیکی، سن نیز به میزان قابل توجهی نرخ رشد را تحت تاثیر قرار می دهد. با افزایش سن، نرخ رشد ویژه با گذشت زمان به صورت تصاعدی کاهش می یابد. نسبت بین نیازهای رشد و نیازهای نگهداری نیز با افزایش سن کاهش می یابد و به دنبال آن کاهشی در نیازهای نسبی پروتئین بوجود می آید. برخی محققان بیان داشته اند که در ماهیانی نظیر قزل آلا، کپور یا گربه ماهی، سطح بهینه پروتئین جیره غذایی بین مرحله آلوین و یکسالگی یعنی دوره افت سریع نرخ رشد، تا حدود ۲۵ درصد کاهش می یابد. بنابراین، با افزایش سن حیوان برای مثال، بین ماهی ۱۰۰ گرمی و یک کیلوگرمی نشان دادن ارتباط بین اندازه ماهی و مقدار پروتئین بهینه دشوار است. این فقدان وابستگی نسبی، بر خلاف ویژگیهای پستانداران خشک زی و پرندگان بوده و این موضوع را می توان با فقدان مرحله بلوغ در ماهی و تداوم رشد در دوران پیری توجیه نمود.

۴-۴-۲-۶) اثر عوامل غیرزیستی

دما و شوری از مهمترین عوامل غیرزیستی مؤثر بر فیزیولوژی ماهی است. در مطالعات انجام شده پیرامون گونه های یوری هالین مانند قزل آلا و تیلاپیا مشخص نشده است که شوری غیر از تاثیر جزئی و غیر مستقیم ناشی از کاهش رشد یا اشتها یا حتی تاثیر ناچیز در مصرف مربوط به هضم، چه اثری بر پروتئینهای ماهی دارد. دمای محیط اثر قابل توجهی بر نیازهای مطلق دارد اما ظاهرا نیازهای نسبی مستقل از دما هستند. به عبارت دیگر، سطوح بهینه پروتئین عملا مستقل از دمای محیط پرورش بوده و از این لحاظ اختلاف عمده ای بین ماهیان آب شیرین و شور وجود ندارد. البته در رابطه با تک تک اسیدهای آمینه ضروری باید دقت بیشتری مبذول داشت زیرا نیاز به آرژنین در آزادماهیان، تحت تاثیر شوری قرار دارد.

۵-٤-۲-٦) اثر عوامل تغذیه‌ای

جیره غذایی از عوامل تغذیه ای است که می تواند نیازهای پروتئین را تحت تاثیر قرار دهد. از لحاظ تئوری، نیازهای مطلق یک کمیت بوده و نیازهای نسبی با فرض ثابت بودن مصرف سایر مواد غذایی، تابع معکوسی از جیره غذایی داده شده می باشد. البته قضیه به این صورت نیست و رابطه حقیقی بین نیازهای نسبی و جیره، بسیار پیچیده است. با این وجود، در مورد قزل آلای رنگین کمان و خال قرمز، در صورت استفاده از جیره غذایی غنی از پروتئین می توان در مصرف غذا صرفه جویی کرد. علاوه بر کیفیت جیره، عوامل دیگری نیز می توانند نیازهای پروتئین را تغییر دهند که از بین این عوامل، میزان انرژی جیره غذایی بسیار مهم است.

هنگام تغذیه ارادی، میزان انرژی جیره غذایی عمدتاً تعیین کننده میزان مصرف غذا و پروتئین طبق نسبت مشخص پروتئین به انرژی است. به عبارت دیگر، نیازهای نسبی پروتئین باید در ارتباط با انرژی بیان شوند برای مثال، به جای استفاده از وزن غذا از نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم استفاده شود(فصل۵). در حال حاضر، این روش در مورد تغذیه حیوانات خشک زی استفاده می شود و چندسالی است که برای ماهی ها نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۵-۲-۶) کلیات

نیازهای اسیدهای آمینه ضروری(معمولا طبق روش پاسخ بر حسب دوز مصرفی) فقط برای چندین گونه از ماهیان استخوانی، شامل دو گونه از کپور ماهیان(کپور معمولی و کپور هندی)، گربه ماهی کانالی، دوگونه از آزاد ماهیان (چینوک و چام)، مارماهی ژاپنی و تیلاپیای نیل تعیین شده است. در مورد شش گونه از ماهیان آب شیرین و لب شور یا آمفی هالین شامل قزل آلا، دو گونه از آزاد ماهیان (کوهو و ساکای) ،خامه ماهی، تیلاپای موزامبیک، باس دریایی آمریکایی دورگه و سه گونه دریایی شامل شانک دریایی، باس کانالی و باس دریایی، اطلاعات محدودی حاصل شده است. شایان ذکر است که بدون هماهنگ نمودن روش ها،اغلب بواسطه پاره ای ابهامات، مقادیر حاصله ارزش خود را از دست می دهند.

نیازهای اسیدهای آمینه ضروری که بر حسب گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن بیان می گردد، برای گونه های مختلف تقریبا یکسان است و نیز مشابه نیازهای مهره داران عالی می‌باشد که دفع کننده اوره نیستند. تنها اختلاف موجود بین ماهی ها و مهره داران دفع کننده اوره نیز مربوط به آرژنین است که در چرخه اوره تولید می شود. همانطور که پیش از این شرح داده شد، این نیازها به میزان قابل توجهی به پروفیل اسید آمینه پروتئین لاشه وابسته اند(جدول۴-۶). از سوی دیگر، سهم اسیدهای آمینه ضروری را نیز نباید نادیده گرفت. ذخیره پروتئین نسبت به مصرف میزان مشخصی از اسیدهای آمینه ضروری در حد بهینه است که نسبت اسیدهای آمینه غیر ضروری نزدیک به ۵۰ درصد باشد. معمولا این نسبت در جیره های غنی از پروتئین های حیوانی برقرار است.

در رابطه با برخی پیش سازهای اسیدهای آمینه ضروری که مولکول های فعال بیولوژیک هستند، با استفاده از شرایط فیزیولوژیک ویژه ای می توان نیازهای واقعی را کاملا متفاوت از آنچه که از طریق پروفیل اسیدهای آمینه بدن برآورد شده، ارائه داد. بنابراین، در این فصل نه تنها مقادیر ضروری بلکه برخی خصوصیات متابولیکی اسیدهای آمینه ضروری مورد بررسی قرار خواهد گرفت که از این طریق می توان اختلافاتی از قبیل تنوع گونه ای و اختلافات بین گونه ای را توجیه نمود.

جدول ٤-٦) ترکیب اسیدهای آمینه ضروری کل پروتئین های موجـود در تخـم، عضـله و لاشه گونه های مختلف (به صورت متوسط و ضریب تنوع (٪)) بر حسب گرم بر ١٦ گـرم نیتـروژن کـه بـا نیازهای نسبی (حداقل و حداکثر نیازها) بر حسب گرم بر ١٦ گرم نیتروژن مقایسه شده است)

نیازها	لاشه	عضله	تخم	اسید آمینه
٢/٢-٦/٠	٦ (١٦/٥)	٦/٣ (٩/٢)	٦/١ (١٩/٤)	آرژنین
٠/٩-٢/٧	٢/٤ (٢٦/٨)	٢/٧ (٢٤/٠)	٢/٦ (١٨/٤)	هیستیدین
١/٢-٤/٤	٤/٣ (٢٢/٦)	٦/٣ (١٦/٣)	٥/٧ (٢٢/٨)	ایزولوسین
٢/٧-٨/٤	٧/٣ (٩/٩)	٨/٦ (٨/٣)	٨/٩ (١٣/٤)	لوسین
٣/٨-٦/٦	٧/٣ (١٢/٥)	٩/٩ (١٢/٦)	٧/٦ (١٤/٦)	لایزین
١/٣-٣/٦	٢/٧ (١٦/٤)	٣/٣ (٩/٠)	٢/٥ (٢٣/١)	متیونین
٠/٢-٦/٥	٤/١ (١١/٧)	٤/٤ (١٣/٠)	٤/٨(١٤/٤)	فنیل آلانین
٠/٦-٥/٠	٤/٣ (١٢/٩)	٥/٢ (٩/٩)	٥/٤ (١٤/٨)	ترئونین
٠/٢-١/١	١/٠ (٢٥/٢)	١/١ (١٤/٤)	١/١ (٢٦/٦)	تریپتوفان
٠/٦-٥/٥	٤/٧ (١١/٨)	٦/٧ (١٦/٧)	٦/٤ (١٧/٦)	والین

٢-٥-٢-٦) نیازهای کمی ماهیان در حال رشد

در این بخش، نیازها بر حسب درصد پروتئین که به معنی گـرم بـر ۱۶ گـرم نیتـروژن اسـت، بیـان خواهنـد شد(جدول C2 ، ضمیمه C).

آرژنین

همانطور که قبلا به آن اشاره شد ، آرژنین جز در برخی گونه ها که چرخه اوره در بدن آنها فعال اسـت، از اسید های آمینه ضروری در ماهیان محسوب می شود. نیاز به این اسـید آمینـه بـین۲ تـا ۶ گـرم بـر ۱۶ گـرم نیتروژن برآورد شده است. تفاوت در گونه های مختلف بین ۲ تا ۶ گرم براساس قابلیت آنها در تولید اوره است ازینرو، احتمالاً شوری و افزایش آمونیاک محیط سنتز اوره را افـزایش مـی دهنـد(بـه منظـور تنظـیم اسمزی).

در پرندگان کوچک و موش ها بین لایزین و آرژنین رابطه آنتاگونیستی وجود دارد بطوریکه افزایش لایزین در بدن، افزایش تجزیه آرژنین و متعاقب آن، افزایش نیازهای آرژنین را به دنبال دارد. چنین رابطه‌ای در قزل آلا یا گربه ماهی کانالی به اثبات نرسیده و تنها تاثیر منفی آرژنین در جذب روده ای لایزین در قزل آلاست.

آرژنین در یک سیر متابولیک توسط آرژیناز به اوره تبدیل می شود. غلظت اوره در پلاسما ارتباط کم و بیش مستقیمی با نوع گونه و ورود آرژنین از طریق غذا دارد. میزان اوره پلاسما برای تعیین نیازهای آرژنین در قزل آلا و باس دریایی به صورت موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است. کریتین یک ترکیب غنی از انرژی است که ATP را در عضله احیا می کند و آرژنین همچنین برای سنتز کریتین نیز مورد استفاده قرار می گیرد. این مولکول در سخت پوستان نسبت به مهره داران از اهمیت زیادی برخوردار است و موجب ترشح انسولین و افزایش ترشح هورمون رشد می شود. آرژنین در سنتز پلی آمین ها نیز شرکت می کند. پلی آمین ها مولکول هایی هستند که در تنظیم رشد دخالت دارند. آرژنین پیش ساز تولید اکسید نیترو است که ترکیب حد واسط مهمی در عملکردهای سلولی و ارتباطات بین آنها می باشد که این نقش اخیرا در مهره داران عالی نیز به اثبات رسیده است. وجود چنین مولکولی با اثرات چند جانبه در پستانداران به اثبات رسیده است اما در ماهی ها بر پایه علم و دانش امروز هنوز تایید نشده است.

لایزین

نیاز به این اسید آمینه بین ۳/۸ تا ۶/۶ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. در مهره داران عالی با در نظر گرفتن اثر بازدارندگی آرژنین بر جذب لایزین، در صورت وجود آرژنین اضافی در جیره، این مقادیر افزایش خواهند یافت. چنین اطلاعاتی در رابطه با ماهی ها در دسترس نمی باشد (نیازهای لایزین در ماهی بررسی نشده است). لایزین به عنوان پیش ساز کارنیتین عمل می کند(فصل۹) ولی این واکنش از طریق پپتیدهای حاصل از کاتابولیسم پروتئین صورت می گیرد نه از لایزین آزاد. کمبود لایزین در ماهیان آب شیرین(قزل آلا و کپور) باعث خوردگی باله دمی می شود، در باس دریایی و خامه ماهی ، علائم کمبود لایزین مشاهده نشده است.

هیستیدین

نیاز به هیستیدین بین ۲/۷ تا ۹ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن متغیر است. همواره غلظت هیستیدین آزاد در عضله بالاست. هسته های ایمیدازول در عضلات به عنوان نوعی بافر عمل می کنند. این اسید آمینه در ساختار سوم پروتئین ها نقش مهمی بر عهده دارد و قادر به اتصال به یون های متابولیک خواهد بود. از اینرو معمولا در بخش های فعال آنزیم جایی که فلزات به عنوان کوآنزیم عمل می کنند، یافت میشود.

ترئونین

نیاز به ترئونین بین ۰/۶ تا ۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. ایجاد گلایزین از ترئونین که بواسطه فعالیت آنزیم آلدولاز ترئونین ایجاد می شود، هنوز در قزل آلا شناسایی نشده است. این در حالی است که ۸۰ درصد اکسیداسیدن ترئونین در خوک توسط این آنزیم انجام می شود اما در سایر مسیرهای متابولیک کاملا مشابه سایر آمینواسیدهاست.

تریپتوفان

میزان احتیاجات به تریپتوفان بین ۰/۲ تا ۱/۱ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن متغیر است. این اسید آمینه پیش ساز هورمون عصبی سروتونین است. در مقایسه با مهره داران عالی ، ماهی قادر به تبدیل تریپتوفان به نیاسین نیست. کمبود تریپتوفان منجر به اسکولیوزیس[1]، لوردوزیس[2] و رسوب غیرعادی کلسیم در کلیه های قزل‌آلا و ماهی آزاد ساکای می شود. علائم ناشی از کمبود تریپتوفان در گربه ماهی یا کپور مشاهده نشده است.

اسیدهای آمینه شاخه دار: ایزولوسین، لوسین و والین

میزان احتیاجات به اسید آمینه ایزولوسین، لوسیون و والین بترتیب ۱/۲ تا ۴/۴ ، ۲/۷ تا ۸/۴ و ۰/۶ تا ۵/۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است.این سه اسید آمینه از لحاظ فرمولی خیلی بهم شبیه هستند و با مکانیسمهای انتقالی رابطه آنتاگونیستی با هم دارند.

---

[1] Scoliosis
[2] Lordosis

اسید آمینه لوسین در غلظت بالا موجب جلوگیری از جذب ایزولوسین در روده یا حتی تسهیل کاتابولیسم آن می شود. مشابه مهره داران عالی، کمبود لوسین در جیره غذایی ماهی آزاد و گربه ماهی باعث افزایش غلظت ایزولوسین و والین در پلاسما می شود. این پدیده با استفاده از اسیدهای آمینه خالص سازی شده به اثبات رسیده در حالیکه در جیره های طبیعی قطعاً میزان قابل توجهی از اسیدهای آمینه به شکل پپتید جذب می‌شوند. در این شرایط، رقابت کم شده و احتمالاً با ورود مقادیر اضافی لوسین از طریق غذا، نیازهای ایزولوسین و لوسین به میزان جزئی افزایش می یابد.

مشابه مهره دارن عالی، در ماهی ها نیز متابولیسم اسیدهای آمینه شاخه دار در عضلات صورت می گیرد. اکسیداسیون لوسین بویژه هنگام شنا یا بعد از تغییرات دمای محیط، در این بافت انجام می شود. فرض بر این است که این اسید آمینه در کنترل سنتز پروتئین در نشخوار کنندگان و حیوانات تک معده ای نقش مهمی بر عهده دارد اما چنین عملکردی در ماهی مشاهده نشده است.

اسیدهای آمینه گوگرددار : متیونین و سیستئین

طبق مقالات موجود، میزان احتیاجات برای متیونین ۱/۳ تا ۳/۶ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. با این وجود، میزان جذب از طریق غذا برای سیستئین و سیستین توسط محققان تعیین نشده است (در مواد حاصل از هیدرولیز فقط سیستین اندازه گیری می شود. سیستین از سیستئین تیره تر بوده و دارای یک پیوند دی سولفید قوی است، بنابراین در جدول فقط به سیستین اشاره شده است). متیونین موجب سنتز سیستئین می شود اما این واکنش برگشت پذیر نیست. تقریبا تمام واکنش ها برگشت پذیرند. به عبارت دیگر، در واقع نیاز به متیونین تنها از طریق متیونین مصرف شده از طریق غذا بر آورده می شود در حالیکه نیاز به سیستئین از طریق هریک از اسیدهای آمینه سولفوره(SAA) تامین می شود. در واقع نیازهای متیونین و نیازهای اسیدهای آمینه سولفوره باید درنظر گرفته شود که برخی محققان آن را «نیازهای متیونین در غیاب سیستین» می نامند. در قزل‌آلا امکان تبدیل متیونین به سیستئین با متوسط بازدهی ۵۰ درصد (بر حسب وزن) برآورد شده در حالیکه این مقدار درگربه ماهی مشابه مقادیری است که در مهره داران عالی اندازه‌گیری شده است.

متیونین منبع گروههای متیل است. این اسید آمینه در مراحل اولیه سنتز پروتئین نقش مهمی بعهده دارد.

بنابراین، متیونین پیش ساز کولین نیز محسوب شده(فصل۹)، همچنین برای سنتز کراتین و پلی آمین ها نیز ضروری است. سیستئین سازنده گلوتاتیون است. گلوتاتیون پپتیدی است که موجود زنده را در مقابل رادیکال های آزاد بویژه رادیکال های حاصل از پراکسید شدن لیپیدها محافظت می کند(فصل۷). کمبود متیونین موجب بروز آب مروارید ناشی از کاهش سنتز گلوتاتیون می شود. بواسطه کربوکسیلاسیون، سیستئین به تورین تبدیل و با اسیدهای صفراوی جفت می شود و از این طریق در هضم و جذب چربی ها شرکت می کند. در آبزیان این اسید آمینه غیرپروتئینی به عنوان عامل تنظیم کننده اسمزی عمل کرده و غلظت آن در پلاسما همراه با شوری افزایش می یابد.

D- متیونین در حالت طبیعی ساخته نمی شود و بر خلاف سایر اسیدهای آمینه ضروری بجز فنیل‌آلانین، لوسین، والین و تریپتوفان در برخی از مهره داران عالی ایزو مرهایی از آن توسط حیوانات تولید می شود. فرم مصنوعی DL همان کار آیی ایزومر L را دارد که به منظور تغذیه حیوانات در مقیاس صنعتی تولید نمی شود. استفاده از فرم D به تنهایی و بدون ایجاد افت در عملکرد ماهی، امکان پذیر نیست. در مقابل، آنالوگ هیدروکسی متیونین(MHA) که یک ترکیب غیر نیتروژنی مصنوعی است، به عنوان پیش ساز متیونین استفاده می شود که ظاهراً کارآیی آن در ماهی به میزان قابل ملاحظه ای کمتر از مهره داران عالی است. بر اثر مصرف متیونین فرم L یا DL، رشد قزل آلا کند می شود. امروزه به منظور صرفه جویی در مصرف اسیدهای آمینه سولفوره در تغذیه، نمی توان سولفور غیر آلی را بیشتر از تورین مورد استفاده قرار داد.

اسیدهای آمینه آروماتیک : فنیل آلانین و تیروزین

میزان نیاز به فنیل آلانین بین ۲ تا ۶/۵ گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن است. بخشی از این تفاوت ها را می توان به سطوح متغیر تیروزین در غذا مربوط دانست. تیروزین یک اسید آمینه نیمه ضروری است که پیش ساز فنیل آلانین محسوب می شود. در صورت وجود تیروزین میزان مصرف فنیل آلانین تا سطح نیازهای مطلق کاهش می یابد و هیدروکسیله شدن آن به میزان جزئی صورت می گیرد. تیروزین موجب صرفه‌جویی در مصرف فنیل آلانین به میزان ۴۰ تا ۶۰ درصد می شود. اسیدهای آمینه آروماتیک موجب افزایش فعالیت هورمون ها (تیروئید و دوپامین) و رنگدانه ها (ملانین) می شوند.

۳-٦ - نیازهای مطلوب

۱-۳-٦) پروتئین کل و اسیدهای آمینه ضروری بر حسب درصد غذا

۱-۱-۳-٦) کل نیازهای پروتئینی و موازنه اسیدهای آمینه ضروری

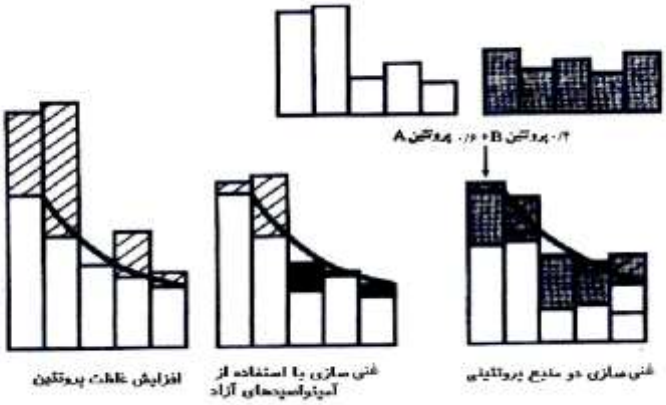
در این روش قدیمی، فرمول غذا عمدتا بر اساس تامین میزان پروتئین کل تنظیم می گردد. علاوه بر این، اسیدهای آمینه ضروری را باید از طریق تطابق با پروفیل اسیدآمینه پروتئین مرجع موازنه نمود یا به منظور تامین کمبود اسیدهای آمینه ضروری از اشکال خالص یا ترکیبی اسیدهای آمینه استفاده کرد (شکل۸-۶).
این روش معایب متعددی دارد :

- نیازهای پروتئینی کل معمولا از طریق آزمایشهایی بدست می آید که در آنها منبع پروتئین دارای ارزش بیولوژیک متفاوتی نسبت به آنچه که برای فرمولاسیون غذا بکار می رود، است. بنابراین، مطابق با منابع پروتئین های موجود فقط می توان برآوردی از نیازها را بدست آورد.
- نحوه بیان میزان اسیدهای آمینه ضروری (گرم بر ۱۶ گرم نیتروژن) در برنامه نویسی خطی که طی آن تغییرات فقط بر حسب مقدار بر کیلوگرم غذا در نظر گرفته می شوند، نامناسب است.

۲-۱-۳-٦) نیازهای اسیدهای آمینه ضروری و غیر ضروری

در مورد برخی از گونه های ماهی که نیاز به هر یک از اسیدهای آمینه ضروری حتی به صورت مختصر شناخته شده باشد، می توان نیازهای اسیدهای آمینه ضروری را مستقیما بر حسب درصد جیره بیان کرد (جدول C2 ، ضمیمه C). از نظر تئوری نیز اشاره به مقدار بهینه اسیدهای آمینه غیرضروری (نیازها در مفهوم کلی آن)، که در سطح جهانی مورد استفاده قرار می گیرند، هنگام فرمولاسیون غذا ضروری است تا از این طریق کل نیازها در جیره غذایی مد نظر قرار گیرد. از نظر کاربردی، هیچگاه تمام اسیدهای آمینه غیرضروری مورد ملاحظه قرار نمی گیرند، ولی این واقعیت را باید در نظر داشت که اگر از سویی پروتئین کل و از سوی دیگر نیاز به هر اسید آمینه ضروری محاسبه شود، اختلاف بین پروتئین کل و مجموع اسیدهای آمینه ضروری برابر با میزان اسیدهای آمینه غیر ضروری می شود.
از لحاظ تئوری، در صورتی می توان در فرمولاسیون غذای آبزیان به همان دقتی که در تامین نیازهای غذایی خوک و طیور وجود دارد، دست یافت که نیازهای اسیدهای آمینه ضروری هر گونه به طریق

مذکور تعیین شوند در حالیکه هنوز تامین نیازها از لحاظ کاربردی تقریبی است و به حدود اطمینان بسیار بالایی نیاز دارد. در رابطه با عدم تامین کل نیازها در ماهی دلایل مختلفی وجود دارد. از سویی، با توجه به تعداد زیاد گونه های پرورشی تنها نیازهای تعداد معدودی از گونه ها مورد بررسی قرار گرفته است گرچه در رابطه با نیازهای تامین شده نیز ابهاماتی وجود دارد. همچنین در زمینه برخی مشخصات جیره بخصوص محتوای انرژی آن اطلاعات کافی وجود ندارد.



شکل ۸- ٦) استفاده از سه روش شامل افزایش غلظت پروتئین، تامین اسید آمینه خالص یا ترکیبی از دو پروتئین به منظور بررسی نیازهای حیوان با استفاده از پروتئینی با ارزش بیولوژیک پایین.
منحنی هذلولی منطبق بر نیازهای ٥ اسید آمینه ضروری می باشد(فقط شامل اسیدهای آمینه ضروری که در این مثال تئوری آمده اند).اولین منبع پروتئینی در اسیدهای آمینه ۳ و ٥ کمبود دارد (به رنگ سفید). قسمت هاشور زده نشان دهنده مقادیر اضافی اسیدهای آمینه ضروری است. میزان ورود اسیدهای آمینه ضروری در شکل خالص، به رنگ سیاه و در شکل ترکیبی با پروفیل کاملا متفاوت، با رنگ خاکستری مشخص شده است.

۲-۳-٦) پروتئین کل، اسیدهای آمینه ضروری و سطح انرژی

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، مطالعه پیرامون سطح انرژی زایی که به معنی محاسبه نسبت های پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم (DP/DE) و اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم (EAA/DE) است با پیشرفت چشمگیری همراه بوده است.

با وجودیکه نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم مدت مدیدی است که در تغذیه پرندگان و خوک سانان استفاده می شود اما هنوز در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار نگرفته و برای تغذیه آنها از شاخص سطح انرژی (DE/Kg) استفاده می شود. این شاخص تنها به عوامل تغذیه ای وابسته نیست و در گونه های خشک زی قبل از اینکه تحت حفاظت زیست محیطی قرار بگیرند بر پایه هزینه انرژی استوار بود. وجود حد کمینه برای سطح انرژی زایی منجر به انتخاب این شاخص در رابطه با تغذیه ماهی شد. در آبزی پروری (به ویژه در مورد آزادماهیان) تلاش هایی در جهت افزایش تاثیر چربی ها و صرفه جویی در مصرف پروتئین صورت گرفته است: نسبت DP/DE با افزایش چربی جیره غذایی کاهش می یابد. از اینرو تلاش در جهت فرمولاسیون غذاهایی که علاوه بر FCR پایین، آلودگی اندکی هم بهمراه داشته باشند، متخصصان تغذیه را به سمت انتخاب غذاهایی با محتوای هر چه بالاتر انرژی و در نتیجه مقادیر هر چه بیشتر چربی سوق می دهد(فصول۴ و۷). در این حالت نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم کاهش می یابد که متعاقب آن بهینه سازی موازنه اسیدهای آمینه ضروری و استفاده از منابع پروتئینی با قابلیت هضم بسیار بالا خواهد بود. نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم در غذاهای با کیفیت بالا و آلودگی ناچیز باید ثابت بماند و در مقابل، نسبت اسیدهای آمینه غیرضروری به انرژی قابل هضم(NEAA/DE) در این غذاها کم شود. همزمان با ورود مقادیر زیاد چربی سهم اسیدهای آمینه غیرضروری در تامین انرژی و منبع کربن کاهش می یابد ولی با این حال، نسبت اسیدهای آمینه ضروری به اسیدهای آمینه غیر ضروری نمی تواند بدون تاثیر در کاهش رشد خیلی از مقدار واقعی خود منحرف شود. این موضوع در رابطه با گونه هایی که استفاده از منابع چربی به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین در تغذیه آنها دشوارتر است (قزل آلا و کفشک) به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. در حال حاضر همچنان استفاده از نسبت اسیدهای آمینه ضروری به انرژی قابل هضم و حتی نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم در فرمولاسیون غذای ماهی ها دشوار است اما به رغم این مسئله، بسیاری از سازندگان غذا طبق این نسبت‌ها عمل می کنند.

۳-۳-٦) سایر رویکردها برای آینده

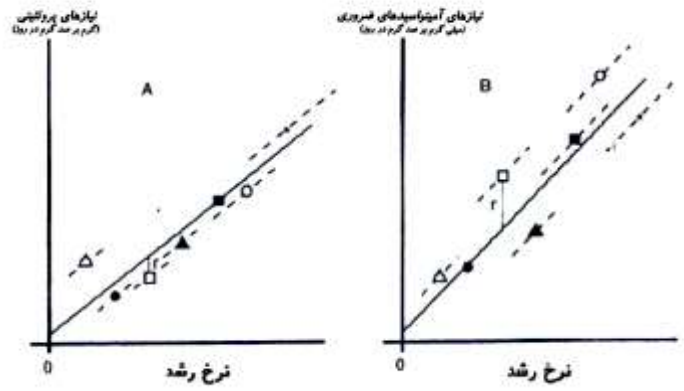
مسائل اشاره شده در قسمت قبل در رابطه با نیازهای نسبی بود در حالیکه نیازهای مطلق از لحاظ علمی از اعتبار بیشتری برخوردارند.

بنابراین، بهترین شیوه برای بیان نیازهای پروتئینی، نسبت پروتئین یا اسیدآمینه ضروری دریافتی به واحد وزن بدن است. بر اساس اطلاعات حاصل از آزمایشهای صورت گرفته پیرامون گونه های مختلف چنین بیان شد که نسبت دریافت پروتئین به واحد وزن بدن در رابطه با نرخ رشد ویژه بیان می شود، بنابراین ارتباط مطلوبی بین نیازهای مشخص شده از طریق این نسبت و نرخ رشد حاصل شده است. (Tacon and Cowey,1985) قابلیت تغییرپذیری نیازهای مطلق گونه ها متناسب با رشد پایین است بنابراین لازم است نمودارها یا جداول مشابهی را ارائه نمود که بیانگر ارتباط بین نیاز مطلق به هر اسید آمینه به نرخ رشد میباشد و این نیازها را بر حسب بیوماس بدست آورد(شکل۹-۶).

فاصله نیاز هرگونه مشخص نسبت به خط رگرسیون در نتیجه ویژگی های بخصوص آن گونه است. گرچه تفاوت های موجود در نیاز چند اسید آمینه ضروری مختلف مشخص شده ولی نمی توان مطمئن بود که این تفاوت ها ناشی از بی‌دقتی یا خطای وسایل اندازه گیری نیست و هنوز این احتمال وجود دارد که باید در قدم اول ارتباط جداگانه ای بین نیازهای مطلق و نرخ رشد در نظر گرفت. از لحاظ کاربردی نیازهای ویژه تنها مربوط به اسیدهای آمینه ضروری است که محدودکننده‌تر و پرهزینه‌تر هستند. در واقع امکان بررسی این مسئله که آیا گونه مشخصی که با جیره غذایی خاص تغذیه شده و رشد آن بطور منظم ثبت گردیده واقعا اسیدهای آمینه ضروری مورد نیاز خود را دریافت نموده است یا خیر، توسط پرورش دهنده فراهم می شود.

بهتر است در صورت امکان جداول و استاندارهای اسید آمینه خام ترکیب غذایی با مطابقت دادن اسیدهای آمینه قابل دسترس جایگزین شود. این روش بویژه در زمینه ارزیابی مطلوب‌تر اسید آمینه‌ای با کیفیت و منشأ چندگانه در دراز مدت و از نظر تئوری مزیت های زیادی بهمراه دارد.

این روش احتیاج به پاره ای اصلاحات داشته و پیش از انجام آزمون های مکرر ابتدا باید روش کار در مورد مواد اولیه با اهداف اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد، بنحوی که قابل اعتماد و سریع بوده و جهت انجام در خصوص گونه های تحت آزمایش در شرایط مختلف محیطی تایید نشود.



شکل ۹-٦) A : رابطه بین نیازها(برحسب مقادیر روزانه به ازاء هر ۱۰۰ گرم بیوماس) و نرخ رشد کلیه پروتئینها B : رابطه بین نیازها و نرخ رشد یک اسید آمینه ضروری مشخص

منحنی A براساس یافته های (Tacon and Cowey , 1985) **، نشان دهنده تناسب بسیار بالای بین دو متغیر است و هر علامت بیانگر یک گونه مشخص است. این منحنی برآورد اولیه‌ای از نیازها (نسبت پروتئین) را نسبت به ماهیانی فراهم میکند که سرعت رشد آنها به طور منظم ثبت می شود . منحنی B نشان می دهد که یک گونه ممکن است نیاز ویژه ای به اسید آمینه ای خاص داشته باشد. r نشاندهنده میانگین گونه هایی است که نیاز کمتری به پروتئین دارند اما از نیاز بالایی به اسیدهای آمینه برخوردارند که این مسئله باید در نرخ رشد آنها در نظر گرفته شود و با مربع سفید مشخص شده است.**

٤-٦ - خلاصه

گرچه سطح بهینه پروتئین در ماهی بالاست اما نباید چنین تصور کرد که ماهی نسبت به سایر حیوانات به پروتئین بیشتری نیاز دارد. زمانی که نیازهای مطلق مورد آزمایش قرار گیرند این تصور ارزش خود را از دست می دهد. ماهی دارای برخی ویژگی های متابولیک است (بخصوص در رابطه با تغییر و تحول پروتئین، سرنوشت اسید آمینه ای که از طریق کاتابولیسم یا غذا بوجود می آید و حتی نحوه دفع مواد نیتروژنی) اما ظاهراً تاثیر آنها در نیازهای اسیدهای آمینه ضروری چندان قابل توجه نیست.

ارزیابی این اثرات زمانی دشوار تر خواهد بود که در تعیین نیازها ابهام وجود داشته باشد. بهتر است در کوتاه‌مدت شیوه ای ارائه گردد که انرژی غذا و میزان ورود هر اسید آمینه ضروری (یا اسیدهای آمینه ضروری با بیشترین اهمیت) را بر حسب واحد وزن بدن محاسبه کند. در آینده نیز محاسبه قابلیت دسترسی به اسیدهای آمینه ضروری است.

«فصل ۷»

چربی‌ها

تری آسیل گلیسرولها (TAG) یا تری گلیسریدها و فسفولیپیدها (PL) مهمترین گروه از چربیها در تغذیه حیوانات هستند. تری آسیل گلیسرولها شامل تری استرهای گلیسرول و سه اسید چرب (FA) می شوند در حالیکه فسفولیپیدها حاوی استرهای دو اسید چرب و یک اسید فسفریک بوده که بوسیله یک دی استر به الکل دیگری (معمولا اتانول آمین، کولین، سرین یا اینوزیتول) متصل است. موم ها از دسته چربیها شامل استرهای یک اسید چرب و یک الکل بوده که در محیط زیست دریایی بوفور یافت می شوند. در محیط آبی استرول های آزاد یا استری شده نیز حضور داشته و نقش ویژه ای را در تغذیه سخت پوستان ایفا می کنند.

نقش چربی در تغذیه ماهی همانند پستانداران در درجه اول ، تامین نیاز های اسید های چرب ضروری (EFA) است و چون توسط ماهی ساخته نمی شود، بسیار حیاتی است. چربیها در متابولیسم سلولی (برای ساخت پروستاگلاندین ها و سایر ترکیبات مشابه)، حفظ انسجام ساختار غشاء (به علت سیال بودن و خاصیت انعطاف پذیری این ترکیبات) و نیز به عنوان ناقل در جذب ویتامین های محلول در چربی و رنگدانه های کاروتنوئید از دیواره روده نقش مهمی دارند (فصل ۹ و ۱۱). چربی ها در تامین انرژی نیز نقش اساسی دارند ولی این عملکرد در ماهی ها به دلیل قابلیت هضم کم هیدراتهای کربن پیچیده، بارزتر است(فصل ۸).

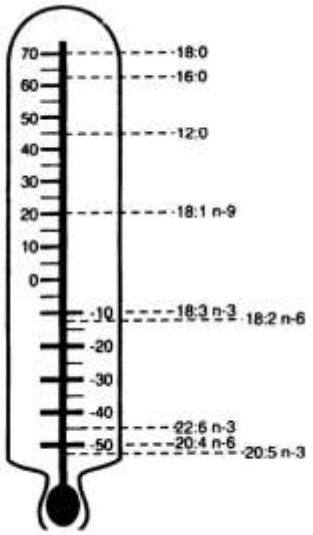
امروزه مراحل اصلی متابولیسم چربی در ماهی ها شناخته شده است و پرواضح است که شباهت زیادی با پستانداران دارند، اما منابع غذائی حاوی چربی در ماهی ها از بسیاری جهات متفاوت از مهره داران عالی

است. محیط زیست آبزیان بواسطه غنی بودن از نظر اسید چرب غیر اشباع (PUFA) و بویژه اسید های چرب غیر اشباع زنجیره طولانی (۲۰ اتم کربن یا بیشتر) یا اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع (HUFA) از سایر محیطها قابل تمایزند. ماهی بر خلاف مهره‌داران عالی خشک زی، به اسید های چرب غیر اشباع سری ۳ − n نیاز بیشتری دارد. به منظور بهبود در تولید محصول همراه با حفظ محیط زیست ، مطالعات زیادی در مورد نیاز های کمّی چربی جیره غذائی ماهی صورت گرفته است. کیفیت محصول نیز که به شکلی قابل توجه تحت‌تاثیرچربی جیره است، بعد ها مورد توجه قرار گرفت.

در این فصل پیش از تشریح مراحل اصلی متابولیسم چربی در ماهی، در رابطه با نیاز به اسیدهای چرب ضروری و نقش چربی ها در تامین انرژی و به دنبال آن اثرات چربی های جیره غذایی بر ترکیب بدن و کیفیت محصول توضیح داده می شود.

۱-۷ - قابلیت هضم پذیری

چربیها معمولا به طور کامل هضم می شوند، مگر زمانی که در دمای مناسب برای زیست ماهی به علت نقطه ذوب بالا، این ترکیبات به صورت جامد باقی بمانند (فصل ۴). بنابراین هیدروژنه کردن روغن ها، اگر چه مقاو مت آنها را در مقابل اکسیداسیون بهبود می بخشد، ولی قابلیت هضم آنها را کاهش می دهد. همان طور که در شکل ۱-۷ نشان داده شده است، نقطه ذوب تری آسیل گلیسیرید عمدتا به نقطه ذوب اسیدهای چرب تشکیل دهنده آن بستگی دارد. اسیدهای چرب غیراشباع بخوبی هضم می شوند. در آزاد ماهی اطلس، ضریب هضم پذیری ظاهری چربی زمانیکه به شکل تری آسیل گلیسرول ها یا اسیدهای چرب آزاد هستند، ۹۰ تا ۹۸ است. میزان هضم اسید های چرب اشباع، کمتر بوده و بسته به طول زنجیره کربن از ۷۰ درصد برای مریستات (۰: ۱۴) تا ۵۰ درصد برای استئارات (۰ : ۱۸) کاهش می یابد (به کادر ۱- ۷ مراجعه شود). نتایج مشابهی در مورد سایر گونه ها نظیر قزل آلا و کپور حاصل شده است.



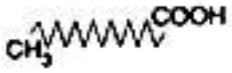
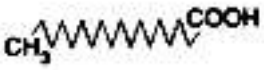
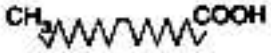
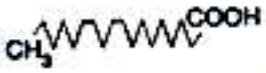
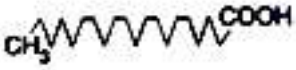
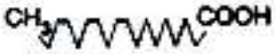
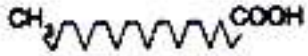
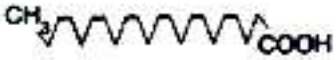
شکل ۱-۷) مقایسه نقطه ذوب برخی اسیدهای چرب

در رابطه با اختلاف قابلیت هضم چربیها در بین گونه ها مطالعات کمی صورت گرفته است. اما نتایج نشان داده که استفاده از غذای حاوی بیش از ۱۵ درصد چربی جهت تغذیه ماهی کفشک، باعث کاهش قابلیت هضم ظاهری و نرخ رشد می شود درحالیکه جیره حاوی بیش از ۳۰ درصد چربی، بازدهی مطلوب هضم آن را در مورد قزل آلا یا آزاد ماهی اطلس درپی‌دارد.

کادر ۱-۷) اسیدهای چرب مهم موجود در چربی های ماهی

در مطالعات قدیمی اصطلاح ˚n-a ˚ یا امگا (ωa)، تعداد پیوند های دوگانه و موقعیت نزدیکترین پیوند به گروه متیل انتهایی را نشان می دهد.

بدین ترتیب، از نظر متخصصان تغذیه، واژه اختصاری لینولئیک اسید به صورت (۶ – n) ۲ : C۱۸ یا ۶–n ۲ : ۱۸ (در گذشته ω6 ۲: ۱۸)، این اسید دارای ۱۸ اتم کربن و دو پیوند دوگانه بوده که اولین پیوند بین کربن ۶ و ۷ از سمت گروه متیل قرار دارد . توجه به این نکته ضروری است که زیست بیوشیمیست ها موقعیت پیوند های دوگانه را مشخص می کنند و علائم اختصاری بیوشیمی به صورت ۱۲ و Δ9 ، ۲ : ۱۸ خواهد بود.

نامگذاری		فرمول	سری
نام علمی یا رایج	اختصار		
پالمیتیک اسید (palmitic acid)	16:0		اشباع شده
استئاریک اسید (stearic acid)	18:0		
اولئیک اسید (oleic acid)	18:1(n-9)		(n-9)
لینولئیک اسید (linoleic acid)	18:2(n-6)		(n-6)
آراشیدونیک اسید (arachidonic acid)	20:4(n-6)		
لینولنیک اسید (linolenic acid)	18:3(n-3)		(n-3)
ایکوزاپنتانوئیک اسید (eicosapentanoic acid (EPA))	20:5(n-3)		
دیکوزاهگزانوئیک (docosahexanoic acid (DHA))	22:6(n-3)		

۱- ۱- ۷) انتقال

اسید های چرب جذب شده مجدداً در انتروسیت استری شده و به تری آسیل گلیسیریدها و فسفولیپیدها تبدیل می شوند. در انتروسیت ذرات بزرگ چربی وجود دارند که به چربی های گسترده[1] معروفند و از اشکال ذخیره موقت چربی ها در ماهی ها محسوب می شوند. چربی هایی که مجددا در ماهی ها سنتز می‌شوند، به داخل ذرات لیپوپروتئینی مشابه کیلومیکرونهای پستانداران و با چگالی بسیار پایین (VLPL) گنجانده می شوند. اندازه این ذرات به ماهیت چربی جیره غذایی بستگی دارد. ظهورکیلومیکرونها که عمدتا شامل تری آسیل گلیسرول ها (۸۰ درصد) است ۲ تا ۴ ساعت پس از یک وعده غذایی در قزل آلا مشاهده شده است. انتقال لیپوپروتئین ها به کبد بیشتر از طریق سیستم لنفاوی صورت می گیرد، اما در برخی گونه ها (نظیر کپور و قزل آلا) انتقال از طریق سیستم ورودی کبد نیز انجام می شود. اسید چرب جذب شده از طریق سیستم گردش خون نیز به صورت اتصال با آلبومین منتقل می شود که ظاهراً این حالت در موارد خاصی رخ میدهد از جمله هنگام تغذیه مجدد پس از گرسنگی و زمانی که غلظت گلیسرول خون پایین است. چربی های منتقل شده به کبد و نیز چربی هایی که مجدداً سنتز می شوند با پروتئین های خاص، آپوپروتئین ها[2] و کلسترول های آزاد ترکیب شده و به شکل لیپوپروتئینهای جدید، استر می شوند. در ماهی ها نیز همانند پستانداران، انتقال چربی از کبد به سایر بافت ها بوسیله سه دسته از لیپوپروتئینهای پلاسما شامل VLDL (لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی)، LDL (لیپوپروتئینهای کم چگالی) و HDL (لیپوپروتئینهای پر چگالی) صورت می گیرد. ساختار و ماهیت آپوپروتئین ها در ماهی ها و نیز ترکیب چربی این دسته از لیپوپروتئین ها مشابه پستانداران است. حضور آپوپروتئین هایی مشابه با آپوپروتئین های A در لیپوپروتئین های پرچگالی و B در لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی به اثبات رسیده است. این در حالی است که لیپوپروتئین های ماهی درصد خیلی بالاتری از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع را شامل می شوند. در بسیاری از گونه ها (نظیر کپور، کفشک و غیره)، لیپوپروتئین های اصلی را لیپوپروتئین های پرچگالی تشکیل می دهند از سویی، پروفیل این لیپوپروتئین ها با توجه به عادات و نحوه زندگی، گونه، سن، شرایط تغذیه ای و وضعیت چرخه تولید مثلی، متغیر است.

---

[1] Spread-out
[2] Apoprotein

به این ترتیب که در قزل‌آلای بالغ از نظر جنسی، لیپوپروتئین های پرچگالی بیشترین فراوانی را دارند (بیش از ۸۰ درصد لیپوپروتئین ها) ، این در حالی است که میزان لیپوپروتئین های کم چگالی فقط ۱۰ درصد و لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی به مقدار کمتر می رسد. بخش کوچکی از چربی ها (۵ تا ۱۰ درصد) به شکل اسیدهای چرب آزاد یا به صورت پیوند ساده با آلبومین حمل می شوند. در اکثر ماهیها، غلظت چربی پلاسما بسیار بالاست(۱/۸۵ تا ۲/۴ گرم به ازای ۱۰۰ میلی لیتر در آزاد ماهیان).

این لیپوپروتئین ها در دستگاه گردش خون در معرض هجوم آنزیم های مختلف قرار دارند، از جمله این آنزیم ها لیپوپروتئین لیپاز است که حضور آن در پلاسما و در بافت های مختلف قزل آلا (کبد، عضله قلب، تخمدان ها، بافت چربی) به اثبات رسیده است.

آنزیم لیپاز مقاوم در برابر نمک، مشابه لیپاز کبدی در پستانداران است که البته در بافت های غیر کبدی نیز وجود دارد مانند انتقال دهنده آسیل- کلسترول –لایزین که فعالیت بالایی در پلاسما دارد. فعالیت این آنزیم ها منجر به تبدیلات داخل عروقی لیپوپروتئین ها می شود. گلیکومیکرون لیپوپروتئین های بسیار کم چگالی و تری اسید گلیسیرید ها هیدرولیز شده و اسیدهای چرب آزاد در داخل بافت ذخیره می شوند یا برای تولید انرژی مورد استفاده قرار می گیرند. هیدرولیز تری اسید گلیسرید ها همراه با تغییراتی در ترکیب آپوپروتئین ها بتدریج موجب تشکیل لیپوپروتئین های کم چگالی می شود. تبادل مواد سطحی (فسفولیپید، کلسترول و آپوپروتئین ها) بین لیپوپروتئین های کم چگالی و لیپوپروتئین های پرچگالی، همچنین غنی سازی لیپوپروتئین های پرچگالی با استرهای کلستروله، مشاهده شده است. به این ترتیب، فرآیند تبدیل وکاتابولیسم لیپوپروتئین ها در ماهی بسیار مشابه پستانداران است.

وتیلوژنین، دسته دیگری از لیپوپروتئین هاست که طی دوران بلوغ در ماهیان ماده وجود دارد. این ماده یک لیپوپروتئین بسیار پرچگالی است که توسط کبد ساخته شده و طی مراحل اولیه اووژنز به تخمدان منتقل می شود. وتیلوژنین از ۸۰ درصد پروتئین و ۲۰ درصد لیپید (عمدتا لیپوپروتئینها) ساخته شده و مستقیما در انتقال چربی های جیره دخالت ندارد.

۲-۱-۷) ذخیره سازی

فسفولیپیدها در غشا سلولی اندامک های سلولی تجمع می یابند و بخش ثابتی از بافت ها و بیوماس را تشکیل می دهند. معمولا چربی های ذخیره شده از نوع تری اسید گلیسریدها و گاهی موم ها هستند.

در بافت ها این چربی ها مجدداً از اسیدهای چربی ساخته میشوند که بواسطه فعالیت آنزیم لیپاز آزاد شده‌اند. در پستانداران، چربی معمولا در بافت های تخصص یافته یا بافت چربی ذخیره می شود در حالیکه در ماهی ها چربی در چندین بافت نظیر کبد ، بافت چربی احشایی و عضله یا حتی در بافت زیرپوستی ذخیره می شود. چربی ها در عضلات سفید به صورت اشکال کوچکی از بافت چربی در اطراف میومرها ذخیره می شوند، اما در عضلات قرمز، در داخل فیبرها نیز تجمع می یابند. تعیین محلهای ذخیره چربی بر حسب گونه ها و عملکردشان بسیار متغیر بوده و به صورت شاخصی برای تمایز بین دسته های مختلف ماهی ها بکار می رود. به این ترتیب، ماهیان روغنی نظیر هرینگ و ماکرل با محتوای چربی عضله بیش از ۱۰ درصد، از ماهیان سفید نظیر کاد با محتوای چربی کمتر از ۲ درصد و ذخیره قسمت اعظم چربی در کبد، متمایز می گردند (جدول ۱-۷). مابین این دو دسته، ماهیان حدواسط نظیر آزادماهیان هستند که چربی ها را در عضله (در سطوح ۲/۵ تا ۶ درصد) و در نقاط دیگری نظیر بافت چربی احشایی ذخیره می کنند. محتوای چربی ماهی با توجه به سن و وضعیت فیزیولوژیک آن تغییر می کند و بطورکلی، با افزایش سن و اندازه حیوان افزایش می یابد در حالیکه محتوای پروتئین به میزان کمی کاهش می یابد. ماهیان وحشی اقلیم های سرد یا معتدل، با تغییر فصل محتوای چربی به شکل قابل توجهی در نوسان است. احتمالاً عوامل متعدد دیگری (ژنتیکی، تغذیه ای، ترشح غدد درون ریز و زیست محیطی) مقدار ذخیره چربی را تحت تاثیر قرار می دهند که از بین این عوامل، عوامل تغذیه ای یا رژیم غذایی مهمترین نقش را بر عهده دارند. در مجموع، ماهیان پرورشی چاق تر از همجنس‌های وحشی خود هستند. هرچند،درصورت کنترل غذادهی از لحاظ کیفی وکمی،این اختلاف کمتر مشهود خواهد بود.

علاوه بر تفاوت در محل تجمع چربی ها در ماهی و مهره داران عالی خشک زی، بین ترکیب چربی آنها نیز از لحاظ فسفولیپیدهای غشایی یا انتقالی و از نظر ذخائر چربی های خنثی (تری‌آسیل گلیسیرول ها و موم ها) تفاوت قابل توجهی وجود دارد. چربی پستانداران و پرندگان عمدتا از اسیدهای چرب اشباع یا دارای یک پیوند غیر اشباع تشکیل شده اما ماهی همواره دارای درصد بالایی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع است. در ماهی ها بخصوص گونه های سردآبی، اسیدهای چرب سری ۳- n فراوان ترند و همانگونه که در مقدمه به آن اشاره شد، این پدیده مربوط به حفظ ویژگی انعطاف پذیری غشاء در دماهای پایین است.

جدول ۱-۷) محتوای چربی عضله و کبد گونه های مختلف (بر حسب درصد وزن تر)
(Coway & Sargent,1972,Henderson & Tocher,1987)

گونه	عضله	کبد
هاداک	۰/۳	۵۰-۷۵
کاد	۰/٤	۵۰-۷۵
ماهی تن	٤	٤-۲۸
هالیبوت	۵	٤-۲۸
آیو	۱-۵/٤	۳-۹
ماهی آزاد اقیانوس اطلس	٤-۱۰	۱۰
آزاد کوهو	۲/۵-٤/٦	٤-٦
قزل آلا	۲/۵-۵/۷	۳/۵-٦
کپور	۱/۵-۱۲/۵	٤/۸-۸/۸
ماکرل	۱۳	۸
هرینگ	۱۱	۲
مارماهی	۲۲	-

۳-۱-۷) استفاده از ذخائر چربی

در پستانداران چگونگی استفاده از چربی ها به هورمون وابسته به لیپاز تری آسیل گلیسیرول بستگی داردکه تری آسیل گلیسیرول را هیدرولیز می کند. پس از هیدرولیز، اسیدهای چرب آزاد موجود در دستگاه گردش خون عمدتا در میتوکندری و پراکسی زوم ها اکسید شده و منجر به تولید انرژی از طریق بتا اکسیداسیون می گردند(فصل ۵). اطلاعات مربوط به استفاده از چربی در ماهی ناقص بوده و مورد بحث و اختلاف نظر است. هرچند حضور لیپاز تری آسیل گلیسیرول در کبد و بافت چربی قزل آلا به روشنی ثابت نشده است. این آنزیم در سیتوزول بوده و pH مناسب برای فعالیت آن ۶/۵ تا ۷/۵ است که مشابه pH مطلوب برای لیپاز موجود در پستانداران است. مطالعات اخیر نشان داده که این آنزیم از طریق فرآیند فسفوریلاسیون وابسته به AMP حلقه ای، فعال می شود. اطلاعات مربوط به تنظیم هورمونی این آنزیم محدود بوده و با توجه به بافت موردمطالعه، متفاوت است.

بنابراین ، ظاهراً لیپاز تری آسیل گلیسیرول کبدی بوسیله گلیکاگون و کتکولامین ها تحریک می شود، اما در رابطه با لیپاز تری آسیل گلیسیرول موجود در بافت چربی (در صورت وجود) جز فعالیت هورمون تیروئید، تاثیر هورمونی آشکاری در آن وجود ندارد. یک لیپاز اسیدی (pH مناسب بین ۴ تا ۴/۵) در لیزوزوم عضلات قرمز قزل آلا یافت شده که عملکرد آن هنوز شناخته شده نیست اما این آنزیم می تواند در زمینه تجزیه چربی های مرده درون سلولی فعالیت کند.

در چرخه های بیولوژیک ماهی، مراحلی نظیر دوره های گرسنگی در فصل زمستان و مرحله توسعه گنادی قابل مشاهده‌اند که طی آنها چربی های ذخیره شده به میزان زیادی مورد استفاده قرار می گیرند. در گونه های آنادروموس، بلوغ گنادها، هنگام مهاجرت و طی دوره گرسنگی رخ می دهد. در تمامی موارد، ابتدا تری آسیل گلیسیرول های تجمع یافته در محل های ذخیره (ابتدا از ذخیره امعاء و احشاء و سپس عضلات) برای تامین انرژی (در حالت گرسنگی و مهاجرت) و تشکیل گنادها مورد استفاده قرار می گیرند. مطالعات مختلف نشان دهنده اهمیت ذخائر چربی به منظور تولید مثل است بنابراین، در قزل‌آلا وجود یک دوره اجباری گرسنگی قبل از توسعه گنادی منجر به کاهش باروری شده که در نتیجه فقدان ذخائر کافی چربی هنگام توسعه گنادها (تولید تخم) می باشد.

۲-۷ - نیازهای اسید های چرب ضروری

۱-۲-۷) سنتز داخلی و تبدیل زیستی اسیدهای چرب

سنتز اسیدهای چرب در ماهی ها عمدتا توسط کمپلکس سازنده اسید چرب در کبد صورت می گیرد. این کمپلکس آنزیمی شباهت زیادی (از نظر توده مولکولی و خصوصیات حرکتی) با پستانداران دارد. از جمله اسیدهای چرب مهمی که ساخته می شوند شامل پالمیتات (۰ : ۱۶)، استئارات (۰ : ۱۸) و میریستات (۰ : ۱۴) می باشند که با توجه به نوع گونه با نسبت های متفاوتی وجود دارند. برای مثال در قزل آلا، اسید چرب غالب پالمیتات (۰ : ۱۶) (به مقدار ۵۷ درصد) و پس از آن میریستات (۰ : ۱۴) (به مقدار ۲۹ درصد) است ، اما در کپور این دو اسید چرب به نسبتهای مشابه (به ترتیب ۴۱٪ و۳۷ ٪) ساخته می شوند. در مقابل، در گونه های مختلف دریایی نظیر ماهی پهن و کفشک، سنتز پالمیتات (۰: ۱۶) و استئارات (۰ : ۱۸) بیشتر ساخته می شوند.

ماهـی ها نیز همچون سایر مهره داران قادر به ساخت لینولئیک اسید (۲ : ۱۸ و ۶- n) یا لینولنیک اسیـد (۳ : ۱۸ و ۳- n) نمی باشند و این دو اسید چرب غیر اشباع یا مشتقات آنها با زنجیره طولانی (اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع) را باید در غذای ماهی گنجاند. از اینرو، این اسیدهای چرب جزء اسیدهای چرب ضروری محسوب می شوند.

اسیدهای چرب سنتز شده یا آن دسته از اسیدهای چربی که از طریق غذا تامین می شوند، قابل تبدیل به برخی اسیدهای چرب با زنجیره طولانی تر یا دارای پیوند های غیر اشباع بیشتر هستند(تبدیل زیستی). اسیدهای چرب تک غیر اشباع (پالمتیک اسید ۷- n و ۱: ۱۶ و اولئیک اسید ۹- n و ۱: ۱۸) به واسطه فعالیت غیر اشباع کننده Δ9 از اسیدهای چرب اشباع معادل ساخته می شوند. تبدیل زیستی اسیدهای چرب چند غیر اشباع به صورت افزایش طول(افزایش دو کربن) و غیراشباع کردن(افزایش یک پیوند دوگانه) است که به طور متوالی بوسیله غیراشباع کننده های Δ6، Δ5 و احتمالا Δ4 صورت می گیرد (شکل ۲-۷) . روش های غیراشباع کردن و طویل نمودن زنجیره اسیدهای چرب در ماهی کاملا شناسایی نشده است. از سویی، غیراشباع‌کننده ها نیز مانند سایر آنزیم های درگیر در متابولیسم چربی، خیلی اختصاصی نیستند. این آنزیم ها با اسیدهای چربی که از سری های ۳- n به سری های ۹- n کاهش می‌یابند، میل ترکیبی دارند. بنابراین، ترکیبات ترجیحی برای غیراشباع کننده ها بترتیب اولویت به صورت Δ6 : ۹- n ۱ : ۱۸ > ۶- n ۱ : ۱۸ > ۳- n ۳ : ۱۸ می باشد. علاوه براین، اسیدهای چرب چند غیر اشباع نظیر ۳-n ۶ : ۲۲ فرآیند بازدارنده ای را به منظور عقب راندن غیراشباع کننده Δ6 اعمال میکنند. اسیدهای چرب چند غیراشباع ۹-n که حتی در ماهیان آب شیرین بندرت یافت می شود، فقط هنگام کمبود اسیدهای چرب ۶- n ، ۲: ۱۸ و ۳- n ، ۳ : ۱۸ حضور دارند. این وضعیت بیانگر کمبود اسیدهای چرب بوده و به عنوان شاخصی برای تعیین کمبود آنها بکار می‌رود. همانطور که در موش اثبات شده، غیر اشباع کننده Δ4 احتمالا یک آنزیم حقیقی نبوده بلکه گروهی از آنزیم ها شامل غیراشباع کننده Δ6 و آنزیم های طویل یا کوتاه کننده زنجیره است. این کمپلکس امکان تبدیل ۳- n ، ۵ : ۲۲ به ۳- n ، ۶ : ۲۲ را از طریق ۳- n ، ۶ : ۲۲ فراهم می کند.

در بین گونه ها، اختلافات زیادی از نظر قابلیت آنها در تبدیل اسیدهای چرب C۱۸ به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع وجود دارد، بنحویکه این قابلیت در ماهیان آب شیرین بالا بوده و در ماهیان دریایی پایین است. در مورد قابلیت تبدیل زیستی ۳- n ، ۳ : ۱۸ ارائه شده در جدول ۲-۷ ، قزل آلا به عنوان مرجع در

نظر گرفته شده و سایر قابلیت ها نسبت به قابلیت این گونـه (۱۰۰) بیـان شـده اسـت. نـاتوانی نسـبی ماهیـان دریایی در تبدیل اسیدهای چرب C ۱۸ ناشی از فقدان یا پایین بـودن سـطوح فعالیـت برخـی آنـزیم هـای درگیر در این واکنش ها بویژه غیراشباع‌کننده‌های Δ4 و Δ5 است. این اختلافات بین گونه‌ای منجر به بروز تفاوت های زیادی در نیازهای اسیدهای چرب ضروری می گردد.

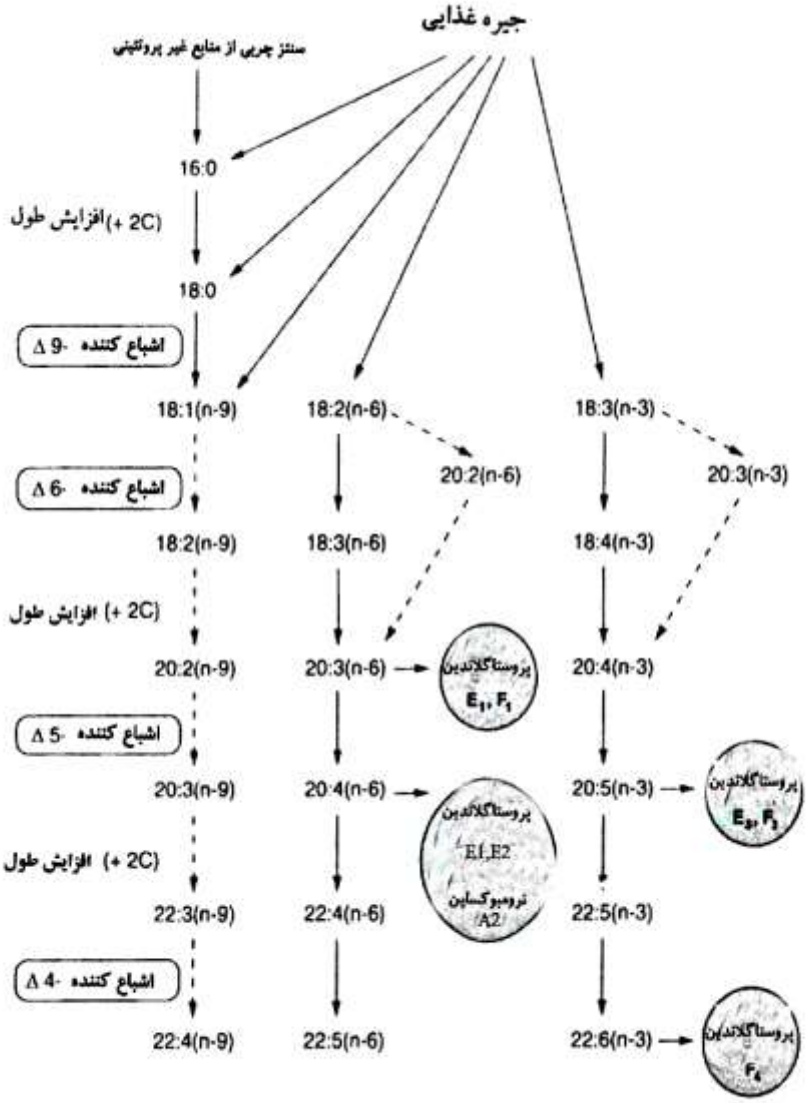
۲-۲-۷) اسیدهای چرب ضروری

۱-۲-۲-۷) نقش اسیدهای چرب ضروری

بنا به سه دلیل عمده اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز موجودات زنده هستند :

ـ نقش اصلی اسیدهای چرب ضـروری ، نقـش سـاختاری آنهاسـت.این گـروه از مـواد مغـذی از دسـته فسفولیپیدها بوده و سازنده اصلی غشاء های سلولی و لیپوپروتئین های ناقل می باشند. ترکیـب فسـفولیپیدها کمتر تغییر می کند، اما ثبات آنها به اندازه اسیدهای موجود در سـاختار پـروتئین هـا نیسـت. از اینـرو، بـر خلاف کمبود اسیدهای‌آمینه ضروری، کمبود اسیدهای چرب ضروری موجب توقـف سـنتز بافـت نشـده، اما باعث بهم‌ریختگی تری آسیل گلیسیرولها و سپس فسفولیپیدها می شود.

ـ اسیدهای چرب ضروری به عنوان ماده ای برای سنتز کل مولکول هایی با خصوصیت هورمـونی نظیـر پروستاگلندین ها و ترکیبات مشابه نظیر لوکوترین ها و ترومبوکسانها عمل می کنند. این ترکیبـات امکـان اتصال بین هورمون ها و جایگاههای سـلولی را فـراهم میکننـد کـه واکـنش هـای تنظـیم شـده توسـط ایـن هورمون ها در آن صورت می گیردو نیز وظایف متعـددی بـر عهـده داشـته و در سیسـتم عصـبی، دسـتگاه گردش خون، دستگاه گوارش، اندام های تولید مثلی، کلیه و غیره تاثیر مـی گذارنـد. بـارزترین نقـش ایـن ترکیبات در ماهی، دخالت در تولیـد مثـل (از طریـق القـاء تخمـک گـذاری)، دفـع مـواد زائـد از کلیـه و آبششها و تنظیم اسمزی است. پروستاگلاندین های اصلی شامل PG1, PG2 هستند که از اسیدهای چـرب ۶- n مشتق می شوند، البته پروستاگلندین های دیگری نیز وجود دارند که از اسیدهای چرب ۳- n حاصـل می‌شوند (شکل ۲-۷). این پروستاگلندین ها اغلب اثرات متفاوتی داشـته و سـنتز آنهـا تحـت تـاثیر تعـادل مواد انرژی زاست. مقدار اسیدهای چرب ضروری که توسط موجود زنده به منظـور سـنتز پروسـتاگلاندین متابولیسم می شود در مقایسه با اسیدهای چرب ضروری موجود در ساختمان فسفولیپیدها، پایین است.



شکل ۲-۷) نمایی از مسیر های اصلی تبدیل زیستی اسیدهای چرب و پروستوگلندین ها
(Bell *et al.*,1986). ـــــ : مسیرهای اصلی ، - - - - مسیرهای فرعی (تبدیل زیستی اسیدهای چرب سری ۹- n در ماهیان آب شیرین انجام میشود که اسیدهای چرب در آنها به اندازه کافی وجود ندارد)

جدول ۲-۷) قابلیت تبدیل زیستی ۳- n ۳ : ۱۸ (Kanazawa *et al*.,1979)

قابلیت نسبی تبدیل زیستی	گونه ها
۱۰۰	قزل آلا
۳٦	آیو
۲۰	مارماهی
۱۵	سیم دریایی سرطلایی
۱۳	ماهی بادکنکی ژاپنی
۷	ماهی قرمز

ـ نقش سوم اسیدهای چرب ضروری که بتازگی اما به صورت ناقص کشف شده، نقش پیام‌بر ثانویه است که حداقل توسط یک اسید چرب ضروری یعنی اسید آراشیدونیک (۶- n،۴ : C۲۰) انجام می شود. این اسید چرب در حالت آزاد به عنوان یک واسطه بر کیناز های پروتئین و دوآنزیم تنظیم کننده سنتز و تجزیه AMP حلقوی، عمل کرده و از این طریق در تنظیم تکثیر پیچیده سلولی شرکت می کند.

۲-۲-۲-۷) اسیدهای چرب ضروری در ماهی

بر اساس یک طبقه بندی در سال های اخیر، اسیدهای چرب ضروری در پستانداران متعلق به سری ۶- n بوده در حالیکه در ماهی به سری ۳- n تعلق دارند. با در نظر گرفتن وظایف چندگانه اسیدهای چرب ضروری شرح داده شده در بالا، این ادعا قابل قبول نبوده و مسلماً این دو دسته از اسیدهای چرب برای ماهی و پستانداران ضروری هستند و تفاوت اساسی بین این دو رده از مهره‌داران تنها از نظر اختلاف در مقادیر مورد نیاز است. مقادیر مورد نیاز اسیدهای چرب ۶- n در پستانداران بیش از نیاز به ۳- n است. اما در ماهی، بخصوص ماهیان سردآبی که به لحاظ بافت‌های غنی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n معروفند، عکس این حالت صادق است. در مورد ماهیان گرمابی مقدار نیاز به اسیدهای چرب ضروری نسبت به این دوسری مشابه بوده و ممکن است نیاز به سری ۶- n اندکی بیشتر باشد(جدول۳.C،ضمیمه C).

ماهی ها از نظر قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع در دو گروه تقسیم بندی می شوند:

ـ آن دسته از ماهیان آب شیرین که قابلیت آنها مشابه پستانداران بوده و دو اسید چرب C۱۸ (لینولئیک و لینولنیک) تنها اسیدهای چرب ضروری هستند که حقیقتاً برای این دسته از حیوانات ضروری اند.

ـ ماهیان دریایی که نرخ تبدیل زیستی در آنها بسیار پایین بوده و اسیدهای چرب واقعا ضروری شامل اسیدهای چرب بسیار غیراشباع نظیر ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA یا ۶- n ۲۰:۵) ، دیکوزاهگزانوئیک (DHA یا ۳- n ۶ : ۲۲) و آراشیدودنیک (۶- n ۴ : ۲۰) می باشند.

این طبقه بندی صرفا بر پایه مطالعه چند گونه محدود بوده و بدون شک با اشکالاتی همراه است، زیرا مطالعات اخیر مشخص نموده که قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ در اردک ماهی که یک گونه آب شیرین است نزدیک به ماهیان دریایی است. شایان ذکر است که نیاز به یک اسید چرب بسیار غیراشباع دلیل بر از بین رفتن تمامی نقش های اسیدهای چرب C۱۸ سری های مشابه نیست. حداقل در گونه ای نظیر کفشک، لینولئیک اسید حالت ضروری داشته که علت آن داشتن قابلیت تبدیل زیستی است که امکان سنتز اسیدهای چرب بسیارغیراشباع واسطه مانند ۶- n ۲۰:۳ را فراهم میکند که پیش ساز پروستاگلاندین هاست.

۳-۲-۲-۷) کمبود اسیدهای چرب ضروری

مصرف جیره هایی که فاقد اسیدهای چرب ضروری باشند کندی رشد و کاهش بازدهی در تغذیه را بدنبال دارند. این پدیده ها در گونه های مختلف آب شیرین (نظیر قزل آلا، آزاد ماهی، مارماهی، کپور معمولی و تیلاپیا) و ماهیان دریایی (کفشک، شانک دریایی) مشاهده شده است بنحویکه پس از پایان یک دوره زمانی معین (حتی تا چند ماه)،علائم پاتولوژیک نظیر تجزیه بافت کبدی همراه با تجمع چربی، فرسایش باله، زخم های آبششی یا کاهش سطح هموگلوبین آشکار شد. در قزل آلا، کمبود اسیدهای چرب ضروری بیش از چندماه می تواند منجر به سندرم شوک همراه با عدم تحرک در پاسخ به استرس می شود. در ماهیان مولد، بروز این کمبود طی ماههای قبل از تخم ریزی، منجر به کاهش چشمگیر در تولید تخم،درصد تخم های چشم زده و نیز میزان تفریخ می شود. علاوه براین، اکثر لاروها بدشکل شده و میزان بقا کاهش می یابد.

٤-۲-۲-۷) نیازهای اسیدهای چرب ضروری و تامین این نیازها

تعیین دقیق میزان نیازهای اسیدهای چرب ضروری بسیار دشوار است. همانطورکه قبلا اشاره شد، نسبت به اسیدهای‌آمینه ضروری، شاخص های نرخ رشد وابستگی کمتری به تامین اسیدهای چرب ضروری دارند. در مقابل، ترکیب بافت با ورود اسیدهای چرب ضروری یا غیر ضروری تغییر می کند، اما وابستگی چندانی به اسیدهای‌آمینه جیره غذایی ندارد. از سویی، ترکیب چربی های بدن در رابطه با نیازها شاخصی را ایجاد می کند که کاربرد صحیح آن کار ساده ای نیست. حضور اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع n -۹ ممکن است شاخصی جهت تعیین کمبود اسیدهای چرب ضروری n -۳ در ماهیان آب شیرین باشد، ولی در مطالعات پاسخ بر اساس دوز مصرفی تری آسیل گلیسیرول بافت ها هیچ گونه اطلاعات مفیدی بدست نمی آید. در شرایط مشابه، ترکیب لیپوپروتئین ها از ثبات بیشتری برخوردارند. اما ترکیب اسیدهای چرب بسیارغیراشباع با افزایش مصرف غذا افزایش یافته و مقادیر اضافی اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ رشد را کاهش می دهند. بنابراین، میزان نیازها که با در نظر گرفتن محتوای اسیدهای چرب ضروری بافت ها تعیین می شوند، بیش از حد برآورد شده، در حالیکه مقادیری که بر اساس معیار رشد تعیین می‌شوند، کمتر از حد محاسبه می شوند. بروز برخی مشکلات هنگام عمل را نیز باید به اشکالات ناشی از تفسیر این نتایج و کاربرد آنها افزود. برای مثال، به دلیل هزینه بالا، تعیین نیازها با استفاده از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع خالص دشواراست بنابراین، معمولا ترکیبی از اسیدهای چرب یا به عبارت دقیق تر، ترکیبی از تری آسیل گلیسیرول ها یا سایر استرها مورد استفاده قرار می گیرند که تفسیر نتایج را دشوارتر می کند.

بنابراین، شناسایی نیازها با دقت کم ومطالعات اندک صورت گرفته است. میزان نیازهایی که در جدول C.۳ ارائه شده از ۰/۵ تا یک در صد جیره متغیر هستند. در نگاه اول چنین بنظر می رسد که این مقادیر در مقایسه با نیازهای حیوانات خشک زی(به استثناء مرغ تخم گذار) خیلی بالاست، ولی به جای بررسی مقادیر نیازها در مفهوم دقیق آن، باید نیازها را بر حسب درجه بزرگی آنها مورد توجه قرار داد. بر طبق داده های حاصل از مطالعات جدید، این مقادیر بیش از حد برآورد شده اند. همچنین محققان پیشنهاد نموده اند که به جای بیان نیازهای اسیدهای چرب ضروری بر اساس درصد غذا، از درصد چربی جیره غذایی استفاده شود. چون غلظت بالای چربی، نیازهای اسیدهای چرب ضروری را افزایش خواهد داد. مقادیر اسیدهای چرب ضروری n -۶ در مورد بیشتر گونه های سردابی هنوز مشخص نشده است.

به منظور تنظیم جیره ای که نیازهای اسیدهای چرب ضروری یک گونه مشخص ماهی را برآورد می کند، لازم است سری های اسیدهای چرب ضروری غالب (n -۶، n -۳) و قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب C۱۸ برای آن گونه شناسایی گردد. بنابراین، انتخاب چربی های جیره به ویژگیهای گونه ماهی بستگی دارد. روغن ماهی از نظر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع n-۳ نظیر ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) بسیار غنی بوده و مقدار آنها به ترتیب حدود ۱۰ و ۱۲ درصد، می‌باشد. پودر ماهی نیز حاوی حدود ۱۰ درصد اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ هستند. علاوه بر این، چربی های حیوانات دریایی همواره حاوی مقادیر کمتری از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۶ هستند، گرچه این مقادیر بنوبه خود ناچیز نیست. در مقابل، روغن های گیاهی به کلی فاقد اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع بوده و بیشتر دارای اسیدهای چرب n -۶ C۱۸ : ۲ و n -۹ C۱۸ : ۱ و C۱۸ : ۰) هستند. این در حالی است که برخی از روغن ها مانند سویا یا دانه های شلغم روغنی[1] حاوی ۸ تا ۱۰ درصد C۱۸ : ۳ n -۳ می باشند.

روغن های فاقد اسیدهای چرب چند غیراشباعی n -۳ ، نظیر روغن ذرت نمی توانند نیازهای اسیدهای چرب ضروری n -۳ را در ماهیان آب شیرین برآورده سازند. هرچند می توان با گنجاندن ۱۰ درصد روغن سویا یا دانه های شلغم روغنی (که حاوی یک درصد n -۳ C۱۸ : ۳ می باشد) در جیره غذایی یا با استفاده از چهار درصد روغن ماهی در جیره این نیازها را مرتفع نمود. آزمایشها نشان داده اند که حتی در آزادماهیان اسیدهای چرب بسیار غیراشباع دو برابر اسیدهای چرب چندغیراشباع C۱۸ در رفع این نیازها موثرند. در عمل، جیره های غذایی که در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند، اغلب دارای پودر ماهی بوده و مقدار کمی از اسیدهای چرب بسیارغیراشباع به وسیله این منابع پروتئینی تامین می شود. در ماهیان دریایی، تنها گنجاندن روغن ماهی (۵ تا ۸ درصد) یا مواد دیگری با منشا دریایی (پودر ماهی یا میگو) که چربی آنها گرفته نشده، می توانند در رفع نیازها مفید باشند. جلبک های دریایی تک سلولی، تنها گیاهانی هستند که اسیدهای چرب بسیار غیراشباع را سنتز می کنند

[1] Rapeseed

بنابراین، در لارو ماهیان دریایی که با غذای زنده تغذیه می کنند، جلبک ها می توانند ایفاگر این نقش باشند (فصول۱۳و۱۴). هنگام تامین نیازهای اسیدهای چرب ضروری، چربی ها به عنوان منبع انرژی عمل نموده که می توانند از طریق سایر منابع چربی نظیر روغن های گیاهی تامین شوند.

۵-۲-۲-۷) مشکلات مربوط به تعادل اسیدهای چرب و مقادیر اضافی آنها

از نظر تئوری، ورود مقادیر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n و ۶- n به میزان حداقل نیاز مصرف کنندگان، تامین کننده تمامی احتیاجات نیست. بنابراین توازن مشخصی بین اسیدهای چرب ضروری ۳- n و ۶- n حفظ شده و قابلیت نسبی هضم اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع، حداقل در مورد سری های ۳- n مدنظر قرار گیرد. همانگونه که نتایج حاصل از مطالعات انجام شده پیرامون تری لینولئین و تری لینولنین در ماهی قزل آلا و آزاد اقیانوس آرام نشان داده اند، برقراری توازن بین اسیدهای چرب ضروری بسیار پیچیده است. این دوسری اسید چرب هنگام عدم توازن جزئی، حداقل در سطح فسفولیپید و تا حدی معین، قابل تبدیل به یکدیگرند. در صورت مشخص بودن عدم توازن، اثرات مضر آن مشاهده می گردد.در این رابطه تامین بیش از حد یک سری می تواند بر مصرف سری دیگر موثر باشد که احتمالا از سویی به دلیل رقابت بین غیر اشباع کننده ها و از سوی دیگر ناشی از سنتز پروستاگلاندین هاست. مشکل ناشی از بازدهی نسبی دو اسید چرب بسیار غیراشباع سری ۳-n احتمالا به سبب دشوار بودن تبدیل ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) به دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) می باشد. هرچند بنظر نمی رسد از نظر عملی این موضوع جز در مورد لارو ماهیان دریایی، پیامد قابل توجهی در پی داشته باشد.

مقادیر اضافی اسیدهای چرب ضروری ۳- n همچنین می توانند عواقب زیانباری بر ماهی داشته باشند. در قزل آلا، جیره های حاوی ۴ درصد ۱۸:۳ یا ۲ درصد ۲۰:۵ و ۲۰:۶ به شکل استرهای متیل که ۴ برابر مقدار نیاز واقعی ماهی هستند، رشد را کند کرده و بازدهی تغذیه را کاهش می دهند. افزایش کلی محتوای آب بدن و کوچک شدن کبد از اثرات دیگر آنها می باشد. این اثرات گاهی ناشی از تامین اسیدهای چرب ضروری به شکل استرهای متیل به جای تری آسیل گلیسیرول هاست. در کفشک، تاثیر زیانبار ناشی از مقدار بیش از حد ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) و دیکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) حتی در صورت تامین این ترکیبات به شکل تری آسیل گلیسیرول، مشاهده شده است.

۳-۷ - اهمیت چربی ها در جیره های ماهی

۱-۳-۷) کلیات

چربی ها علاوه بر رفع نیاز ماهی به اسیدهای چرب ضروری، تامین کننده منبع انرژی نیز می باشند.این ترکیبات بسیار پرانرژی بوده و یک گرم فسفولیپید به طور متوسط حدود ۳۳ کیلوژول (۸ کیلوکالری) و یک گرم تری آسیل گلیسیرول حدود ۴۰ کیلوژول (۹/۵ کیلوکالری) انرژی خالص تولید می کند. با فرض قابلیت هضم ۹۵ درصد چربی ها، ارزش انرژی زایی یک گرم از چربی جیره (بر حسب انرژی قابل هضم) به ترتیب ۳۷ تا ۳۸ کیلوژول بوده که این میزان تقریبا ۲/۵ برابر هیدرات‌کربن و ۱/۸ برابر پروتئین هاست.

۲-۳-۷) اثرات صرفه جویی در مصرف پروتئین و کاهش مواد دفعی

امروزه مراکز پرورش ماهی به ویژه آزادماهیان به افزایش مصرف مقدار چربی در جیره غذایی تمایل دارند و این مسئله از طریق مطالعات انجام شده پیرامون گونه های مختلف از نظر علمی توجیه شده است. به این ترتیب، در قزل آلا با افزایش مقدار چربی از ۱۴ درصد به ۲۰ درصد حتی هنگام کاهش مقدار پروتئین، رشد و بازدهی تغذیه افزایش می یابد(جدول ۳-۷). از اینرو با مصرف چربی ها می توان در مصرف پروتئین صرفه جویی نمود که این مسئله در فصول ۵ و ۶ به تفصیل شرح داده شده است. در آزاد ماهیان چنین پیش بینی می شود که با افزایش سطح چربی جیره غذایی از ۱۵ درصد به ۲۰ درصد می توان مقدار پروتئین را از ۴۸ درصد به ۳۵ درصد کاهش داد، بدون اینکه تغییری در عملکرد رشد حاصل شود. ضمن آنکه افزایش بازدهی پروتئین و همچنین مصرف بهتر انرژی را نیز بدنبال دارد. باید توجه نمود که تاثیر سودمند چربی ها در بازدهی تغذیه، در درجه اول و مهمتر از همه به سبب قابلیت انرژی زایی بالای آنهاست که علاوه بر صرفه جویی در مصرف پروتئین ها، موجب افزایش بازدهی تغذیه و در نتیجه کاهش آلودگی ناشی از آبزی پروری می شود. در حال حاضر، اطلاعات مربوط به سطح بهینه چربی جیره غذایی برخی گونه ها موجود است (دول۴-۷). اما ممکن است که این مقادیر بسرعت قدیمی شوند، بنحویکه طی دهه گذشته مقدار چربی در جیره مصرفی آزادماهیان به طور مداوم افزایش یافته و هم اکنون به بیش از ۳۰ درصد رسیده است. همچنین شایان ذکر است که نباید این استانداردها را به تنهایی بکار برد بلکه همراه با نسبت پروتئین قابل هضم به انرژی قابل هضم اشاره شده در فصول ۵ و ۶ ، قابل استفاده اند.

جدول ۳-۷) تاثیر میزان چربی جیره بر روی بازدهی مصرف مواد غذایی در قزل آلا

جیره B غنی شده با چربی	جیره A	جیره
۲۰/۰	۱٤/۰	لیپیدها (درصد)
۳۷/۰	٤٤/۰	پروتئین ها(درصد)
۱۹/۰	۱۷/۰	انرژی قابل هضم(کیلوژول بر گرم)
۲/۲۱	۱/۹۱	رشد(درصد در روز)
۱/۱۰	۱/۳۱	شاخص مصرف
۲/٤۳	۱/۷٤	بازدهی پروتئین خام[1]
٤۱۲/۰	۵۷۵/۰	پروتئین مورد نیاز (گرم برکیلوگرم تولید)
۳۸/۷	٦۳/۵	نیتروژن دفعی (گرم برکیلوگرم تولید)

جدول٤-۷) سطح بهینه میزان چربی در جیره غذایی برخی گونه ها

محتوای چربی(درصد)	گونه ها
۲۰-۱۸	قزل آلا
<۱۸	کپور معمولی
<۱۰	تیلاپیا
۱۵-۱۲	سیم دریایی سرطلایی
۱۰	سیم دریایی ژاپنی
<۱۵	کفشک
۱۵-۱۲	باس دریایی
۱۱	ماهی دم زرد
۱۱-۷	باس کانالی
۱۸-۱۳	باس دریایی مناطق حاره ای
< ٦	ماهی بادکنکی ژاپنی
۱۰-۷	خامه ماهی
۱٤-۱۳	گروپر
۵	نوعی کفشک ماهی (sole)

[1] Crude protein efficiency

در نهایت، هرچند مقدار بهینه این نسبت ها در رابطه با قزل آلا، ماهی آزاد اقیانوس اطلس، باس‌دریایی و ماهی دم زرد مشخص شده، ولی تعمیم این نتایج به گونه هایی که هنوز چنین مطالعاتی پیرامون آنها صورت نگرفته بویژه گونه هایی مانند کفشک و برخی ماهیان همه چیز خوار آب شیرین مناطق گرمسیری که غذادهی آنها با استفاده از خوراک های محتوی سطوح بالای چربی دشوار است، قدری عجولانه بنظر می رسد.

٤-٧ - تاثیر چربی های جیره غذایی در ترکیب بدن و کیفیت ماهی

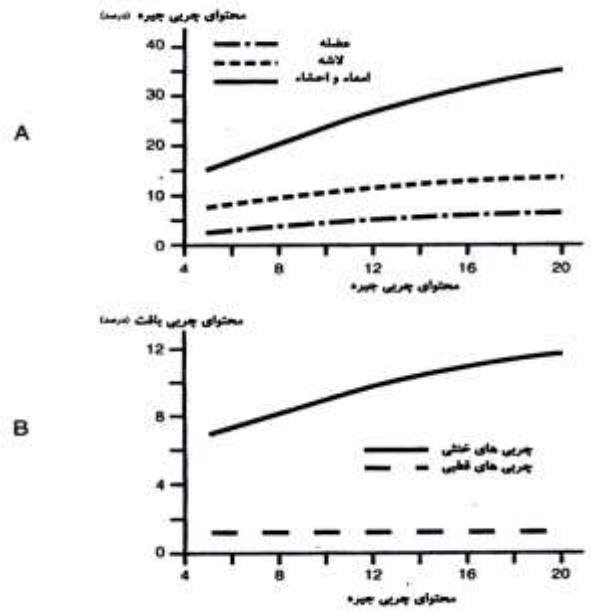
١-٤-٧) ارتباط بین چربی های جیره غذایی و چربی های بافتی

همانطور که قبلا اشاره شد، محل اصلی ذخیره چربی ها در ماهی شامل کبد، بافت یا چربی اطراف امعاء و احشاء و عضله به عنوان تنها بخش خوراکی حقیقی، می باشند. در بسیاری از گونه ها (نظیرقزل آلا، کپور، ماهی پهن ، گربه ماهی کانالی، کفشک، سیم دریایی سرطلایی و غیره) جیره هایی با سطوح چربی بالا، بخصوص زمانی که توزیع جیره ها به صورت تصادفی باشد، باعث تغییراتی در ترکیب بدن می شود، به این صورت که بر حسب وزن تر، میزان چربی افزایش یافته، در حالیکه محتوای آب کاهش می یابد و مقدار پروتئین عموما بدون تغییر باقی می ماند.

با وجود این، ارتباط بین میزان چربی جیره غذایی و مقدار چربی لاشه ساده تر از آن است که بنظر می‌رسد. اگر جیره ها بر حسب محتوای انرژی یکسان مقایسه شوند، این اثر نسبتا کاهش می یابد.در حالیکه اگر بر اساس جیره غذایی یکسان مقایسه شوند، جیره هایی با چربی بالاتر، مصرف چربی را افزایش داده و انرژی بیشتری تولید می نمایند و موجب افزایش قابل توجه تجمع چربی می شوند. در اینحالت بخش های مختلف بدن همگی بصورت یکسان واکنش نشان نمی دهند. در مورد قزل آلا ، میزان چربی عضله ممکن است از ۵ تا ۱۵ درصد تغییر کند. درحالیکه چربی های اطراف امعاء و احشا بشکلی چشمگیرتر افزایش می یابد(شکل ۳A-۷). این بافت ها مسئول چاق شدن حیوان هستند. در ماهیان دریایی نظیر کاد و همچنین باس دریایی و سیم دریایی، کبد به عنوان محل تجمع و ذخیره چربی ها عمل نموده و منجر به چاقی مفرط یا تجمع غیرعادی چربی[1] می شود.

[1] steatosis

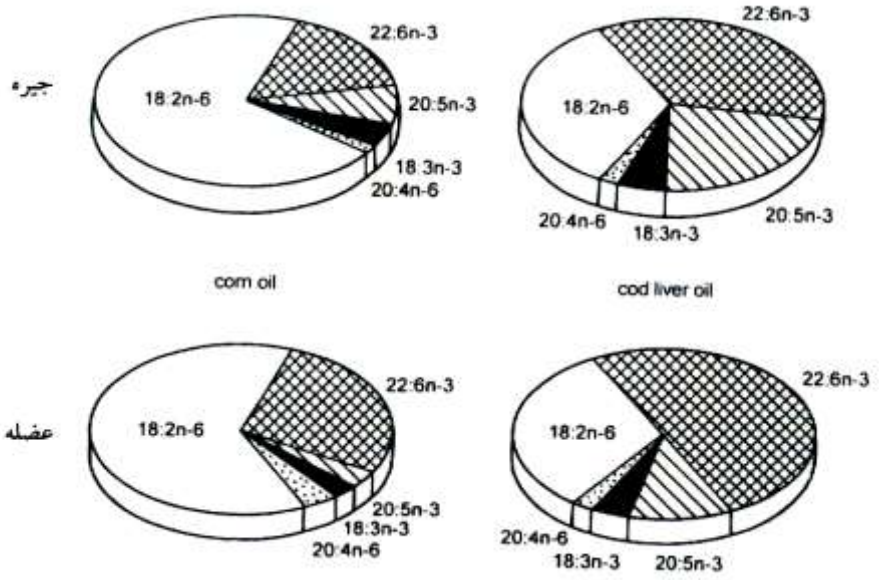
هرچند این حالت (که قابل برگشت و غیر پاتولوژیک است)، می تواند ناشی از مصرف بیش از حد انرژی و نه صرفاً به سبب مقدار اضافی چربی جیره غذایی باشد. به عبارت دیگر، کبد محل ذخیره سازی ترجیحی چربی است که دستخوش اثرات چشمگیری نیز می شود. از این لحاظ از نظر سن نیز اختلافاتی بین گونه ها وجود دارد. برای مثال، عضلات پشتی و شکمی در ماهیان بزرگتر بیشتر است. چگونگی افزایش چربی بافت‌ها در رابطه با گروههای مختلف چربی ها مشابه نیست (شکل ۳B-۷). بنحویکه اغلب غلظت فسفولیپید ثابت باقی می‌ماند در حالیکه کل مقدار چربی اضافه شده اغلب مربوط به تری آسیل گلیسیرول هاست.



شکل ۳-۷) تاثیر میزان چربی جیره غذایی در محتوای چربی بافت ها (بالا) و در نوع چربی عضله(پایین) در ماهی قزل آلا (Takeuchi *et al.*,1978)

استفاده از جیره های غذایی پر چربی که «جیره های پرانرژی» یا«جیره های سازگار با محیط زیست» نامیده می شوند(فصل ۶) به برخی اقدامات محتاطانه ، بخصوص در زمینه مدیریت غذادهی نیاز دارد. این نوع جیره ها عمدتا بر پایه مقدار انرژی قابل هضم (و نه میزان غذا) توزیع می شوند و هدف، صرفا بهینه‌سازی عملکردهای بیولوژیک نیست بلکه حفاظت از محیط زیست و حفظ کیفیت گوشت نیز مدنظر می‌باشد(فصل ۲۲). بنابراین، باید اطمینان حاصل کرد که غذای مصرفی موجب تجمع بیش از حد چربی نمیگردد.

بر خلاف میزان چربی جیره غذایی، نوع چربی ها عواقب مشخصی بر تجمع کلی چربی در ماهی، یا میزان چربی عضلات ندارد. نوع و میزان چربی، تاثیر قابل ملاحظه ای در ترکیب اسیدهای چرب بدن دارد. هر چه مقدار چربی جیره بیشتر باشد، سنتز چربی از منابع غیر پروتئینی (*de nova*) اسیدهای چرب بیشتر کاهش یافته و از طریق تجمع اسیدهای چرب وارد شده به بدن جایگزین می شود. همانند سایر گونه‌ها، ترکیب چربی های بدن ماهی نشان دهنده ترکیب چربی های جیره غذایی است. در قزل آلای تغذیه شده با جیره های حاوی مقادیر قابل توجهی از روغن ذرت (۸ درصد)، غلظت های بالاتری از n-۶ ، ۲: ۱۸ در گوشت یافت شد(شکل ۴-۷)، در حالیکه هنگام تغذیه بر پایه روغن ماهی، اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳ غلظت بالاتری داشتند. بطور کلی، ماهیان پرورشی تغذیه شده با جیره های تجاری حاوی روغن یا فرآورده های گیاهی چربی زدایی نشده، نسبت به انواع وحشی خود حاوی سطوح بالاتری از اسیدهای چرب n -۶ هستند. از سویی، ترکیب اسیدهای چرب بافت ها از تنوع کمتری نسبت به ترکیب آنها در غذا برخوردارند. ماهی بواسطه واکنش های طویل سازی غیر اشباعی و حفظ انتخابی برخی از اسیدهای چرب، محتوای چربی بافت های خود و بویژه تجمع اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع را به طور خیلی موثری تعدیل می کند. این تنظیم همواره زمانی موثرتر است که پرواربندی کاهش یابد، چون تحت این شرایط قطعات فسفولیپیدی که ترکیب نسبتا ثابتی دارند، بزرگتر می باشند.



شکل ۷-٤) تاثیر منبع چربی جیره غذایی در ترکیب اسیدهای چرب عضله ماهی قزل آلا

۲-٤-۷) تاثیر چربی های جیره غذایی در کیفیت ماهی

کیفیت ماهی را نمی توان فقط به واسطه یک معیار واحد مشخص نمود. این ویژگی جنبه‌های بسیاری دارد که مفهوم آن در جریان فرآوری، توزیع و مصرف متفاوت است.از جمله فاکتورهـای مهـم در ایـن زمینـه، میزان محصول هنگام فیله کردن و فرآوری، جنبه هـای سـلامت انسـان و امنیـت غـذایی، میـزان کیفیـت از طریق ارگانولپتیک یا حسی (رنگ، حالت فیزیکی بافت ، طعـم و غیـره) و کیفیـت مـاهی اسـت. شـاخص تعیین کیفیت حسی گاهی کاملا ذهنی است و نتیجه آن با توجه بـه نـوع محصـول نهایی(تـازه، یـخ زده یـا دودی شده) یا سلیقه مصرف‌کنندگان متفاوت است. بسیاری از مؤلفه های تعیین کیفیت بـه عوامـل متعـدد ژنتیکی، زیست محیطی و تغذیه ای بستگی داشته و بخصوص در رابطه با پرواربنـدی صـادق اسـت کـه در آن تغذیه نقش مهمی ایفا می کند.

شکل ماهی بویژه در گونه هایی نظیر قزل آلا و حتی به میزان بیشتری در کپور معمولی که در دراز مدت اهلی شده اند، تحت تاثیر عوامل ژنتیکی قرار دارد و چاقی یا لاغری مفرط نیز می تواند بر آن تاثیرگذار باشد. توصیه عملی این است که به منظور جلوگیری از مواجه شدن با علائم کمبود یا مقادیر اضافی چربیها، در مورد فرمولاسیون مطلوب و مناسب جیره های غذایی اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، پرواربندی تجمع چربی در اطراف امعاء و احشا یا کبد را نسبت به عضله افزایش داده و میزان محصول را هنگام فیله کردن ماهی کاهش می دهد.

در تمامی گونه ها، مقدار چربی گوشت یکی از مولفه های تعیین کیفیت حسی است. پرواربندی موجب تردی گوشت خام شده و احساس مصرف کننده را در رابطه با طعم کلی گوشت اندکی تغییر می دهد. طی آزمایشهای چشایی، گوشت خام ماهیان خیلی لاغر یا خیلی چاق ارزش زیادی ندارند. همچنین در صورتیکه ماهی تحت عمل فرآوری قرار بگیرد، سطوح بالای چربی اثرات زیانباری درپی خواهد داشت بطوریکه اثرات نامطلوب چربی زیاد را هنگام نمک سودکردن (از دست دادن آب و کاهش کیفیت میکروبیولوژیک)، دودی کردن (کاهش روغنها) می توان شاهد بود. ماهیت و نوع چربی جیره غذایی طعم محصول را نیز تغییر می دهند اما نحوه تاثیر آنها کمترمشخص شده است. در رابطه با فیله گوشت قزل آلای قهوه ای و ماهی آزاد، افرادی که مسئول آزمایش های حسی گوشت هستند، قادر به تشخیص تاثیر روغن های اضافه شده به غذا (با منشأ دریایی یا گیاهی) بوده و ماهیانی را ترجیح می دهند که روغنهای دریایی دریافت کرده باشند در مقابل، در مورد قزل آلای رنگین کمان چنین تاثیری مشاهده نشده است. در حال حاضر، اطلاعات دقیقی در مورد سایر گونه ها در دسترس نیست.

کیفیت غذایی گوشت و بویژه ارزش انرژی زایی آن (که بر اساس اصطلاحات رایج در علوم تغذیه هنوز اصطلاح انرژی زایی[1] بکار می رود) به میزان چشمگیری تحت تاثیر پرواربندی قرار دارد. البته دو عامل باید مورد تاکید قرار گیرد: اولا، در ماهیان لاغر نظیر کفشک، حتی اگر میزان چربی گوشت از طریق مصرف چربی یا دریافت انرژی دو برابر شود، میزان گوشت آنها در مقایسه با ماهیان چاق یا حتی گوشت قرمز حیوانات پرورشی خشک زی پایین است. علاوه بر این، مصرف ماهیان روغنی بر خلاف گوشت قرمز چرب، احتمال بروز بیماریهای قلبی- عروقی را در انسان تشدید نمی کند.

[1] calorific

بر عکس، غنی بودن محصولات آبزی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳- n برای سلامتی مفید بوده و سطوح کلسترول و در نتیجه وقوع بیماریهای قلبی- عروقی را کاهش می دهد. بنابراین، به منظور حفظ ارزش غذایی ماهیان پرورشی، اطمینان از سرشاربودن جیره از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع در زمان فرمولاسیون آنها از اهمین زیادی برخوردار است.

۳-٤-۷) اهمیت پراکسید شدن چربی ها

اسیدهای چرب غیراشباع (به ویژه چربی هایی که ویژگی عدم اشباعیت در آنها بارزتر است)، اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۶-n و به میزان بیشتر اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ۳-n ، بواسطه پراکسیده شدن بر اثر تماس با اکسیژن براحتی تغییر ماهیت می دهند. این پدیده در محیط آزمایشگاهی در جریان نگهداری خوراک یا پس از فیله کردن گوشت ماهی و همچنین در بدن موجود زنده براحتی روی می‌دهد. در مورد روغن ها و چربی ها، این پدیده را معمولا فساد اکسیداسیونی[1] روغن ها و چربی ها می‌نامند و واکنش هایی کاملا شیمیایی هستند که در داخل بدن به صورت طبیعی توسط مکانیسم های شیمیایی یا آنزیمی تنظیم می شوند. تنظیم غیر طبیعی را نیز می توان شاهد بود که در این حالت بسرعت بدن حالت پاتولوژیک بخود می گیرد. این پدیده که پس از مرگ روی می دهد بشدت تحت تاثیر آزاد شدن آنزیم های موجود در بدن است. مشکلات ناشی از نگهداری گوشت ماهی، حتی به صورت منجمد، نیز عمدتا ناشی از واکنش‌هاست.

پراکسیده شدن در مجموع شامل سه مرحله اصلی است که در شکل ۵-۷ خلاصه شده است.

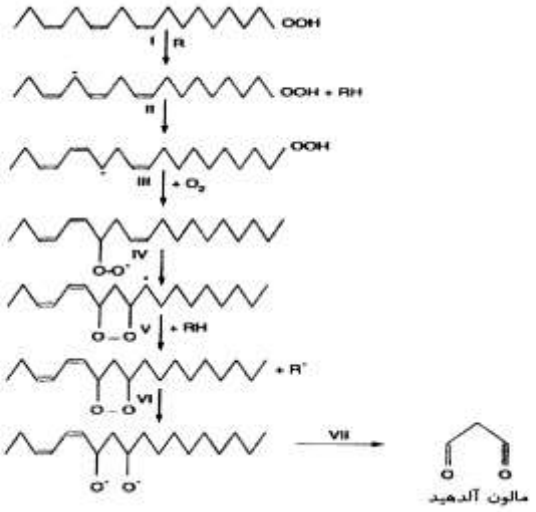
- مرحله شروع که شامل خارج شدن یک الکترون از پیوند دوگانه و تشکیل یک رادیکال ناپایدار است.
- مرحله انتشار که همراه با تشکیل زنجیره ای از رادیکال های آزاد است که گاهی به عنوان احیاءکننده و گاهی به عنوان اکسید کننده عمل می کنند.
- مرحله توقف که با تشکیل یکسری ترکیبات نهایی نظیر آلدئید ها (بویژه مالون آلدئید) و کتون‌ها همراه است. این ترکیبات نهایی با وجود پایدار بودن، سمی بوده و مالون آلدئید نیز ترکیبی سرطان زاست.

[1] rancidity

رادیکال های آزاد برای اعضای سلولی و حتی برای ملکول های بزرگ بسیار مضرند. موجودات زنده از دو واکنش دفاعی در برابر پراکسیده شدن بر خوردارند.

- به دام انداختن رادیکال های آزاد
- وجود یک سیستم آنزیمی که موجب تخریب برخی ترکیبات حدواسط می شود.

آنتی اکسیدان هایی نظیر ویتامین A و به ویژه توکوفرول ها (ویتامین E) از جمله ترکیباتی هستند که مولکول های آزاد را به دام می اندازند. آسکوربیک اسید (ویتامین C) نیز به این گروه تعلق دارد که در واقع یک جداکننده محلول در آب است، در حالیکه توکوفرول یک دهنده پروتون بوده و به شکل محلول در چربی، فعال است (شکل۶-۷).



شکل ۵-۷) نمایی از مراحل اصلی پراکسیدشدن اسید چرب(Diazani *et al*., 1978 and Slater,1972)

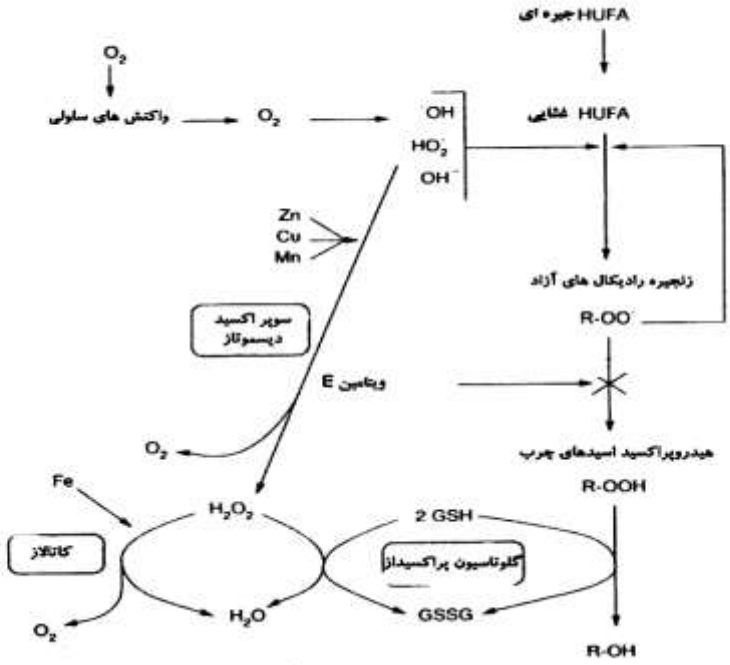
آنتی اکسیدان هایی نظیر ویتامین A و به ویژه توکوفرول ها (ویتامین E) از جمله ترکیباتی هستند که مولکول های آزاد را به دام می اندازند. آسکوربیک اسید (ویتامین C) نیز به این گروه تعلق دارد که در واقع یک جداکننده محلول در آب است، در حالیکه توکوفرول یک دهنده پروتون بوده و به شکل محلول در چربی، فعال است (شکل۶-۷).

در مکانیسم دفاعی دوم، اولین آنزیم مداخله کننده، سوپر اکسید دیسموتاز[1](SOD) است که سوپراکساید را به پراکسید هیدروژن تبدیل می کند. این ترکیب برای سلول بسیار سمی است و باید توسط کاتالیزور گلوتاتیون پراکسیداز[2] احیا شده و به آب و اکسیژن تجزیه شود(شکل ۶-۷). در ماهی این مکانسیم های مختلف دفاعی بخوبی شناخته نشده اند که می توانند در برابر پراکسیدها و رادیکال های آزاد با منشا خارجی (پراکسیدها و رادیکال های آزاد موجود در خوراک)، بسیار فعال باشند. اما می توان به منظور صرفه جویی در مصرف آنتی اکسیدان های طبیعی، از طریق اضافه کردن آنتی اکسیدان‌های مصنوعی که در داخل بدن غیرفعالند، از پراکسیده شدن اسیدهای چرب موجود در خوراک جلوگیری نمود (فصل ۱۸).

پراکسیده شدن چربی اثرات مخرب زیادی بهمراه دارد و منجر به تخریب عناصر شکننده و تغییرپذیر موجود در غذا (نظیر ویتامین A و E ، ریبوفلاوین، اسید فولیک و غیره) می شود. پراکسیده شدن در نتیجه کاهش فعالیت آنزیمهایی نظیر آمیلاز، لیپاز یا تریپسین در ماهی موجب اسهال می شود. این اثرات در سطح متابولیک، از ذخیره غیرعادی چربی در کبد تا بازدارندگی برخی آنزیم ها در چرخه TAC متفاوت خواهد بود. از سوی دیگر، بیشترین علائم کمبود ویتامین E ناشی از مصرف شدن آن از طریق رادیکالهای آزاد می باشد که موجب فساد عضلانی و تجزیه سلول های قرمز خون می گردد (فصل ۹). تجمع لیپوپروتئین های تغییر یافته و غیرقابل‌حل در حلال ها نیز از شاخص های این وضعیت می باشد. این وضعیت براحتی از طریق بافت شناسی به اثبات رسیده و امکان تشریح اثرات آسیب شناختی ناشی از پراکسیداسیون را فراهم می سازد. از نظر مصرف کنندگان، علاوه بر فساد عضلانی که در شرایط حاد می‌تواند منجر به غیر قابل قبول بودن بافت کلی گوشت می شود، کیفیت رنگ گوشت کاهش یافته و طعم(بو و مزه) آن تغییر می‌کند. همچنین به علت تخریب بخشی از اسیدهای چرب، ویتامین E و سایر ویتامین های حساس در برابر اکسیداسیون که اهمیت زیادی در سلامتی انسان دارند، کیفیت غذایی گوشت کاهش می‌یابد. در عمل چنین بنظر می رسد که محققان باید توجه بیشتری را نسبت به کاهش زمان نگهداری خوراک یا مدت مناسب نگهداری معطوف دارند.

---

[1] superoxide dismutase
[2] glutathione peroxidase



شکل ٦-٧) واکنش های احتمالی بین متابولیت های اکسیژنی فعال، ترکیبات سلولی و سیستمهای آنتی‌اکسیدان (Sargent *et al*.,1989)

ساده ترین روش برای رفع این مشکلات، افزودن مقادیر زیاد ویتامین E به خوراک های مصرفی (حاوی آنتی اکسیدان ها و آسکوربیک اسید) به مقدار بیش از حد مورد نیاز، می باشد.

مطالعات مختلف نشان داده که غنی سازی جیره ها با ویتامین E منجر به افزایش غلظت این ویتامین در عضله شده و در نتیجه موجب کاهش اکسیداسیون چربی های عضله پس از فیله کردن می شود. همچنین مشخص شده که مقادیر موثر ویتامین E در قزل آلا، گربه ماهی کانالی یا کفشک ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی گرم به ازا هر کیلوگرم غذاست. این راهکار بخصوص هنگامیکه ماهی یخ زده یا بسرعت منجمد شود، توصیه می گردد زیرا در این دماها سرعت پراکسیده شدن کاهش یافته، اما متوقف نمی شود.

این مطالب در جهت حمایت از غنی سازی جیره مصرفی با آنتی اکسیدان های مصنوعی، ویتامین C و E در سطوح بالاتر از حد نیاز ماهی ارائه شد زیرا گوشت حیوانات خشک زی دارای مقادیر کمتری اسیدهای چرب غیراشباع است.

۵-۷ - خلاصه

چربی های غذائی یکی از موضوعاتی است که بیشترین مطالعه را در زمینه تغذیه آبزی پروری بخود اختصاص داده است که طی آن خصوصیات اصلی (اهمیت نیاز به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع n -۳) و بویژه تنوع در نیاز به اسیدهای چرب بسیار غیراشباع و قابلیت تبدیل زیستی اسیدهای چرب ضروری با زنجیره کوتاه مشخص شده است. بنظر می رسد که نیاز به این اسیدهای چرب بالا باشد، اما ممکن است این نیازها بیش از حد برآورد شده باشند. چربی ها همراه با پروتئین ها منبعی از انرژی را تشکیل می دهند که به شکلی مطلوب با فیزیولوژی و متابولیسم ماهی سازگارند بنابراین از این مواد به طور روزافزون در تولید غذاهایی با بازدهی بسیار بالا استفاده می‌شود. چربی ها نسبت به سایر مواد غذایی، تاثیر مستقیم یا غیرمستقیم بیشتری درکیفیت گوشت دارند، موضوعی که اهمیت آن بسرعت در حال افزایش است. با این وجود، چربی ها و بویژه چربی های سرشار از اسیدهای چرب بسیار غیراشباع ، حساسیت زیادی نسبت به پراکسیده شدن دارند بنابراین انجام اقدامات پیشگیرانه خاص هنگام ساخت خوراک و در زمان نگهداری یا فرآوری آن اهمیت ریادی دارد.

«فصل ۸»

هیدراتهای کربن : اهمیت و محدودیتها در استفاده از منابع هیدرات کربنی

هیدراتهای کربن فراوان ترین ترکیبات آلی در بیوسفر هستند. اصطلاح هیدرات کربن شامل تعداد زیادی از مولکولهاست که از اتم های کربن، اکسیژن وهیدروژن به نسبت های تعریف شده با فرمول ساده $(CH_2O)_n$ تشکیل می شوند. این مواد، پلی الکلهایی با یک یا چند آلدئید یا کتون هستند. قند ساده(مونوساکاریدها) شامل یک واحد هیدروکسی آلدیید یا هیدروکسی کتون است. الیگوساکاریدها از ۲ تا ۱۰ مولکول مونوساکارید تشکیل شده اند که بوسیله پیوندهای گلیکوزید به یکدیگر متصل می شوند. پلی ساکاریدها نیز پلیمرهایی با زنجیره های مستقیم یا منشعبند. به رغم وجود هیدراتهای کربن بیشمار فقط تعداد معدودی دارای ارزش غذایی در تغذیه حیوانات می‌باشند و عمدتا شامل هگزوزها یا قندهای شش کربنه (گلوکز)، دی ساکاریدها (متشکل از دو مولکول هگزوز) و برخی هوموپلی ساکاریدها نظیر نشاسته می شوند. سایر هیدراتهای کربن نظیر هیدراتهای کربن قابل تخمیر و فیبرها در امر تغذیه نقش ثانویه یا حتی منفی دارند.

نشاسته شامل آمیلوز و آمیلوپکتین است. آمیلوز از زنجیره های طولانی و بدون انشعاب واحدهای گلوکز تشکیل شده که توسط پیوندهای ۴←۱ α به یکدیگر متصلند، در حالیکه آمیلوپکتین بسیار منشعب و دارای پیوندهای۶←۱ α است.

این مولکول ها توسط α آمیلاز به مالتوز هیدرولیز شده و مواد حاصله (شامل مالتوز و زنجیره کوتاه دکسترین) بوسیله مالتاز و سوکراز – ایزو مالتاز هیدرولیز می شوند(فصل۳). در سلول های حیوانی هیدرات‌کربن عمدتا به صورت گلیکوژن ذخیره می شود که ترکیبی مشابه آمیلوپکتین اما با شاخه های بیشتر است. پلی ساکاریدهای ساختاری نظیر پپتیدوگلیکان در باکتری ها، سلولز در گیاهان و کیتین در قارچ ها و حیوانات بواسطه پیوندهای ۴←۱ β از نشاسته متمایز می شوند. در لامینارین های آلگها نیز پیوندها از نوع۳←۱ β می باشند. وجه تمایز مابین پیوندهای α وβ امکان طبقه بندی پلیمرهای گلوکز به دو گروه اصلی هیدراتهای‌کربن موجود و فیبرها را فراهم می کند. دی ساکاریدهای قابل هضم با پیوندهای ۳←۱ β مانند لاکتاز یا الیگوساکاریدهای غیرقابل هضم مانند آلفا- گالاکتوزیدها نیز وجود دارند (جدول ۱-۸ و کادر ۱-۸).

هرچند هیدراتهای‌کربن در تغذیه ماهی ضروری نیستند اما به عنوان منبع انرژی ارزان قیمت محسوب میشوند و در صورت فقدان هیدراتهای‌کربن ، مصرف پروتئین ها و چربی ها جهت تامین انرژی افزایش می یابد. چنین بنظر می رسد که در بسیاری از گونه ها تامین هیدرات‌کربن جیره غذایی به سبب بهبود بخشیدن رشد ویژه و مصرف پروتئین ضروری است. در طبیعت، غذای ماهی جز در مورد کیتین که قابلیت هضم اندکی دارد، از لحاظ سایر مواد غذایی حاوی مقادیر ناچیز یا کاملا عاری از هیدرات‌کربن است و پایین بودن توانایی ماهی در مصرف هیدراتهای‌کربن جیره غذایی انعکاسی از کمیاب بودن هیدراتهای‌کربن در محیطهای آبی است. در رابطه با هیدراتهای‌کربن غذایی ماهی، دو نوع مشکل وجود دارد. اولا، به عنوان یک اصل کلی، قابلیت هضم هیدراتهای‌کربن پیچیده نظیر نشاسته در حیوانات آبزی پایین است ثانیا، این حیوانات ظاهرا به سازگاری لازم جهت متابولیسم قندهای ساده(مونو یا دی ساکاریدها) دست نیافته اند. از اینرو بالا رفتن میزان هیدرات‌کربن جیره بیش از حد معین، باعث آشفتگی و بی قراری ماهی ها می شود.

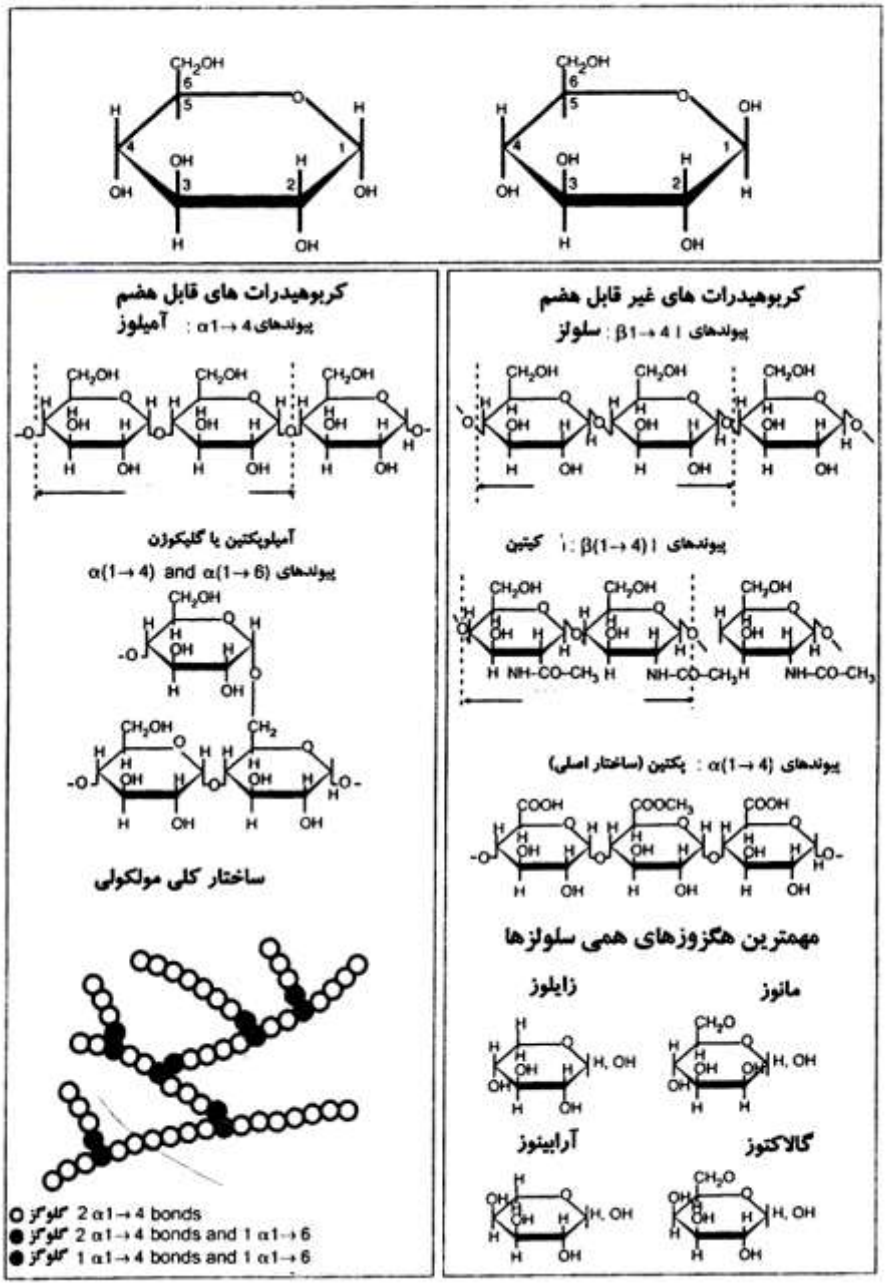
جدول ۱- ۸) طبقه بندی انواع مختلف هیدراتهای کربن

هیدراتهای کربن	
	مونوساکاریدها
گلیسروآلدهید، دی هیدروکسی استون	تریوز ($C_3H_6O_3$)
اریتروز	تتروز ($C_4H_6O_4$)
ریبوز،آرابینوز،زایلوز	پنتوز ($C_5H_{10}O_5$)
گلوکز، گالاکتوز، مالتوز،فروکتوز	هگزوز ($C_6H_{12}O_6$)
	الیگوساکاریدها
مالتوز(دو گلوکز)	
ساکارز یا سوکرز(گلوکز+ فروکتوز)	دی ساکاریدها ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
لاکتوز(گلوکز+گالاکتوز) *	
رافینوز(گالاکتوز+گلوکز+فروکتوز)*	تری ساکاریدها ($C_{18}H_{32}O_6$)
استاچینوز(۲ گالاکتوز+گلوکز+گلوکز+فروکتوز)*	تترا ساکاریدها ($C_{24}H_{42}O_{21}$)
ورباسکوز(۳ گالاکتوز+گلوکز+فروکتوز)*	پنتا ساکاریدها ($C_{30}H_{52}O_{26}$)
پنتوزان ها *	
هگزوزان ها: نشاسته،گلیکوژن، سلولز*، لامینارین*	**پلی ساکاریدها**
فروکتوسان ها: اینولین**	
گالاکتان ها	هوموپلی ساکاریدها
مانان ها	
پکتین: همی سلولز*،موکوپلی ساکاریدها	هتروپلی ساکاریدها
	سایر کربوهیدرات ها
(پلی مر N – استیل-گلوکزامین)	کیتین

* ترکیباتی با حداقل یک پیوند نوع β

** پلی ساکارید حاوی واحدهای گلوکزی

کادر ۱-۸) ساختار برخی از کربوهیدرات های مهم در تغذیه ماهی



۱-۸ - هضم - قابلیت هضم

هر چند فعالیت آمیلاز در ماهی را از اوایل دوره لاروی به بعد می توان مشاهده نمود(فصل۱۲)، اما بر اساس عادت غذایی، تغییرات زیادی در فعالیت آمیلاز ماهیان نوجوان ایجاد می شود(فصل ۳). در یک گونه مشخص ، قابلیت مصرف منابع مختلف نشاسته در دوران جوانی مشابه سایر مراحل رشد نیست. بطوریکه در طبیعت قابلیت هضم هیدراتهای کربن در ماهیان گوشتخوار پایین‌تر از ماهیان همه‌چیزخوار است. صرف نظر از نوع گونه، قابلیت هضم هیدراتهای کربن برای یک پیوند قندی مشخص (ناشی از وجود هیدرات کربن) به پیچیدگی مولکول بستگی دارد. ازینرو قندهای ساده نظیر گلوکز یا ساکارز از قابلیت هضم بالاتری نسبت به دکسترین یا نشاسته خام برخوردارند(شکل ۱۱-۴). این در حالیست که در عمل، گنجاندن قندهای ساده در ترکیب جیره ها مفید نبوده و از هیدراتهای کربن گیاهی با ساختار پیچیده نظیر نشاسته موجود در غلات، حبوبات، ریشه های غده ای جهت تنظیم غذاهای دستی استفاده می شود.

در تمام ماهی ها، انجام فرآوری هیدروترمال اولیه (شامل پخت و خروج با فشار، پولکی کردن، برشته کردن) قابلیت هضم هیدراتهای کربن پیچیده (جدول ۲-۸ و ۳-۸) و منابع انرژی قابل هضم جیره را افزایش می دهد. البته اثرات مفید ناشی از پختن بر قابلیت هضم هیدراتهای کربن در ماهیان آب شیرین و در ماهیان دریایی بوضوح به اثبات رسیده است. این فرآیند زمانی موثرتر خواهد بود که گونه‌ها دارای توانایی اندکی جهت هضم هیدراتهای کربن پیچیده باشند.

به این ترتیب استفاده از غلاتی نظیر گندم، ذرت، ترتیکالا یا حبوبات (نخود فرنگی) به عنوان منبع انرژی مستلزم فرآوری تکنولوژیک خاصی است. ظاهرا به منظور به حداکثر رساندن قابلیت هضم هیدرات کربن، ژلاتینه شدن تا میزان ۷۰ درصد مورد نیاز است. به این ترتیب ، این قبیل منابع هیدراته کربنی می‌توانند منجر به صرفه جویی در مصرف پروتئین شوند(فصل ۶). در این روش حبوباتی نظیر نخود فرنگی را می‌توان تا سطح ۲۵ درصد به جیره غذایی آزاد ماهیان افزود با این شرط که پوسته زدایی، اکسترود و پودر شده و سطح ژلاتینه شدن ترکیبات نشاسته ای آنها به ۸۰ درصد برسد.

جدول ۲-۸) بازدهی نسبی منابع مختلف هیدرات‌کربنی در برخی ماهیان استخوانی
توجه شود که همیشه بالاترین بازدهی بیان کننده بالاترین قابلیت هضم نیست.

مصرف نسبی منابع مختلف هیدرات‌کربنی	گونه
نشاسته ژلاتینه شده* < دکسترین* < گلوکز	کپور معمولی
نشاسته ژلاتینه شده < دکسترین < گلوکز	شانک دریایی ژاپنی
گلوکز،مالتوز،فروکتوز،ساکاروز < دکسترین < نشاسته غلات	گربه ماهی
فروکتوز،گالاکتوز،لاکتوز < گلوکز، مالتوز، ساکاروز، دکسترین، نشاسته پخته	ماهی آزاد چینوک
نشاسته خام < نشاسته پخته	ماهی خاویار سیبری
گلوکز، مالتوز <دکسترین، نشاسته خام	ماهی خاویار آمریکایی
نشاسته خام < نشاسته پخته	قزل آلا
نشاسته خام < نشاسته پخته	باس دریایی و شانک دریایی

* اصطلاح ژلاتینه شده به این اشاره دارد که فرآورده تحت تیمار حرارتی با شدت متفاوت قرار گرفته است. اصطلاح دکسترین (از لحاظ تجاری) مربوط به فرآورده ای است که تحت تیمار حرارتی خشک قرار گرفته است. درجه دپلیمریزاسیون متفاوت است.

۲-۸- متابولیسم گلوکز

بازدهی کلی پروتئین‌ها به عنوان منبع تولید انرژی همواره مربوط به قابلیت هضم آنهاست. حتی اگر ماهی قادر به هضم هیدراتهای کربن باشد، باز ممکن است استفاده متابولیک ماهی از گلوکز جذب شده پایین باشد. زمانیکه بیش از ۲۰ درصد قند ساده(گلوکز،ساکاروز) در جیره گنجانده شود، باعث بی میلی ماهی به غذای مصرفی می شود. در این رابطه بی میلی در برابر مقادیر بالای هیدراتهای کربن جیره غذایی به سبب قابلیت هضم ناچیز آن نیست بلکه این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که قندهای ساده حاصل از هضم بسرعت جذب شوند.

جـدول ۳-۸) داده هـای موجـود در رابطـه بـا قابلیـت هضـم (ضـریب ظـاهری هضـم:ADC) هیدراتهای کربن در قزل‌آلا (Bergot,1979; Kaushik & Medale, 1994)

داده ها	ضریب ظاهری هضم(ADC) نشاسته (درصد)
تاثیر ماهیت اجزا تشکیل دهنده	
نشاسته های خام	۳۹
برنج	٥٤
گندم	<٥
سیب زمینی	<۱٥
نشاسته کاساوا	۳۳
ذرت(۲۸٪ آمیلوز)	٥٤
ذرت وکسی(۹۹٪ آمیلوپکتین)	<۲۰
ذرت – آمیلو (٦٥ ٪ آمیلوز)	
نشاسته های اصلاح شده	
نشاسته کندم اکسترود شده	۹٦
نشاسته گندم ژلاتینه شده	۹٦
تاثیر میزان نشاسته ذرت خام گنجانده شده (جذب روزانه/ نرخ غذادهی/ مصرف روزانه)	
۰/۲٤ گرم/ در حد سیری / ۱۰٪	۳۸
۰/۷٥ گرم / در حد سیری / ۲٥٪	۲٦
۱/٦ / در حد سیری / ٤۰٪	۲۲
۰/۲۸/ در حد سیری / ٤۰٪	۳٦
۰/۷۸/ در حد سیری / ٤۰ ٪	۲٥
تاثیر دمای آب	
نشاسته خام (۳۰٪<)	
۸ ^{0}C	۳۱
۱۸ ^{0}C	٤۱
نشاسته ژلاتینه شده (۳۰٪<)	
۸ ^{0}C	٦٤
۱۸ ^{0}C	۷٥

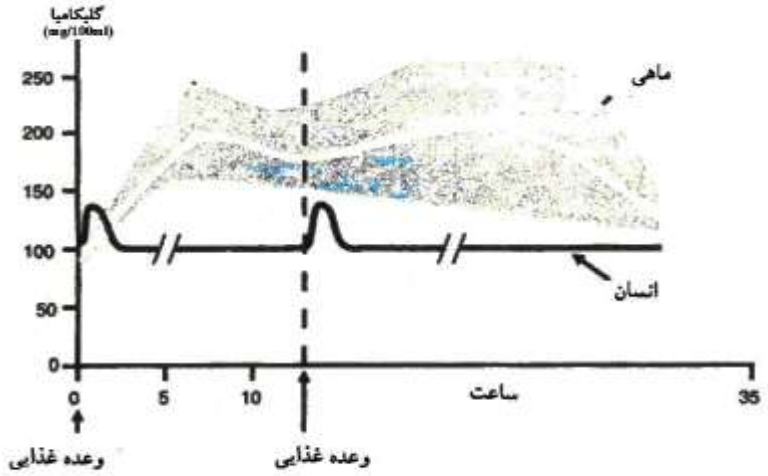
۱-۲-۸) بالا رفتن قند خون و کنترل آن توسط انسولین

در شرایط متابولیک، پس از صرف غذا بصورت یک وعده آزمایشی با ثبت منظم قند خون می توان بی‌میلی در برابر هیدراتهای کربن را مشاهده نمود. بر خلاف حیوانات تک معده‌ای خشک زی، قند خون در تمام ماهیان استخوانی پس از خوردن یک وعده غذای غنی از هیدراتهای کربن در سطح بالا باقی می‌ماند. بالا بودن قابل ملاحظه قند خون(که به میزان ۱۷ میلی مول بر لیتر یا ۳۰۰ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) بوده و بعد از ورود گلوکز در ماهیان استخوانی برای مدت زمان طولانی(که ممکن است تا ۲۴ ساعت برسد) مشاهده می شود (شکل ۱-۸). در این رابطه اختلاف ناچیزی بین گونه های مختلف ماهی وجود دارد. این حالت در انسان به میزان کمتر از ۷ میلی مول بر لیتر بوده و تنها برای چند ساعت روی می‌دهد. بالا رفتن قند خون پس از ورود گلوکز، یا بعد از یک وعده غذایی غنی از هیدرات‌کربن به علت عدم کنترل خون است. در ابتدا این پدیده را به سبب عدم ترشح هورمون انسولین نسبت می دادند و این حالت باعث شد که برخی محققان، ماهی ها (قزل آلا، گربه ماهی کانالی، دم زرد و غیره) را به عنوان حیوانات ذاتاً دیابتیک معرفی نمایند.

با انجام آزمایشهای ویژه (RIAs) بر انسولین ماهی ثابت شد که ماهی ها قادر به ترشح هورمون انسولین هستند. مقادیر ترشحی از ۱ تا ۳ نانو گرم در میلی لیتر در ماهیان گرسنه متغیر است. در ماهیان تغذیه شده، سطوح ترشحی خیلی بیشتر و مقادیر آن در پلاسما از ۵ تا ۴۸ نانوگرم در میلی‌لیتر متغیر است. بنابراین هم اکنون مشخص شده که در اغلب ماهیان، ترشح هورمون انسولین عامل محدود کننده نیست. ورود انسولین، قند خون را در قزل آلا دقیقا مشابه سایر گونه ها پایین می آورد. بنظر می رسد که نقش انسولین (کاهنده قند خون[1]) و گلیکوژن (افزاینده قند خون[2]) در ماهیها مشابه حیوانات خشک زی است، البته اطلاعات مربوط به گلیکوژن بسیار محدود است. ضمن آنکه در بافت های مختلف ماهی گیرنده های انسولین وجود دارند. یقینا اختلافات بین گونه‌ای قابل توجهی بخصوص در رابطه با گیرنده های موجود در بافتها و فعالیت تیروزین کیناز وجود دارد که در برخی گونه ها مانند کپور معمولی بیش از قزل‌آلاست.

---

[1] hypoglycaemiant
[2] hyperglycaemiant



شکل ۱- ۸) مقایسه قندخون در ماهی و انسان. ناحیه سایه دار مطابق با نوسانات سطوح قند خون به علت تغییر در میزان ورود هیدرات‌کربن است.

از سوی دیگر، در شرایط معمولی، ورود مقادیر زیاد هیدراتهای‌کربن قابل جذبی که موجب ایجاد وقفه در عملکرد کبد به علت بزرگ شدن آن می شود، بر متابولیسم چربی یا هیدرات‌کربن نیز تاثیرگذار است.

۲-۲-۸) فسفوریلاسیون گلوکز

مرحله اصلی فسفوریلاسیون گلوکز (تبدیل گلوکز به گلوکز ۶ – فسفات) توسط هگزوکیناز ها انجام می‌شود. در ابتدا برخی محققان چنین تصور می کردند که فعالیت این آنزیم ها پایین بوده و ظرفیت فسفوریلاسیون گلوکز محدود است. اما تحقیقات اخیر نشان داده که گلوکوکیناز در مقادیر زیاد موجود بوده و میزان فعالیت آن در سطح بیوشیمیایی و مولکولی بیانگر میزان کربوهیدرات موجود در جیره غذایی است (Panseral *et al*., 2000). به رغم حضور ناقل گلوکز در پستانداران، در رابطه با حضور آنها در ماهی ها اختلاف نظر وجود دارد.

مطالعات انجام شده در مورد تیلاپیا و با استفاده از آنتی بادی های آنتی- Glut بیانگر حضور مقادیر بسیار کم Glut-۱ و فقدان Glut -۴ بودند. اما مطالعات پیرامون قزل آلای رنگین کمان و قزل آلای قهوه ای حضور هر دو را ثابت نمود.

۳-۲-۸) کاتابولیسم هیدراتهای کربن

۱-۳-۲-۸) گلیکولیز

گلیکولیز مهمترین مسیر کاتابولیسم گلوکز در بافت های ماهی است. در مسیر گلیکولیز، گلوکز همراه با تشکیل ATP به پیروات تبدیل شده و موادی با قابلیت اکسید شدن را برای چرخه تری کربوکسیلیک اسید در شرایط هوازی بوجود می آورد. وجود شرایط بی هوازی در عضله سفید ماهی موجب تشکیل لاکتات می شود. کل آنزیم های درگیر در گلیکولیز (فصل ۵) در بافت گونه های مختلف ماهی وجود دارد. بیشترین فعالیت گلیکولیز در قلب و عضلات اسکلتی مشاهده می شود، اما این فعالیت ها در کلیه و کبد ماهی پایین است. علاوه بر این، گلیکولیز پیش از اینکه به منظور اکسیداسیون در تولید پیروات فعال شود، پیش‌زمینه‌های مورد نیاز جهت بیوسنتز را فراهم می کند.

تمام واکنش های گلیکولیز برگشت‌پذیر بوده و به جز سه مرحله شامل کاتالیز شدن توسط هگزوکیناز (تشکیل گلوکز- ۶ – فسفات)، فسفوفروکتوکیناز (تشکیل فروکتوز-۱ و ۶ – دی‌فسفات) و پیروات کیناز (تبدیل فسفانول پیروات به پیروات)، می توانند در مسیر سنتزگلیگوژن فعالیت کنند. این مراحل بخصوص در آزادماهیان جزء مراحل محدود کننده گلیکولیز محسوب می شوند.

۲-۳-۲-۸) مسیر نهایی پیروات حاصل از گلیکولیز

ـ **تشکیل لاکتات :** تحت شرایط بی هوازی نظیر فعالیت شدید عضلانی، پیروات توسط لاکتات دهیدروژناز به لاکتات تبدیل می شود. این واکنش برگشت پذیر در سیتوزول صورت می گیرد و طی این واکنش، NAD^+ تولید می شود که موجب حفظ پتانسیل احیا سلول شده و تشکیل اکسالواستات را تحریک می کند. مصرف پیروات به این شکل نسبت به مسیر اکسایشی موجود در عضله سفید ماهی، غالب تر است.

در ماهیان نیز همانند پستانداران، لاکتات دهیدروژناز دارای چندین نوع ایزوزیم است که در بافت های مختلف به اشکال متفاوتی مشاهده می شوند اما در ماهیان دمای مورد نیاز برای حداکثر فعالیت ایزوزیم ها بسیار پایین تر از دمای مورد نیاز آنزیم های پستانداران است که این به علت تفاوت در چگونگی اتصال آنزیم و تاثیر آن در سوبسترای مربوطه است. در کپور لاکتات دهیدروژناز عضله نسبت به pH حساسیت کمی داشته و فعالیت آن حتی در pH پایین نیز حفظ می شود که این امر را می توان به عنوان نوعی سازگاری با شرایط سخت ناشی از کاهش اکسیژن دانست. از گونه‌ای به گونه دیگر فعالیت این آنزیم تفاوت داشته و در ماهیان با شنای سریع بالاتر است.

ـ تشکیل استیل کوآنزیم A : پیروات از طریق دکربوکسیلاسیون به استیل کوآنزیم A تبدیل می شود و سپس می تواند در چرخه TCA اکسید شود. مرحله دکربوکسیلاسیون در شبکه میتوکندری توسط پیروات دهیدروژناز و تبدیل به تیامین پیروفسفات صورت می گیرد که به شکل فسفری شده غیر فعال و به شکل دفسفره شده فعال وجود دارد. فعالیت این ترکیب آنزیمی از طریق ATP موجود در میتوکندری بافتهای اکسیژن‌خواه صورت می گیرد.

۳-۳-۲-۸) سایر مسیرهای کاتابولیسم گلوکز

مسیر پنتوز فسفاتی که مسیر فرعی فسفوگلوکونات نیز نامیده می شود، منجر به سنتز ریبوز ۵ – فسفاته از گلوکز ۶ – فسفاته به همراه تولید NADPH می گردد. این ماده دارای یک ناقل انرژی همراه با توان احیا کنندگی بالا بوده و بویژه برای سنتز اسیدهای چرب و استروئیدها مورد نیازاست. در مسیر پنتوز، ریبوز مورد نیاز برای سنتز اسیدهای نوکلئیک نیز فراهم می شود. در ماهی، آنزیم های فعال در مسیر اکسایشی عمدتا در کبد وجود داشته و سنتز آنها به دما حساس است.

تخمیر الکلی که وقوع آن تنها در موجودات زنده تحت شرایط بی هوازی مشاهده می شود، در ماهی حوض نیز در صورت شرایط طولانی بدون اکسیژن قابل مشاهده است، هرچند این شواهد پایه علمی مستندی ندارد.

مسیر تجزیه گلوکز به گلوکورونیک اسید و آسکوربیک اسید در ماهی ناقص است. فقدان گلونولاکتون اکسیداز مانع از سنتز آسکوربیک اسید (ویتامین C) می شود(فصل ۹).

این در حالیست که واکنش های اولیه که منجر به سنتز گلوکورونات می شوند به این علت که پس‌مانده‌های گلوکورونیل برای سنتز اسیدهای پلی ساکارید طی واکنش های سم زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای اهمیت می باشند.

۳-۸ - سنتز و متابولیسم گلیکوژن

اطلاعات محدودی در زمینه نیاز کلی ماهی به گلوکز وجود دارد اما مطالعات نشاندهنده پایین بودن این نیاز در ماهی ها است (حدود ۵۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در روز). سرعت تغییر و تبدیل گلوکز در دستگاه گردش خون در مقایسه با پستانداران(کمتر از ۳۰ دقیقه) کند است (بیش از ۵ تا ۶ ساعت). تغییر و تبدیل گلوکز با توجه به گونه، شرایط زیست محیطی و وضعیت تغذیه ای از ۲ تا ۵۵ میلی مول به ازای هر کیلوگرم از وزن بدن در دقیقه متغیر است.

۱-۳-۸) گلیگوژنئوژنزیز (سنتز گلوکز از منابع غیر قندی)

مسیرهای متابولیک گلیگوژنزیز (تشکیل گلوکز از مواد غیر هیدرات‌کربنی) تقریبا مشابه سایر گونه های جانوری بوده و کبد و کلیه مکان های اصلی این واکنش ها هستند. در اغلب ماهیان استخوانی، اسیدهای‌آمینه نقش مهمی در گلیگوژنئوژنزیز (کپور،قزل آلا، گربه ماهی،باس) بر عهده دارند. اسیدهای‌آمینه سازنده گلوکز نظیر آلانین، سرین یا گلایسین در مقاسیه با اسپارتیک اسید ارجحیت دارند. میزان سنتز گلوکز از آمینو اسیدهای حاصل از تجزیه پروتئین ها در بدن بالاست. هنگام افزایش مقدار پروتئین در جیره غذایی، فعالیت آنزیم های درگیر در این سنتز افزایش یافته و فعالیت های آنزیم های مربوط به گلیکولیز کاهش می یابد.

۲-۳-۸) ذخائر گلیکوژن

نحوه ذخیره هیدرات‌کربن در بدن ماهی نظیر حیوانات عالی است. ذخیره گلیکوژن در کبد ماهی از ۱۰۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ واحد گلوکز است. در بین بافت ها اختلافات زیادی از نظر میزان ذخیره گلیکوژن وجود داشته و ذخائر مغز،کبد و عضله قرمز نسبت به عضله سفید بالاتر از سایر اندامهاست.

مقدار این ذخیره در مغز تا ۳۵۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم می رسد. در عضله سفید این مقدار از ۴۰ تا ۲۰۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم، در عضله قرمز بین ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی گرم به ازاء هر ۱۰۰ گرم متغیر است. میزان ذخیره گلیکوژن در کبد از یک تا ۱۲ درصد بافت تازه متغیر بوده و نسبت مستقیم با منبع هیدرات‌کربن جیره دارد. همچنین بین مصرف هیدرات‌کربن و مقدار گلیکوژن کبد رابطه مستقیم وجود دارد.

۳-۳-۸) مصرف ذخائر (گلیگوژنولیزیز)

تجزیه گلیکوژن به واسطه فعالیت گلیکوژن فسفریلاز صورت می گیرد و در بسیاری از گونه ها قابل مشاهده است. در قزل آلا، این آنزیم نه تنها در عضله سفید بلکه در کبد نیز وجود دارد. در مقابل، بنظر نمی رسد که ارتباطی بین کاتابولیسم گلیکوژن و فعالیت فسفوریلاز وجود داشته باشد. فعالیت این آنزیم در ماهی مورد بحث و اختلاف نظر است. در مورد گلیکوژن نیز همانند اسیدهای چرب، یک مسیر تجزیه لیزوزومی وجود دارد که بنظر می رسد در عضله اهمیت بیشتری دارد.

بطورکلی، گلیکوژن یک منبع انرژی زاست که در بافت های ماهی بجز عضله سفید، به مقدار بسیار ناچیز مصرف می شود. استفاده از گلیکوژن بخصوص در صورت وجود استرس (کمبود اکسیژن در بافت، فعالیت بدنی) منجر به افزایش ذخیره لاکتات می شود. در عضلات سفید استفاده از ذخائر گلیکوژن در مقایسه با عضله قرمز یا کبد خیلی سریع صورت می گیرد. در مورد کبد، مقدار گلیکوژن و استفاده از آن به وضعیت تغذیه قبلی بستگی دارد. در ماهیانی که با جیره های غنی از هیدراتهای‌کربن قابل هضم تغذیه می شوند، ذخائر گلیکوژن کبد خیلی بالاست، اما طی دوره گرسنگی بسرعت کاهش می یابد. در مقابل، در ماهیان تغذیه شده با جیره هایی با مقادیر پایین‌تر هیدراتهای‌کربن، استفاده از این ذخائر طی دوره گرسنگی کندتر است. در طبیعت حتی پس از دوره های طولانی گرسنگی نظیر آنچه که در آزادماهیان همزمان با رسیدگی جنسی و آمادگی جهت تخم ریزی در مسیر مهاجرتشان یا در کپور معمولی هنگام زمستان رخ می دهد، ذخائر گلیکوژن فقط اندکی کاهش می یابد. در مورد مهره داران عالی که استفاده از گلیکوژن کبد در مقایسه با عضله خیلی سریع است، وضعیت بگونه ای دیگر است. به رغم این واقعیت، بالا رفتن قند خون بندرت در ماهیان گرسنه مشاهده می شود که احتمالا ناشی از کاهش کلی فعالیت متابولیک (در نتیجه مصرف گلوکز) و همچنین سنتز گلیکوژن است.

بنظر می رسد که گلیکولیز و سنتز گلیکوژن در ماهی که مسیرهای اصلی کاتابولیسم هیدراتهای کربن هستند از فعالیت کمی برخوردار باشند. برای مثال، تزریق گلوکاگون در ماهی نظیر سایر حیوانات موجب بالا رفتن قند خون می شود. هر چند اثر بالا رفتن قند خون بیشتر به علت افزایش سنتز گلیکوژن است تا استفاده از ذخائر گلیکوژن کبدی. تزریق آنزیم مسئول سنتز گلیکوژن به نحو موثری اثر بالا رفتن گلوکاگون خون را خنثی می کند. افزایش ذخیره هیدرات کربن منجر به افزایش فعالیت آنزیم های درگیر درهر دو مسیر گلیکولیز و پنتوز(به ویژه گلوکز ۶- فسفات دهیدروژناز) و سنتز چربی می شود. در رابطه با افزایش ذخیره چربی عکس این حالت وجود دارد(فصل ۷).

٤-۸ - اهمیت و محدودیت های نقش انرژی زایی هیدراتهای کربن

متوسط انرژی خام هیدراتهای کربن در حدود ۱۶/۷کیلوژول بر گرم (۱۵/۹در مورد گلوکز و ۱۷/۶ در مورد نشاسته) است. هنگام غذادهی ماهی، توجه به مقادیر انرژی قابل هضم هیدراتهای کربن حائز اهمیت است، چون این شاخص ها به مقدار قابل ملاحظه ای متغیرند (مراجعه به بخش قبل). علاوه بر این، مقدار انرژی بر حسب انرژی خالص نیز با توجه به نوع گونه متفاوت خواهد بود. گنجاندن قندهای ساده در جیره آبزی پروری مقرون به صرفه نبوده و تنها هیدراتهای کربن پیچیده برای ساخت غذاهای ترکیبی مناسبند. مطالعات مختلف در مورد قزل آلا نشان داده که در صورت وجود غلظت متعادلی از پروتئین، میزان رشد و ضریب تبدیل غذایی را می توان با گنجاندن پلی ساکاریدهایی نظیرنشاسته در جیره افزایش داد.

با توجه به منابع گیاهی تامین کننده نشاسته، انواع متفاوتی از نشاسته وجود دارد. درکپور معمولی و قزل آلا، مصرف نشاسته خام گندم بهتر از ذرت یا سیب زمینی است. در این رابطه ظاهراً حرارت‌دهی و پختن عامل مؤثری است. چنین بنظر می رسد که وجود بازدارنده آمیلاز در گندم اثر زیانباری بر ماهیان یا حداقل در گونه هایی نظیر کپور معمولی ندارد و نیز ثابت شده که افزایش تعداد وعده های غذایی می‌تواند مصرف هیدرا تهای کربن را در گونه ها بهبود بخشد. این پدیده را تا حدودی می توان ناشی از اثرات احتمالی هیدراتهای کربن غیرقابل هضم (فیبر) بر سرعت انتقال مواد گوارشی دانست. برخی داده ها در رابطه با میزان بهینه هیدراتهای کربن در جیره غذایی گونه های مختلف در جدول ۴-۸ ارائه شده است.

اثر هیدراتهای کربن قابل هضم بر صرفه جویی در مصرف پروتئین نیز تابع تغییرات زیادی است. هر چند بنظر می رسد که بطورکلی تامین انرژی قابل هضم از طریق انرژی قابل هضم هیدرتهای کربن غیر ضروری اثر مفیدی از نظر افزایش رشد و استفاده از پروتئین در اغلب گونه ها ندارد.

۵-۸- فیبر و ترکیبات پرکننده

۱-۵-۸) تعریف

فیبرها گاهی به عنوان ترکیبات سلولزی، ترکیبات دیواره(سلول های گیاهی) یا حتی plantix (ماده x که همواره دارای منشاگیاهی است) نامیده می شوند و هیچگاه بطور کامل تعریف نشده اند. این ترکیبات عمدتا شامل هیدراتهای کربنی با درجات مختلف پیچیدگی (کادر۱-۸) بوده که قادر به تجزیه توسط آنزیم های مهره داران عالی نیستند. این در حالی است که لیگنین که از خانواده فیبرهاست) یک پلی فنیل بوده و پلی ساکارید محسوب نمی شود. این ترکیبات عمدتا ساختار رشته ای دارند که در مورد لیگنین صدق نمی کند.

فیبرها در حیوانات تک معده ای عمدتا به عنوان پرکننده یا مواد حجم دهنده عمل انتقال مواد گوارشی را تسهیل می کنند و می توانند به صورت جزئی تجزیه شوند، بنابراین نقش اندکی در تغذیه بر عهده دارند.

۲-۵-۸) ارزیابی‌ها

در روش های معمول اندازه گیری همواره نتایج ثابتی حاصل نمی شود. با روش بسیار ساده و قدیمی«وینل[1]» می توان مجموع سلولز و لیگنین (فیبر خام) را البته در مقادیر خیلی کمتر از حد واقعی برآورد نمود. روش«ون سوست» امکان اندازه گیری سه جزء اصلی را فراهم کرده وبرآوردهای مطلوبی در مورد سلولز و همی سلولز ها ارائه می دهد(جدول۵-۸). اما پکتین ها را نمی توان با استفاده از این روش اندازه گیری نمود. همچنین چنانچه این روش در مورد ترکیبات غنی از نشاسته بکار رود، خطای زیادی بهمراه خواهد داشت در این رابطه استفاده از روش اصلاح‌شده گیگر و همکاران (۱۹۸۷) مفید است.

در صورت اندازه گیری مجموع لیگنین ، سلولز، همی سلولز و پکتین می توان کل ترکیبات دیواره سلولی را اندازه گیری نمود(Carre & Brillovet, 1989).

[1] Weenele

تنها در مورد غلات، اندازه گیری NDF[1] در روش ون سوست را می توان جایگزین اندازه گیری بر اساس روش کاری و بریلوت کرد، زیرا گیاهان تک لپه‌ای تقریبا فاقد پکتین هستند.

جدول ٤-۸) حداکثر مقادیر قابل توصیه هیدراتهای کربن قابل هضم برای گنجاندن در جیره غذایی گونه های مختلف (درصد)

گونه ها	محدوده
آزاد ماهیان	۲۵-۳۰
کپور ماهیان	٤۰-٤۵
گربه ماهیان	۳۰-۳۵
ماهیان خاویاری	۲۵-۳۰
مارماهی	۲۵-۳۰
تیلاپیا	۳۵-٤۰
کفشک، ماهی پهن	۱۵-۲۰
باس دریایی	۲۵-۳۰
شانک دریایی	۲۵-۳۰
ماهیان مناطق حاره ای	
خامه ماهی	۳۵-٤۰
باس دریایی حاره ای	۲۰-۲۵
باس کانالی	۲۰-۲۵
دم زرد	۱۰-۱۵

۳-۵-۸) نقش‌های تغذیه‌ای

ترکیبات فیبری بجز لیگنین توسط اسید هیدروکلریک موجود در معده و بویژه آنزیم های موجود در فلور باکتریایی مورد هضم جزئی قرار گرفته و حتی در گونه هایی که تمایل بیشتری به علفخواری دارند، هضم بیشتری انجام می شود. طبقه بندی بترتیب افزایش قابلیت هضم به این صورت است.

پکتین ها > همی سلولز ها> سلولز > لیگنین

[1] Neutural Detergent Fibre

جدول ۵-۸) روش های معمول اندازه گیری ترکیبات اصلی فیبر جیره غذایی

پکتین+ همیسلولزها+سلولز+ لیگنین همی سلولز+سلولز+لیگنین سلولز+لیگنین لیگنین	(دیواره های سلول های گیاهی) PCW* NDF** (neutural detergent fibre) ADF** (acid detergent fibre) ADL** (acid detergent lignin)
	اختلافات:
پکتین ها همی سلولزها سلولز	PCW – NDF NDF – ADF ADF - ADL

* روش کاری و بریلوت ، ۱۹۸۹

* * روش اصلاح شده Giger *et al.*,1987 : Van Soest

قابلیت هضم پلی ساکاریدهای با منشا آبی (آلژینات و کاراگینان ها) در ماهی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. این قابلیت یقینا صفر یا خیلی ناچیز است و در برخی مواقع از آنها به عنوان مواد همبند جهت پایداری ذرات غذایی و مدفوع در آب استفاده می شود. برخی مطالعات کیفی به وجود قابلیت بالای هضم پلی ساکاریدها در میزان بسیار کم و صرفا در برخی گونه های علفخوار حقیقی، اشاره دارند. در ماهیان همه چیز خوار (کپور، تیلاپیا و غیره)، این اطلاعات اندک بوده اما در کل پر واضح است که قابلیت هضم فیبر ناچیز است. حتی درکپور علفخوار این قابلیت در مورد سلولز عملاً صفر است. در ماهیان گوشتخوار، می توان چنین فرض نمود که تمام ترکیبات دیواره سلولی شامل پکتین غیر قابل هضم هستند.

٤-٥-٨) سایر عملکردها

در مهره داران خشک زی بین مقدار فیبر و قابلیت هضم انرژی ارتباط منفی وجود دارد. این اثر کلی شامل تاثیر ترکیبات قابل هضم در کم شدن فرآیند هضم می باشد که گاهی با اثر منفی بر ترکیبات دیوار سلولی (عمدتا لیگنین و سلولز) همراه است و ظاهرا در ماهی ها مشابه است.

فیبر دارای اثر محرک بر انتقال مواد گوارشی است و سهم انرژی قابل هضم را از طریق افزایش میزان مصرف در مهره داران عالی جبران می کند. در مقابل، ترکیبات فیبر خام که همانند ژل ها(صمغ ها و پکتین) عمل می کنند، سرعت تخلیه معده را کاهش می دهند.

بسیاری از اثرات دیگر فیبر، چه مفید و چه مضر مورد بررسی قرار گرفته یا در حال حاضر موضوع مورد مطالعه (شامل پوسته پوسته شدن سلول های روده، افزایش دفع کلسترول و املاح معدنی) در مهره داران عالی می باشند. بیشتر این اثرات بر ماهی ها هنوز به میزان اندک شناخته شده است. حتی تعیین دقیق میزان فیبری که باید در غذای ماهیان گوشتخوار یا همه چیز خوار گنجانده شود، غیر ممکن است و ظاهراً میزان ۱۰ درصدی مورد استفاده در جیره های آزمایشی بیشتر تصادفی است.

در جیره های آزمایشی، سلولز را براحتی می توان برای رقیق کردن جیره ها به کار برد بدون اینکه مصرف مواد غذایی را تغییر دهد. گنجاندن برخی مواد همبند (آگار، آلژینات، guar gum و کاراگینان ها)یا حتی سبوس تا سطح خاصی که می تواند به ۴ یا ۵ درصد هم برسد، انسجام مدفوع را بهبود می بخشد و همچنین باعث می شود که اندازه گیری قابلیت هضم را مستدل تر سازد بدون اینکه اختلالی در بهره‌برداری گوارشی ایجاد نماید. در نهایت، کربوکسی متیل سلولز که سلولز تغییر یافته از لحاظ شیمیایی است، یک ماده همبند با ویژگی های ژله ای است که احتمالاً بالا رفتن قند خون در ماهی را پس از تغذیه کاهش می دهد.

٦-۸ - خلاصه

به طور کلی، ماهی ها نظیر مهره داران خشک زی قابلیت بالایی در مصرف هیدراتهای کربن ندارند. این قابلیت در رابطه با هیدراتهای کربن قابل دسترس و هیدراتهای کربنی صدق می کند که در طبقه فیبرها قرار می گیرند. مقدار نشاسته ای که در حال حاضر در داخل غذاهای ماهی گنجانده می شود خیلی بیشتر از میزان تعیین شده در دو دهه اخیر است. در مورد برخی گونه ها در صورت شرایط اقتصادی مطلوب، میتوان مقدار بیشتری از انرژی هیدراتهای کربن را عرضه نمود. البته پیش از انجام این کار توصیه می شود که گونه های معینی را به عنوان گونه های هدف انتخاب کرد و ویژگیهای فیزیولوژیک آنها را مورد مطالعه قرار داد.

«فصل ۹»

ویتامین‌ها

مفهوم کلی ویتامین در اواخر قرن نوزدهم شکل گرفت. تا قبل از شناسایی ویتامین ها، بسیاری از اثرات مواد غذایی توسط هیچ یک از مواد شناخته شده تا آن زمان، قابل توجیه نبود. در سال ۱۹۸۴ ویتامین B_{12} به صورت سیانوکوبالامین شناسایی و فرمول آن در سال ۱۹۵۵ تعیین گردید. فهرست ویتامین ها بسته شده و هیچ ویتامینی به آن اضافه نمی شود.

مطالعات انجام شده پیرامون مصرف ویتامین در ماهی به بعد از این تاریخ باز می گردد. در این زمینه سوالات بسیاری مطرح شد که از آن جمله، آیا میزان نیاز ماهی به ویتامین ها مشابه مهره‌داران عالی است؟ علائم کمبود ویتامین ها در ماهیان شامل چه مواردی است؟ تاکنون پاسخ های مناسبی برای این سوالات یافت نشده است و بسیاری از مفاهیم از طریق مطالعات کاربردی و مهمی بدست آمده که در مورد روی مهره داران عالی انجام گردیده است.

این فصل نقش هر یک از ویتامین ها و علائم کمبود آنها را تشریح می کند. مقادیر مورد نیاز از هر یک از ویتامین ها در ضمیمه C ارائه شده است.

۱-۹- تعاریف

اصطلاح ویتامین در سال ۱۹۱۰ توسط فانک مطرح شد تا از این طریق اصطلاح آمین ضروری برای حیات را تشریح کند که امروزه تیامین یا ویتامین B_1 می نامیم.

بنابراین، افزودن ترکیبات ضروری در میزان کم، ویتامین نامیده می شوند، حتی با وجودیکه برخی از آنها فاقد پروتئین بودند، بسرعت به عنوان ترکیبات ضروری برای حیات مطرح شدند.

طی مطالعات انجام شده، وضعیت های پاتولوژیک ناشی از کمبود ویتامین ها در حیوانات تغذیه شده با جیره های خالص مورد بررسی قرار گرفتند(ظاهرا علائم ناشی از کمبود ویتامین ها در حیوانات وحشی ناشناخته مانده است). نامگذاری ویتامین ها برای مثال آنتی پلاگرا، آنتی بری و ضد نرمی استخوان در نتیجه مطالعه این علائم بوده است. اگر چه منطقی‌تر بنظر می رسد که ویتامین ها بواسطه نقش مثبتشان در شرایط طبیعی همراه با قابلیت آنها در رفع تخریب های ناشی از یک کمبود، تعریف شوند. ویتامین ها به عنوان ترکیبات آلی ضروری برای موجود زنده سنتزنمی‌شوند و با اسیدهای چرب ضروری و اسیدهای‌آمینه ضروری تفاوت دارند. بنابراین، ویتامین ها ترکیبات غیر پلاستیکی و کاتالیتیک هستند که مشابه اسیدهای‌آمینه و اسیدهای چرب نبوده و به میزان بسیار کم مورد نیاز هستند.

توجه به این نکته ضروری است که ناتوانی سنتز ویتامین ها مربوط به تمامی ویتامین های موجود نیست. برای مثال، نیاسین می تواند از یک نوع اسید آمینه به نام تریپتوفان (به میزان بسیار کم در ماهی وجود دارد) ساخته شود، کولکلسی فرول (ویتامین D) در حضور اشعه ماوراء بنفش به میزان کافی (هر چند این اشعه به میزان بسیار کم به داخل آب نفوذ می کند) از کلسترول ها ساخته می شود. رتینول نیز از برخی پیش سازها(عمدتا بتا- کاروتن) مصرف شده از طریق جیره غذایی، تامین می شود. به این ترتیب، ناتوانی در سنتز ویتامین ها نسبی است. در مقابل، ترکیباتی نظیر کارنیتین به مقدار کم و ناقص سنتز می شوند. به این عوامل موثر در رشد به طور مختصر اشاره خواهد شد.

اسامی ویتامین ها هنوز هم پیچیده و مبهم است. در گذشته مرسوم بود که برای نامگذاری ویتامین از یک حرف بزرگ همراه با یک پسوند استفاده می شد. به دنبال برگزاری کنفرانس هایی و بر اساس دستورالعمل های ارائه شده فقط استفاده از نام مولکول لازم است، اما اغلب اوقات برای افراد غیر متخصص این نام ها پیچیده و بدون مفهوم است. همچنین هنگام استفاده از یک حرف بزرگ همراه با یک پسوند، بسیار نامشخص و دو پهلو می باشد. برای مثال، پانتوتنیک اسید در زبان آلمانی ویتامین B_3 ، در زبان انگلیسی B_5 و در زبان فرانسه B_3 یا B_5 عنوان می شود. اخیرا B_7 برای کولین طراحی شده و B_5 برای آدنین بکار میرود که یک باز پورین بوده و به عنوان عامل موثر بر رشد عمل می کند.

به این ترتیب، ضروری است که اسامی که از یک حرف بزرگ و پسوند ساخته شده اند در مـواردی بکـار روند که هیچ گونه ابهامی وجود ندارد.

۲-۹ - کلیات

۱-۲-۹) خصوصیات ویتامین ها و انواع آنها

اسید آسکوربیک مولکولی است کـه خصوصـیات ویتـامینی آن در بـین گونـه هـا متغیـر اسـت. در اکثـر مهره‌داران پریمات ها (شامل انسان) و برخی از گونه ها نظیر خوک هندی، این مولکول از گلـوکز سـاخته می شود. ماهی ها بزرگترین گروه از مهره داران را تشکیل می دهند که این مولکول در بدن آنها به عنوان نوعی ویتامین عمل می کند.

بعضی مواقع وجود فلور روده ای فعال باعث پیچیدگی موضوع می شـود، بـه ایـن صـورت کـه بسـیاری از باکتری ها میزان قابل توجهی از ویتامین های گروه B و K را سنتز می کنند و میزبان تا حد معینی میتوانـد از ویتامین های سنتز شده استفاده کند. یک حیوان با فلور فعال می تواند بسیاری از ویتامین هایی مورد نیـاز بدن را تامین کرده و نسبت به جذب آنها از طریـق جیـره غـذایی بـی تفـاوت باشـد. در مـاهی نقـش فلـور روده‌ای بجز در موارد بسیار کمی، محدود شده و جذب از طریق جیره تنها منبع تامین ویتامین هاست.

۲-۲-۹) طبقه بندی

ویتامین ها گروهی هستند که نه جـزء مـواد شـیمیایی بـوده و نـه عملکـرد آنهـا متجـانس و همگـون اسـت (جدول ۹-۱) بنابراین، طبقه بندی آنها بسادگی امکان پذیر نیست. براساس خصوصـیات فیزیکـی دو دسـته ایجاد شده اند: ۴ ویتامین حلال در چربی (ویتامین های A,D,E,K) یا ویتامین های گروه A که در روغنها و حلال هایشان حل می شوند و ۱۱ ویتامین حلال در آب که گاهی اوقات به ویتامین های گروه B نسـبت داده می شوند. در حقیقت کل ویتامین های حلال در آب ۸ عدد بوده، اما از آنجائیکه ویتامین C و کولین و اینوزیتول نیز در آب حل می شوند، جزء این گروه محسوب می شوند.

۳-۲-۹) پایداری و قابلیت دسترسی

حساسیت و آسیب پذیری برخی ویتامین ها در زمان فرمولاسیون و ساخت غذا یکی از دلایل عمده عدم کارآیی برخی مزارع پرورش است. تعدادی از ویتامین ها اصلا آسیب پذیر نبوده و بشدت پایدارند. برای مثال، اسید پانتوتنیک و نیاسین علاوه بر اینکه در محیطهای قلیایی جوشان پایدار می مانند، حتی پس از این تیمار نیز امکان دسترسی به آنها بیشتر می شود. اما بطورکلی، ویتامین ها حساس و شکننده بوده که در این خصوصیت آنها مشابه اسیدهای چرب ضروری می باشند. در زمان کاربرد این گروه از مواد غذایی به علت عملکردهای مجزا و متفاوت هر یک از آنها، باید احتیاط لازم در نظر گرفته شود. به این ترتیب، رتینول (ویتامین A) نسبت به اکسیداسیون، ریبوفلاوین (ویتامین B_2) نسبت به نور، اسید آسکوربیک نسبت به pH قلیایی و توکوفرول (ویتامین E) نسبت به گرما و اشعه ماورا بنفش حساسند. از نظر کاربردی، پایداری ویتامین ها تحت شرایط تعریف شده در ترکیبات طبیعی ساخته شده از مواد خام و مولکول های سنتز شده یکسان نیست و این مسئله در مورد محصولات تجاری از جمله نمک ها یا سایر اشکال صدق میکند که انتخاب آنها بر اساس پایداری و دوام آنها صورت می گیرد.

پالمیتات یا استات رتینول، استات توکوفرول و پانتوتنیک کلسیم به ترتیب نسبت به رتینول، توکوفرول و پانتوتنیک اسید بسیار پایدارند. ویتامینC یک ویتامین بی نهایت حساس و آسیب پذیر است، اما اشکال سولفاته و بخصوص فسفاته آن بسیار پایدار است. محصولات تجاری همواره به همان شکل گنجانده شده در جیره های غذایی، فعال نیستند. به این ترتیب، آلفا- توکوفرول استات یا فسفات آسکوربیل چون صرفا در شکل ویتامین های واقعی قابل جذبند، ابتدا بایستی هیدرولیز شوند.

جدول ۱-۹) طبقه بندی ویتامین ها

کارکردهای متابولیک	اشکال بیولوژیک فعال	اسامی شیمیایی	خانواده ویتامین ها
کوآنزیم پروهورمونال ها	رتینول رتینال اسید رتنیوئیک	رتینول، رتینال، اسید رتنیونیک رتینیل پالمیتات* یا استات بتا کاروتن (پروویتامین)	A
پروهورمونال ها	دی هیدروکسی ارگوکلسیفرول $(1,25(OH)_2D_2)$ دی هیدروکسی کولکلسیفرول $(1,25(OH)_2D_2)$	ارگوکلسیفرول(D_2) کولکلسیفرول(D_3)	D
ناقل H^+/e^- (پروتئین غشایی)	آلفا توکوفرول	توکوفرول ها ، آلفا- استات توکوفرول*	E
کوآنزیم، ناقل H^+/e	فیلوکوئینون مناکوئینون	فیلوکوئینون (k_1) مناکوئینون (k_2)، منادیون (k_3)*	K
کوآنزیم	تیامین پیروفسفات (TPPH) تیامین تری فسفات (TTPH)	تیامین کلروهیدرات *	B_1
کوآنزیم، ناقل H^+/e	فلاوین مونونوکلئوتید (FMN) فلاوین آدنین دی نوکلئوتید (FAD)	ریبوفلاوین	B_2
کوآنزیم، ناقل H^+/e	نیکوتین آمید آدنین دی نوکلوتید (NAD)، نیکوتین آمید آدنین فسفات دی نوکلئوتید (NADP)	نیاسین اسید نیکوتینیک نیکوتین آمید	PP
کوآنزیم، ناقل H^+/e	کوآنزیم A (COA) ناقل پروتئین آسیل (ATP-ACP) آسیل پروتئین ترانسپورتاز	پنتوتنیک اسید کلسیم ، پانتوتنات *	$[B_5]$
کوآنزیم	پیریدودکسال فسفات بیوتینیل – AMP	پیرودوکسین، پیریدوکسال، پیریدوکسامین، پیریودوکسین، کلروهیدرات	B_6
کوانزیم	بیوتینال- AMP	بیوتین	$[B_8]$
کوآنزیم	تتراهیدروفولات (THF)	فولیک اسید ، پلی گلوتامات	$[B_9]$
کوآنزیم	متیل کوبالامین آدنوزیل کوبالامین	کوبالامین	B_{12}
ناقل H^+/e (کوآنزیم؟)	آسکوربیک اسید دی هیدروآسکوربیک اسید	آسکوربیک اسید دی هیدروآسکوربیک اسید آسکوربیل فسفات *	C

[ ] اصطلاحات غیر متعارف *: ویتامرها

٤-۲-۹) ویتامرها و آنتی ویتامین ها

با توجه به فعالیت یک ویتامین مشخص، چندین ویتامر(ایزومر ویتامین که اثرات ناشی از کمبود ویتامین را کاهش می دهد) می تواند وجود داشته باشد. این ترکیبات ممکن است شامل یک خانواده کامل از ترکیبات موجود در طبیعت یا ترکیباتی باشند که به میزان کم هنگام متابولیسم تغییر می‌کنند (اشکال بیولوژیک که فعال باقی می مانند) یا مولکول های کاملا سنتز شده که از نظر تجاری به دلیل هزینه سنتز یا پایداری فروخته می شوند. اصطلاح ویتامین های غیر فعال (پروویتامین ها[1]) عنوانی است که عمدتا در مورد کاروتنوئید ها بکار می رود و برابر با موادی است که ویتامرها در مفهوم گسترده‌شان جزء آنها محسوب می شوند. ویتامرهای مختلف از نظر مولکولی سطح فعالیت غذایی یکسانی ندارند که در مفهوم قابلیت دستیابی زیستی تعریف شده است.

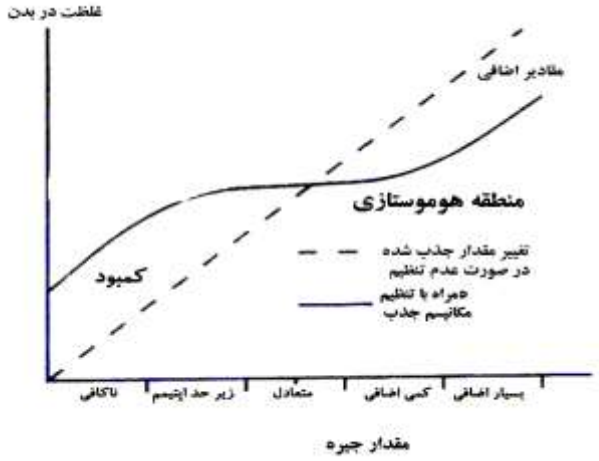
یکسری از ترکیبات به عنوان آنتی ویتامین تعریف می شوند که می توانند شامل آنزیم هایی مانند تیامیناز باشند که ویتامین ها را هیدرولیز می کنند یا موادی که جذب روده ای را متوقف می‌کنند مثل آنتی بیوتیک ها و سایر داروها یا آنتاگونیست های مصنوعی یا طبیعی مثل ترکیباتی که به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین آنتی ویتامین ها یکسری از داروها را نیز دربر می‌گیرند.

۵-۲-۹) جذب

برخی ویتامین ها بخصوص آن دسته از ویتامین هایی که به گروه ویتامین های B موجود در بافتها مربوط می شوند، باید قبل از جذب، در دستگاه گوارش هیدرولیز شوند. به این ترتیب، یک مرحله هضم اصلی وجود دارد که همراه با فعالیت پروتئازهاست، همچنین آنزیم هایی نظیر استرازها یا فسفاتازها که زیاد اختصاصی نیستند، در این مرحله فعالیت می کنند. جذب ویتامین صرفا در مهره داران عالی بخوبی شناخته شده است و چندین مکانیسم مجزا در جذب آن دخالت دارند که برخی از آنها کاملا تخصصی هستند. گروه ویتامین A در ابتدا در داخل میسل ها (اسیدهای چرب آزاد و مونودی آسیل گلیسیرول ها) جذب می شوند. ویتامینهای گروه B معمولا ناقلهای فعالی دارند که فعالیت آنها توسط پدیده انتشار تسهیل شده یا حتی انتشار غیر فعال، کامل می شود. برای مثال، تیامین از طریق انتشار غیر فعال و انتقال فعال جذب می‌شود. در مورد انتقال فعال، فعالیت انتقال دهنده از طریق وضعیت تغذیه‌ای قابل تنظیم است.

---

[1] provitamins



شکل ۱-۹) نحوه تنظیم غلظت های ویتامین در بافت ها

این فعالیت در زمان کمبود بالاتر است، اما هنگام بالا بودن میزان ورود، کاهش می یابد. این پدیده بسیار مهمی است که به منظور تامین شرایط هوموستازی ویتامینی انجام می شود (شکل ۱-۹).

٦-۲-۹) نقش متابولیک

اختصاص یک نقش ویژه متابولیک به دو گروه ویتامین های A وB غیر ممکن است. گروه ویتامین های B در واقع به مولکول هایی اتلاق می شوند که در متابولیسم حد واسط در گیاهان و جانوران ضروری هستند(به عنوان نوعی کوآنزیم عمل می کنند)، در حالیکه گروه ویتامین A نقش متفاوتی داشته وگاهی فقط در حیوانات دیده می شود. طبقه بندی جدیدی براساس ۴ عملکرد اصلی ویتامین ها ارائه شده و به شرح ذیل است(Combs,1992):

- نقش کو آنزیمی(۱۱ ویتامین)
- ناقل پروتون ها یا الکترون ها (۶ ویتامین)

- نقش پیش ساز هورمونی (۲ ویتامین)
- محافظ غشایی(۲ ویتامین)

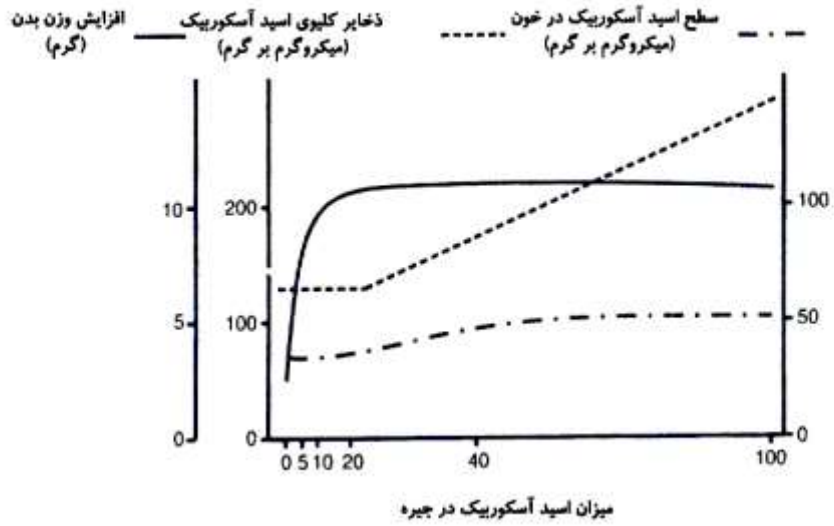
از بین تمامی ویتامین ها، ۵ عدد از آنها چندین نقش داشته و حتی در پستانداران نیز فقط برخی مکانیسم ها و عملکردهای آنها کشف شده اند.

۷-۲-۹) استانداردهای غذادهی و نیازها، علائم کمبود و مسمومیت ها

از نظر تئوری، همانند هر ماده غذایی به منظور تعیین نیاز ویتامین، از منحنی پاسخ بر حسب دوز مصرفی استفاده می شود. از شاخص های مختلفی همچون نرخ رشد، وضعیت منابع تامین ویتامین ها، عملکرد بیوشیمیایی و حتی نرخ بقا یا علائم کمبود می توان جهت تعیین میزان پاسخ استفاده کرد. کاربرد هر یک از این شاخص ها نتایج متفاوتی نیز در پی خواهد داشت(شکل۲-۹).

همچنین مواردی نظیر قابلیت دسترسی یا پایداری ویتامر، واکنش های زنجیره ای بین مواد غذایی و حتی مسائل تجزیه و تحلیلی نیز می توانند مسئله را پیچیده کنند. از بین تمامی واکنش های در نظر گرفته شده، واکنش های صورت گرفته بین ویتامین ها مهمترند که به اثرات ناشی از کمبود اتلاق می شوند. این واکنش ها منجر به برآورد بیش از حد نیازها نسبت به یک ویتامین مشخص در صورت ورود بیش از حد سایر ویتامین ها، می شوند. این مسئله دقیقا در ماهی به اثبات رسیده است. بنا به دلایل مذکور، نیازهای ویتامینی نسبت به نیازهای اسیدهای‌آمینه با دقت کمتری تعیین شده اند. علاوه براین، چانچه منابع ذخیره‌ای بتوانند به مدت چند هفته یا حتی چند ماه نیاز ها را برآورده کنند، برآورد حدود اطمینان ۱۰۰ درصد برای مقادیر موجود در غذا بسیار عادی است. ورود مقادیر اضافی ویتامین ها بجز در مورد گروه ویتامین B که براحتی از طریق ادرار دفع می‌شوند، می توانند مضر باشند. در ماهی اثرات مفید مقادیر اضافی منادیون(که به عنوان وایتامر صنعتی ویتامین K) و رتینول به اثبات رسیده است. بعضی ویتامین ها خصوصیات دارویی دارند و استانداردهای غذایی را به میزان زیادی افزایش می دهند. این ویژگی در مورد ویتامین C صادق است که گاهی اوقات در دوزهای بالا در آبزی پروری استفاده می شود.

علائم کمبود که کم و بیش از ویژگی های یک ویتامین است، در جدول ۲-۹ ارائه شده است.



شکل ۲-۹) منحنی دوز براساس پاسخ بدست آمده برای اسید آسکوربیک در قزل آلا که اختلاف بین معیارهای انتخاب شده را نشان می دهد(Halver, 1972b)

۳-۹ - ویتامین های با عملکرد کوآنزیمی ساده

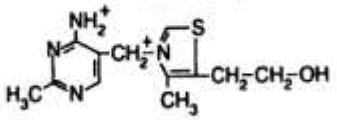
فرمول این ویتامین ها در کادر ۱- ۹ ارائه شده است.

۱-۳-۹) تیامین (ویتامین B_1)

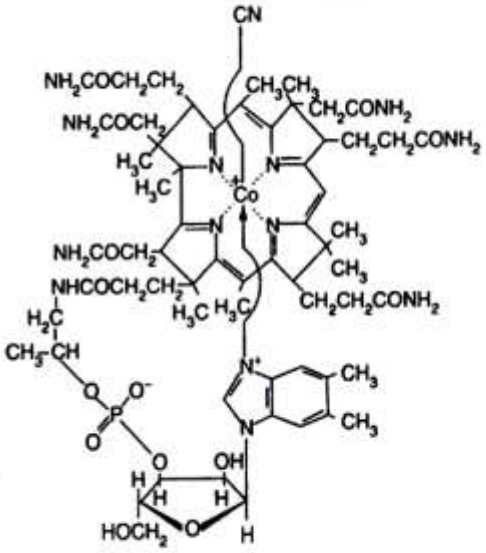
این ویتامین در زمینه متابولیسم هیدراتهای کربن، در چند سطح متابولیسم حد واسط نقش مهمی ایفا می کند. تیامین می تواند فسفره شده و تیامین مونو، پیرو و تری فسفات را تولید کند. در متابولیسم، عملکرد پیرو فسفات تیامین (TPP) و تری فسفات تیامین(TTP) اهمیت ویژه ای دارد. TPP آنزیمی است که به عنوان ناقل گروه آلدئید در واکنش های اکسایشی دکربوکسیلاسیون، α- کتو اسیدها مثل اسید پیروات و α- کتو گلوتاریک اسید از سویی یا سایر کتواسیدهای حاصل از اسیدهای‌آمینه شاخه‌دار از سوی دیگر، عمل می کند. این زنجیره از واکنش ها توسط گروهی از آنزیمهایی کاتالیز میشوند که به شکل کوآنزیم در فعالیت سایر آنزیم ها مشارکت می کنند که FAD (ریبوفلاوین) و NAD (نیاسین) از جمله این آنزیم ها هستند.

کادر ۱-۹) فرمول ویتامین های کوآنزیمی

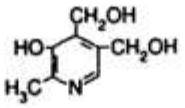
تیامین (B_1)



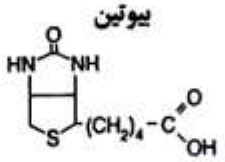
سیانوکوبالامین (B_{12})



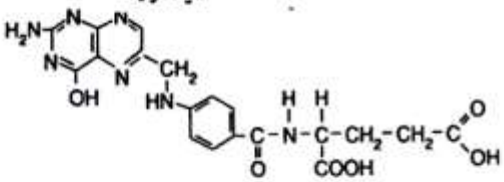
پیریدکسین (B_6)



بیوتین

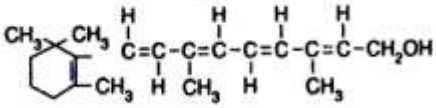


اسید فولیک

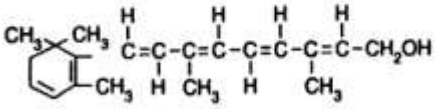


رتینال (A)

رتینال ۱ (A_1)



رتینال ۲ (A_2)



جدول ۲-۹) علائم مهم ناشی از کمبود ویتامینها و شاخص های پاسخ در گونه های مختلف

معیارهای پاسخ	علائم مهم کمبود	ویتامینها
افزایش وزن بدن و ذخائر بافتی (کبد، اریتروسیت ها)، فعالیت ترانس کتولاز	مشکلات عصبی(Sa,CF,E,C,T)، ملانیسم(CF,Y)، بی رنگ شدن پوست (C)، جمع شدگی باله ها (SB, E,Y)، هموراژی زیرپوستی(E,C,SB)	تیامین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی و فعالیت ترانس آمینازها	مشکلات عصبی : شنای نامنظم، تشنج و نا آرامی، حساسیت فوق العاده (Sa,CF,E,C,Y)، تغییر رنگ سبز-آبی (CF)	پیریدوکسین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت کربوکسیلاز استیل کوآنزیم A و پیروات کربوکسیلاز ، مقاومت در برابر شنا	تجزیه لاملای آبششی،تحلیل رفتن عضلات، تجزیه آسینی(acini) پانکراتیک (Sa)، بی رنگ شدن پوست(CF)، ملانیسم(E)، افسردگی، بی حالی(C,Y)	بیوتین
افزایش در وزن بدن، ذخائر کبدی، هماتوکریت	بی حالی و کم خونی(Sa,CF)، ملانیسم(Sa,E)، افزایش عفوت های باکتریایی(CF)، جمع شدگی باله ها (Y)	اسید فولیک
ذخائر کبدی	کم خونی همرا با کاهش مقدار هموگلوبین خون و خرد شدن انتروسیت ها(Sa)، پایین آمدن هماتوکریت(CF) جمع شدگی باله ها و کم خونی (Y)، بی اشتهایی(E)	کوبالامین ها
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	ضایعات چشمی همراه با تجزیه رتینا(Sa)، بی رنگ شدن پوست و برآمدگی غیر عادی کره چشم(Sa,C,CF)، تورم(ادم) (Sa,CF)، ملانیسم (Y)، هموراژی (CF,C,Y)	رتینول
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت گلوتاتیون ردوکتاز و DAAO	بی حالی(Sa,E)، ملانیسم(Sa,Y)، نورگریزی(Sa,C)، نانیسم(CF)، تورم پوست (درماتیت) (E)، نکروز کلیوی(C)، هموراژی باله ای(Sa,E,C)، کدورت قرینه (Y,Sa)	ریبوفلاوین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	کم خونی(Sa,CF)، حساسیت به نور (SA)، تورم غیر عادی چشم (CF)، شنای غیر عادی(E)، بدشکلی باله ها (CF)، مرگ و میر (CF,Y). جراحت و هموراژی در پوست و باله ها (Sa,CF,C,Y)	نیاسین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	تحلی آسینی پانکراتیک(Sa)، برآمدگی غیرعادی کره چشم(C)، درماتوز(E)، مرگ و میر (Sa,CF,Y,SB)، رشته های آبششی گرزی شکل(Sa,CF,Y)، هموراژی پوستی(E,C)	پانتوتنیک
هماتوکریت	تاخیر در لخته شدن خون همراه با کم خونی، هموراژی در آبشش ها و چشم ها (Sa)، هموراژی پوستی(CF)	منادیون
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی و کلیوی، محتوای کلاژن مهره ای، تیروزینامیا	لردوزیز، اسکولیوزیز(Sa,CF,Y)پیچ خوردگی رشته های آیششی(Sa)، آسبت(آب آوردگی شکم) (Sa,T)، ملانیسم(Y,T)، هموراژی خارجی و داخلی(Sa,CF,E,Y)، ساییدگی فک پایینی(E)، گرانولوماتوزیز کلیه ای(T).	اسید اسکوربیک
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی	بی رنگ شدن پوست(Sa,CF)، ملانیسم(Y)شکنندگی اریتروسیت ها(Sa)، اگزوفتالمی و لوردوزیز(C)، دیستروفی عضلانی(Sa,CF,C)	توکوفرول ها
افزایش وزن بدن، بازدهی غذایی	وقفه در هموستازی کلسیم و کزاز (Sa)، تحلیل کلسیم استخوان ها (CF)	کلسیفرول
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، محتوای لیپید کبد	بیماری کبد چرب(Sa,C)، ملانیسم(Y)، اگزوفتالمی (Sa)، هموراژی کلیوی و روده ای (Sa,CF)، خاکستری شدن روده (E)	کولین
افزایش وزن بدن، ذخائر کبدی، فعالیت کولین استراز و ترانس آمیناز	ملانیسم(Sa,Y)، کم خونی همراه با ساییدگی باله ها (Sa)، خاکستری شدن رنگ روده (E)، عدم ترشح موکوس پوستی (C)	اینوزیتول

کفشک : T- کپور: C - دم زرد : Y- مارماهی : E - گربه ماهی : CF - آزادماهیان : Sa - شانک دریایی :SB

به طور مشابه، طی دو واکنش انتقال دهنده کتونی که در مسیر فسفات پنتوز رخ میدهد، TPP در انتقال رادیکال های گلیکوآلدئیدی، مشارکت می کند. TTP نقش مهمی در انتقال عصبی دارد.
کمبود تیامین در مارماهی، کفشک، گربه ماهی و بخصوص در قزل آلا مشاهده شده و بیشترین علائم کمبود مربوط به مشکلات عصبی است که مشابه پستانداران می باشد. با در نظر گرفتن معیار های مربوط به پاسخ، نظیر افزایش در وزن بدن یا فعالیت ترانس کتولاسیک، میزان نیاز ها بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم از جیره غذایی قزل آلای جوان از یک جیره خالص سازی شده برآورد شده است. برای سایر گونه ها نظیر گربه ماهی، کپور و کفشک نیز مقادیر مشابهی توصیه شده است. بنظر نمی رسد که نیازها ارتباطی با پتانسیل مصرف هیدراتهای کربن در گونه های مختلف داشته باشند.

۲-۳-۹) پیریدوکسین (ویتامین B_6)

این ویتامین آنزیم اصلی در متابولیسم اسیدهای آمینه است. با توجه به نام ویتامین B_6 سه ویتامر مشتق شده از پیریدین وجود دارند که از لحاظ عملکرد با یکدیگر متفاوتند . به این معنی که الکل (پیریدوکسن یا پیریدوکسیل) ، آلدئید (پیریدوکسال) یا آمین (پیریدوکسامین) هر سه در سلول های کبدی به صورت کوآنزیم فعال تغییر شکل می دهند از جمله فسفات پیرودوکسال که در بسیاری از سیستم های کاتالیتیک نظیر ترانس آمیناز ها ، ترانس سولفاتازها و ترانس فرازها شرکت می کند. فسفات پیریدوکسال همچنین امکان دکربوکسیلاسیون اسیدهای‌آمینه را فراهم می کند و در ساختن آمین های بیوژنیک به عنوان حد واسط های عصبی (هیستامین، سروتونین یا ۵- هیدروکسی تریپتوفان، تیرامین، دوپامین و غیره) نقش دارد. همچنین به عنوان جایگزینی برای دهیدراتازها در دی آمیناسیون برخی اسیدهای‌آمینه عمل می کند. ویتامین B_6 دارای نقشهای دیگری نیز هست که از جمله شامل سنتز کردن آنزیم های پانکراتیک تا متابولیسم گلیکوژن و حتی فعالیت سیستم ایمنی است.
ماهی ها تمایل زیادی به خوردن گوشت بویژه در اوایل زندگی دارند و بسرعت علائم کمبود پیریدوکسین به شکل مشکلات عصبی (شامل تشنج، شنای غیر عادی و حساسیت فوق العاده) بروز می نمایند که ناشی از کاهش سنتز حدواسط هاست. رشد قزل آلای جوان با افزودن ۲ میلی گرم پیریدوکسین به ازای هر کیلوگرم غذا بهبود می‌یابد که برابر با ۰/۵ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم پروتئین است.

میزان نیاز سایر گونه ها نظیر کفشک، سیم دریایی و گربه ماهی کانالی مشابه قزل آلا بوده و برابر با ۱ تا ۳/۲ میلی گرم بر کیلوگرم غذا می باشد. فعالیت دو نوع از ترانس آمینازهایی که مشترکا اندازه گیری شده، شامل ترانس آمیناز گلوتامات- اگزالواستات (GOT) و ترانس آمیناز پیروات-گلوتامات (GPT) در بافت های مختلف(کبد،عضلات و اریتروسیت ها) به عنوان معیارهای پاسخ در تعیین نیازهای قزل آلا، کفشک و سیم دریایی استفاده می شود. در قزل آلا چنانچه نتایج بر اساس حداکثر فعالیت GOT در عضله سفید و نه بر اساس رشد، حاصل شده باشند، نیازها سه برابر بیشتر برآورد می شوند. براساس یک مقایسه بین گونه ای، بنظر نمی رسد برخلاف آنچه از نقش این ویتامین در متابولیسم پروتئین انتظار میرود، نیازهای پیریدوکسین مربوط به پروتئین های جیره بوده و از طریق آن تامین شود.

۳-۳-۹) بیوتین

بیوتین به عنوان یک کوآنزیم پس از فعال شدن به شکل AMP- بیوتینیل در کربوکسیلاسیون و دکربوکسیلاسیون (انتقال CO_2) شرکت می کند. از آنزیم های اصلی شرکت کننده در این واکنش ها عبارتند از: پیروات کربوکسیلاز، که در متابولیسم گلوکز(گلیکولیز و نئوگلوکوژنز) شرکت می کند، استیل کوآنزیم A – کربوکسیلاز و آنزیم های لیپیدی که در سنتز اسیدهای چرب یا چربیها دخالت دارند، پروپیونیل- کوآنزیم A – کربوکسیلاز، که تغییر شکل پروپیونیل کوآنزیم A حاصل از تجزیه اسیدهای چرب و برخی اسیدهای‌آمینه به متیل مالونیل-کوآنزیم A را کاتالیز می کند و بتا متیل کروتونیل- کوآنزیم A – کربوکسیلاز که در جریان تجزیه شدن لوسین عمل می کند.

علائم ناشی از کمبود بیوتین در چند گونه تشریح شده که به نظر می رسد تعداد بسیار کمی از آنها اختصاصی باشند. علاوه بر این، این علائم به هنگام تغذیه ماهی بر اساس جیره حاوی عناصر طبیعی، به هیچوجه مشاهده نشده است. مقادیر حاصل از جیره های خالص سازی شده، برای آلوین های قزل آلا با توجه به معیار افزایش وزن بدن، میزان ۰/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم از غذا تعیین شده و برای حداکثر فعالیت پیروات کربوکسیلاز در عضلات سفید ۰/۱۴ میلی گرم بیوتین به ازای هر کیلوگرم از غذا لازم است.

٤-۳-۹) اسید فولیک و پلی گلوتامین ها

اسید فولیک به عنوان یک کوآنزیم در واکنش های انتقالی مونوکربن ها ایفای نقش می کند. مولکول اسید فولیک از یک هسته پتریدین متصل به پاراآمینوبنزوئیک اسید (گاهی اوقات به عنوان ویتامین یا وایتامر اسید فولیک در نظر گرفته می شود) تشکیل شده و به این شکل پتروئیک اسید تشکیل می شود. این اسید به یک یا چند مولکول اسید گلوتامیک متصل شده و پلی گلوتامات ها یا فولات ها را در غذا یا بافت ها ایجاد می کند. این مولکول ها به شکل تترا هیدروفولات (THF) در حضور ویتامین B_{12} و $NADPH_2$ فعال می شوند. همانند کوآنزیم آنزیم های پتروپروتئینی، THF در انتقال و تغییر و تبدیلات داخلی گروههای مونوکربنه، متابولیسم هیستیدین و گلایسین و تغییر و تبدیلات داخلی سرین و گلایسین شرکت دارند. سنتز پروتئین با دخالت فورمیل متیونین آغاز می شود که این ترکیب روی یک RNA ناقل حمل می شود. سنتز این RNA در صورت وجود THF صورت می گیرد. این ویتامین در سنتز پورین و بازهای پریمیدین نیز شرکت دارد.

علائم مختلف ناشی از کمبود این ویتامین درچندین گونه ماهی به جز کپور معمولی مشاهده شده است. بیشترین علائمی که در اکثر گونه ها مشاهده شده، شکل خاصی از کم خونی (کم خونی ماکروسیتیک) بودکه معمولا با بی اشتهایی و کاهش وزن بدن مرتبط است. اگرچه غلظت ۰/۳ میلی گرم از این ویتامین بر کیلوگرم جیره خالص سازی شده برای بهترین بازماندگی کافی است، اما غلظت ۰/۶ میلی گرم بر کیلوگرم برای حداکثر رشد و ۱/۱ میلی گرم بر کیلوگرم برای اشباع شدن بافت هایی نظیر کلیه و کبد در قزل آلای جوان مورد نیازاست.

بنظر می رسد که در بعضی گونه ها نظیر کپور این نیازها پایین باشدکه به دلیل سنتز این ویتامین ها توسط فلور روده ای است. برای تغذیه آزاد ماهیان یک میلی گرم از این ویتامین به ازای هر کیلو گرم از غذا توصیه شده است. (NRC,1993) .

۵-۳-۹)کوبالامین ها (ویتامین B_{12})

اصطلاح ویتامین B_{12} برای چندین ماکرومولکول خویشاوند با نام کوبالامین ها بکار می‌رود که سیانوبالامین ها معروفترین آنهاست. این مولکولها از یک هسته تترا پیلوریک در مرکز اتم کبالت تشکیل شده که به ۴ اتم نیتروژن و یک گروه نوکلئوئید کاذب اتصال می یابند.

رادیکالهای مختلفی به اتم کبالت می چسبند که مهمترین آنها CN,OH,CH_3, و ۵- دزوکسی آدنوزیل بوده و بترتیب سیانو کوبالامین، هیدروکسوبالامین، متیل کوبالامین وآدنوزیل کوبالامین را تشکیل می دهند. متیل کوبالامین و آدنوزیل کوبالامین، اشکال کوآنزیمی هستند که در دو نوع واکنش فعالند:

a) واکنش های ایزومری کردن: نظیر واکنشهایی که در متابولیسم لوسین یا تبدیل متیل مالونین-کوآنزیم Aبه سوکسینیل کوآنزیم A دخالت دارند که یک متابولیسم کننده در چرخه کربن است.

b) واکنش های انتقال دهنده گروه متیل: که به متیل کوبالامین ها همچون رادیکال های متیل به عنوان ناقل گروههای مونوکربنی نیاز دارند. کوبالامین ها نقش بسیار مهمی در متابولیسم فولات ها ایفا می کنند. بنابراین،کاهش میزان مصرف آنها ،علائم بارزی بهمراه دارد که این علائم مشابه علائم کمبود اسید فولیک است.

ویتامین B_{12} که فقط در بافت جانوری و بعضی موجودات زنده وجود دارد به میزان بسیار کم مورد نیاز است و علائم کمبود صرفا در طولانی مدت ظاهر می شود. بارز ترین نشانه کمبود، بی اشتهایی خطرناک است (کم خونی هایپوکرومیک میکروسیسنیک) که مشاهده آن در ماهیان تغذیه شده با جیره غذایی محتوی خوراکهای حیوانی، غیر ممکن است. نیاز به این حداقل در ماهی های گرمابی نظیر تیلاپیا، گربه ماهی یا کپور بصورت کامل یا تا قسمتی توسط میکرو ارگانیزمهای فلور روده، تامین می شود. بطورکلی، میزان نیاز به ویتامین B_{12} در بین ویتامین ها، در کمترین حد بوده ودر قزل آلا این میزان به ۷ میکروگرم سیانو کوبالامین در هر کیلوگرم از جیره خالص سازی شده می رسد. در مورد سایر گونه ها بجز ماهی دم‌زرد که ظاهراً میزان نیاز آن بیش از قزل آلاست (۵۳ میکروگرم در هر کیلو گرم غذا) هنوز میزان مشخصی تعیین نشده است.

٦-۳-۹) رتینول (ویتامین A)

ویتامین A از مشتقات الکلی است که از کاروتنوئیدها گرفته شده و عمدتاً به عنوان کوآنزیم عمل می‌کند و در مکانیزم های هورمونی مرتبط با فرآیند بینایی نیز دخالت دارد. این مولکول از یک هسته بتا- آیونون متصل به زنجیره ای از واحد های سه تایی ایزوپرونوئیدی که به یک واحد الکلی ختم می شود، تشکیل شده است. این مولکول شبیه نیمی از یک مولکول بتا- کاروتن است.

فعالیت بتا- کاروتن بیشتر از ۵۰ درصد فعالیت رتینول نیست و در ماهی این مقدار در حد پایین تر(کمتر از ۲۰ درصد) کشف شده است. ویتامینA در سه شکل الکل (رتینول)، آلدئید(رتینال) یا اسید(اسید رتنیونیک)وجود دارد .

به علت وجود ۴ پیوند دوگانه در زنجیره کناری،شش ایزومر از ویتامین A ایجاد می شود که فعالترین شکل آن E کامل(در گذشته ترانس کامل می گفتند) بوده که در حال حاضر به شکل مصنوعی تولید میشود. درماهی، بخصوص در ماهیان آب شیرین مولکولی کشف شده که تنها به میزان اندکی با رتینول واقعی(A_1) تفاوت دارد. رتینول۲(A_2) تنها در داشتن یک پیوند دوگانه بیشتر در هسته بتا- آیونون با A_1تفاوت دارد، اما فعالیت هر دو آنها مشابه است.

حضور رتینول در ترکیب رتینین خاکستری و رودوپسین (کرومو پروتئین میله ای) به منظور سازگاری با تاریکی ضروری است. همچنین در ترکیب رنگدانه های وابسته به مخروطهای رتینالی یا آیودوپسین ها نیز وجود دارد که برای مشاهده رنگ اشکال عمل می کنند. در تمامی این رنگدانه ها مولکول ویتامین A به شکل آلدئید(رتینال) است. درک روشنایی از طریق ایزومر شدن و تبدیل به شکل ابتدایی توسط یک جریان عصبی صورت می گیرد و رتینال به عنوان یک کوآنزیم در این واکنش عمل می کند. ویتامین A مدتهاست که به عنوان ویتامین موثر بر رشد شناخته شده است. این ویژگی کمتر مستند شده و از این واقعیت سرچشمه می گیرد که اسید رتینوئیک، مشتق اکسید شده رتینال، در کنترل بینایی موثر نیست اما در عملکردهای متابولیک بسیار مهم شرکت دارد و سلولها دارای گیرنده های این ترکیب هستند. این اسید و مشتقات آن (رتینوئیدها) نظیر هورمونهای استروییدی، از طریق تحریک RNA پیغام بر و سنتز پروتئین مخصوص عمل می کنند. این ترکیبات موجب تحریک تمایز سلولی بخصوص سلولهای قشر سطحی یاخته،ترشح موکوس، پاسخ های ایمنی و کارکرد های تولید مثلی شده و در مقابل سرطان از بدن محافظت می کنند.

کمبود این ویتامین ها در ماهی منجر به کاهش نرخ رشد می شود. جدا از ضایعات بینایی، علائم بخصوص کمتر شناخته شده و کمبود آن مرگ و میر ناشی از بینایی را در پی نداشته است. مقادیر اضافی این ویتامین برای ماهی سمی است و همان گونه که در مهره داران عالی مشاهده شده، منجر به سوختگی می شود. این علائم هنگام استفاده از مقادیر بسیار بالای این ویتامین در شرایط استثنائی دیده شده تاجائیکه استفاده از کبد شیردریایی یا وال در ترکیب غذای مورد استفاده در پرورش ماهی متوقف گردید.

بالا رفتن مقادیر ویتامین A در لاروها هنگام استفاده از روغن کبد ماهی کاد مشاهده گردید. در مطالعه صورت گرفته توسط محققان ژاپنی در سال ۱۹۶۷ در ارتباط با مقادیر مورد نیاز ویتامین A برای تغذیه قزل آلا بر اساس شاخص های مختلف شامل بازماندگی، رشد، شاخص هپاتوسوماتیک و محتوای پروتئین و لیپید کبد، مواردی پیشنهاد گردید. بر اساس این برآوردها، مقدار ۲۵۰۰IU ویتامین A به ازای هر کیلوگرم غذا برای قزل آلا و گربه ماهی کانالی توصیه گردید که این میزان مشابه مقادیری است که برای خوکها و ماکیان ارائه شده است. با این وجود، این مقادیر نیاز به ارزیابی مجدد بر اساس جیره خالص‌سازی شده دارد.

٤-۹ - انتقال و اکسیداسیون – احیا ویتامین های کوآنزیمی

ساختار شیمیایی این ویتامین ها در کادر ۲-۹ ارائه شده است.

۱-٤-۹) ریبو فلاوین (ویتامین B_2)

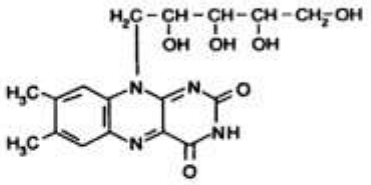
این ویتامین دارای نقشی اساسی در واکنش های اکسیداسیون- احیا است. مشتقات فعال بیولوژیک آن شامل ریبو فلاوین فسفات یا مونونوکلئوتید(FMN) بوده که از طریق اتصال با یک مولکول AMP به شکل فعال ثانویه دی نوکلئوتید آدنین فلاوین(FAD)تبدیل می شوند و همراه با کوآنزیم های احیاکننده (بی هوازی) و اکسید کننده (هوازی) در واکنش های کاتابولیسمی اکسیداسیون –احیا دخالت می کنند. این واکنش ها شامل :

- کاتابولیسم اسید های چرب طی جریان بتا اکسیداسیون
- کاتابولیسم سری D یا L آمینواسیدها؛ دی آمیناسیون آنها توسط L – آمینواکسیداز (با فعالیت پایین) در حضور FMN و یا D – آمینواکسیداز (DAAO) در حضور FAD انجام می شود.
- کاتابولیسم بازهای پورین نظیر آدنین و گوانین؛ اجزاء اسیدهای نوکلئیک بوده و تجزیه آنها توسط گزانتین اکسیداز به FAD نیاز دارد.

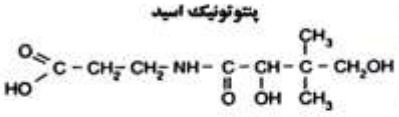
کادر۲-۹) فرمول ویتامین ها

ویتامین های اکسایش - احیا

ریبوفلاوین (B_2)

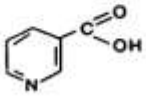


پنتوتونیک اسید

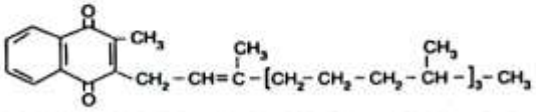


ویتامین K

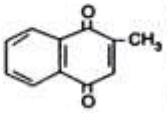
نیاسین (PP)



فیلوکونینون (K_1)



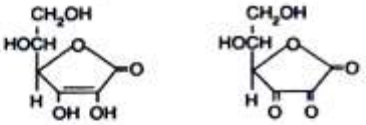
مناديون (K_3)



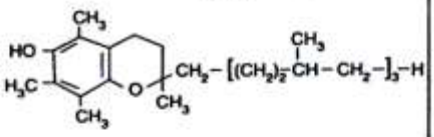
ویتامین های آنتی اکسیدان

ویتامین C

آسکوربیک اسید

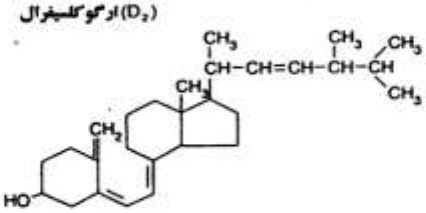


آلفا توکوفرال (E)

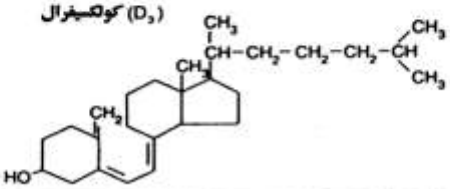


ویتامین های پیش ساز هورمون ها

ارگوکلسیفرال (D_2)

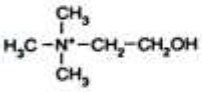


کولکسیفرال (D_3)

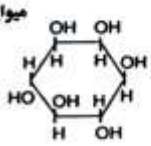


شبه ویتامین ها

کولین



میواینوزیتول



- کاتابولیسم متابولیت های داخل چرخه TCA که در این چرخه ساکسینات دی هیدروژناز که یکی از ۴ واکنش مربوط به احیا شدن توسط FAD می باشد را تسریع می کند، در حالیکه ۳ واکنش باقی مانده درسیستم کوآنزیمی دیگری (شامل نیاسین) انجام می شوند، NAD/NADH توسط FAD در داخل چرخه تنفسی مجدداً اکسید می شود.

همچنین FAD که در احیای گلوتاتیون دخالت می کند، برای حفظ انسجام سلولی گلبول های قرمز خون ضروری است . شایان ذکر است که ریبوفلاوین به صورت FMN ، در تغییر شکل ویتامین هایی نظیر پیرودوکسین به حالت فعال بیولوژیک آن نقش دارد.

علائم مختلف ناشی از کمبود این ویتامین در بین گونه ها بسیار متفاوت است و ضایعات چشمی، خونریزی های مختلف، ملانیسم وغیره از جمله آنها می باشند. مطالعات انجام شده با استفاده از جیره خالص سازی شده مورد تغذیه قزل آلا حداکثر میزان نیاز به این ویتامین را برای رشد حدود ۴ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم غذا برآورد نموده اند. در حالیکه غلظتی معادل ۶ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا به منظور اشباع شدن بافت ها از فلاوین (کبد، کلیه، طحال) یا حداکثر DAAO کبدی مورد نیاز است. یافته های اخیر نشان داده اند که این آنزیم نسبت به ردوکتازگلوتایتون اریتروسیتی (GR) شاخص بهتری از وضعیت ویتامین در قزل آلاست.

۲-٤-۹) نیاسین (ویتامین PP)

مقدار نیاز به این ویتامین نسبت به سایر ویتامین ها بیشتر است و همان طور که قبلا به آن اشاره شد میزان کمی از آن توسط ماهی سنتز می شود. این ویتامین در دو شکل ویتامر وجود دارد : نیکوتینیک اسید، شامل پیریدین- ۳- کربوکسیلیک اسید که شکل آمیدی یا نیکوتینامید این ویتامین است و ویتامر دیگر، پیش ساز دو کوآنزیم فعال شامل نیکوتینامیدآدنین دی نوکلئوتید(NAD) و نیکوتینامید آدنین دی نوکلئوتید فسفات (NADP) بوده که در واکنش های اکسیداسیون – احیا شرکت می کند. این ویتامینها در بسیاری از هیدراتهای کربن (بیش از ۲۰۰ هیدرات کربن)، به عنوان ناقل هیدروژن در متابولیسم اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه عمل می‌کنند. NAD به عنوان کوآنزیم بسیاری از دهیدروژنازها، طی فرآیند گلیکولیز، تجزیه لیپیدها و چرخه کربن به منظور تولید انرژی به شکل ATP ، به H^+ و $NADH^+$ کاهیده می شود. NADP

از طریق واکنش پنتوز به $NADPH_2$ احیا می شود و در جریان واکنش های مصرف انرژی خالص نظیر بیوسنتز اسیدهای چرب به صورت یک دهنده هیدروژن تبدیل می شود. همچنین این ویتامین به عنوان کوانزیم برای سایر احیاکننده ها (GR سلول های قرمز خونی، احیا کننده دی هیدروفولات فعال کننده اسید فولیک) و هیدرولیز استروئید و متابولیسم فنیل آلانین و غیره نیز عمل می کند.

اخیراً علائم کمبود این ویتامین در ماهی مورد بررسی قرار گرفته و نیازها با استفاده از شاخص میزان رشد در حد بالایی برآورد شده است . مقادیر ۱۰، ۱۴ و ۲۸ میلی گرم این ویتامین به ازای هر کیلوگرم جیره به ترتیب برای قزل آلا، گربه ماهی و کپور برآورد شده است . دلیل بارز نبودن علائم کمبود این ویتامین احتمالاً به سبب فراوانی و پایداری این ویتامین و نیز احتمال سنتز آن از طریق تریپتوفان باشد که میزان آن پائین اما قابل اندازه گیری است. بنظر می رسد که ذخایر کبدی تنها شاخص بیوشیمیایی استفاده شده به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه ای تا به امروز باشند.

۳-٤-۹) اسید پانتوتنیک

بالاترین مقدار برآورد شده برای ویتامین های محلول در آب مربوط به پانتوتنیک اسید است . این ویتامین درمتابولیسم چربی ها نقش اصلی را ایفا می کند و بخشی از ترکیب کوآنزیم A (COA) و پروتئین ناقل آسیل (ACP) را تشکیل میدهد که ناقل رادیکال های اسیل است. از آنجاییکه استیل کوآنزیم A از تجزیه قندهای ساده، اسیدهای چرب و برخی اسیدهای‌آمینه تولید می شود و در چندین مسیر متابولیک نظیر چرخه کربن (سپس چرخه تنفسی، همراه با تولید ATP، CO_2 و H_2O) و بیوسنتز اسیدهای چرب شرکت دارد، دارای نقشی حیاتی در متابولیسم سلولی است. استیل کوآنزیم A از یک اسید چرب سازنده کمپلکس آنزیمی با یک مولکول ACP در مرکز ساخته می شود . این ترکیب به عنوان دهنده گروه آسیل عمل می کند و همچنین از طریق دکربوکسیلاسیون وابسته به بیوتین در شکل گیری مالونیل کوآنزیم A شرکت دارد. ویتامین نیاسین در شکل $NADPH_2$ به همین نسبت ضروری است. کوآنزیم A همچنین در بیوسنتز کلسترول، اسیتیله کردن مولکول های مختلف نظیر کولین، قندهای آمینه شده دخیل در سنتز موکو پلی ساکاریدها و کیتین در سخت پوستان شرکت می کند.

مشتقات دیگری از استیل کوآنزیم A وجود دارند که از کاتابولیسم برخی اسیدهای‌آمینه یا اسیدهای چرب دارای تعداد ناهمگون اتمهای کربن نظیر سوکسینیل کوآنزیم ایجاد می شوند و برای سنتز هسته‌های پورفیرین هموگلوبین‌ها در حضور ویتامین پیریدوکسین، ضروری هستند.

یکی از علائم مشخص کمبود پانتوتنیک اسید، چماقی شکل شدن تیغه های آبششی است که گاهی اوقات در چندین گونه مشاهده شده است. مقدار نیاز به این ویتامین برای قزل آلا، گربه ماهی، باس دریایی و باس دم زرد با توجه به منحنی های رشد و ذخایر کبدی بین ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم به ازای هر گیلوگرم از جیره خالص سازی شده برآورد شده است . مطالعات انجام شده در مورد قزل آلا و گربه ماهی، بر اهمیت برآورد نیازها با استفاده از شاخص های مرتبط با کارکردهای فیزیولوژیک ویتامین ها تاکید دارد.

٤-٤-٩) ویتامین های K

حضور ویتامین K برای انعقاد خون ضروری است و دارای تعداد زیادی ویتامر با منشاهای گیاهی (فیلوکوئینون: K_1)، میکروبی (مناکوئینون: K_2) و مصنوعی (مدادیون : K_3) است. این ویتامین ها مشتقات نفتوکوئین ها بوده که همانند توکوفرول ها دارای یک زنجیره فیتیل جانبی هستند. منادیون متداول ترین ویتامر مصنوعی، دارای زنجیره های فرعی نبوده، اما به منظور فعال کردن مولکول باید به فلور روده ای اضافه شود.

در مهره داران عالی، ویتامین K نقش ویژه ای در انجام مکانیسم بسیار پیچیده انعقاد خون و امکان سنتز چهار عاملی دارد که ماهیتاً پروتئینی هستند. این ویتامین به عنوان یک گروه سنتتیک در کربوکسیلاز اسید گلوتامیک شرکت می کند. نحوه عملکرد این ویتامین به ویتامین های گروه B بسیار شبیه است، همچنین با پروتئین های انتقال دهنده کلسیم همکاری می کند. اثبات مسئله عدم انعقاد خون در نتیجه کمبود ویتامین K در ماهی بسیار دشوار است، مگر اینکه از داروهایی با خاصیت آنتی ویتامین K استفاده شود و ماهی بصورت اختیاری یا اجباری آنها را از محیط جذب کند. تنها یک مورد از کمبود این ویتامین (در گربه ماهی) بدون استفاده از آنتی ویتامین K بدست آمده است. سنتز روده ای فعال که در پستانداران وجود دارد، در ماهی اثبات نشده است. بنظر می رسد که ویتامین K مانند ویتامین D ، نقش کمتری در مهره داران عالی ایفا می کند.

مطالعات نشان داده اند که مقادیر اضافی منیادون می تواند برای آزاد ماهیان سمی باشد. این ویتامین به همراه ویتامین A ، تنها ویتامین هایی هستند که نیازهای آنها مورد بازنگری قرار نگرفته است و همچنان از مقدار ۱۰ میلی گرم ویتامین به ازای هر کیلوگرم از غذا استفاده میشود که توسط NRC در سال ۱۹۸۱ توصیه شده است.

۵- ۹ - آنتی اکسیدان ها

دو مورد از ویتامین ها در این گروه جای می گیرند که در بسیاری از واکنش های اکسیداسیون - احیا شرکت می کنند، اما هیچ گونه نقش کوانزیمی ندارند. فرمول این ویتامین ها در کادر ۲-۹ ارائه شده است.

۱-۵-۹) آسکوربیک و دی آسکوربیک اسید

علائم کمبود ویتامین C در انسان از زمان های خیلی قدیم مشخص شده، اما در مورد بسیاری از حیوانات خشک زی این علائم ناشناخته باقی مانده است . تنها در سال ۱۹۰۷ در آزمایشی پیرامون بچه خوک هندی تغذیه شده با یک جیره حاوی غلات، علائم کمبود آسکوربیک مشخص شد. آسکوربیک اسید جز در بسیاری از گونه هایی که از لحاظ گولونولاکتون اکسیداز (آنزیمی که امکان تبدیل گلوکز به آسکوربیک اسید را فراهم می کند) کمبود دارند، در سایر گونه ها ویتامین واقعی محسوب نمی شود. جرم مولکولی این ویتامین پایین است و شامل یک حلقه لاکتونی با یک واحد ene – diol می باشد که از اکسیداسیون آن یک اسید آسکوربیک دهیدروژنه و دو واحد الکل تولید می شود. نقش ویتامین C در فرآیندهای اکسیداسیون – احیا، از طریق تغییر و تبدیلات داخلی برگشت پذیر بین شکل احیا شده (اسکوربیک اسید) و شکل اکسید شده (آسکوربیک اسید دهیدروژنه) مشخص می شود. این واکنش به وسیله آسکوربات اکسیداز در حضور گلوتاتیون احیا شده و NADPH، کاتالیز می شود. به این ترتیب این دو ترکیب از طریق فعالیت ویتامین C ایجاد می شوند. در بسیاری از واکنش های هیدروژن دار شدن، ویتامین C به عنوان دهنده هیدروژن عمل می کند. رسیدگی کلاژن (هیدروژن دار شدن پرولین و لایزین در پروکلاژن)، سنتز کتکولامین (هیدروژن دار شدن فنیل آلانین و تیروزین و به دنبال آنها دوپامین و نورآدرنالین)، سنتز کارنتین که درحفظ فرآیند اکسیداسیون اسیدهای چرب دخالت دارد و سایر

مسیرهای کاتابولیک نظیر هیدروژن دار شدن فنیل آلانین و تیروزین، به حضور ویتامین C نیاز دارند. در این واکنش ها ویتامین C از آنزیم پارا هیدروکسی فنیل پیروات دی اکسیژناز در برابر موانع حاصله از مقادیر اضافی مواد انرژی زا محافظت می کند. بطورکلی، این ویتامین در بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی شرکت می کند که مواردی نظیر خنثی سازی رادیکال های آزاد طی مشارکت با ویتامین E (توقف پراکسیده شدن چربی ها، فصل ۷)، جذب آهن و بطورکلی کنش متقابل با یون های دو ظرفیته یا سه ظرفیته، تولید مثل (سنتز زرده سازی و رشد جنین)، تغییر شکل کلسترول به اسیدهای صفراوی، تجزیه مواد انرژی زای خارجی(آلودگی ها، دارو ها) و توقف سنتز نیتروزامین های سرطان زا از نیتریت ها و غیره و در نهایت تحریک واکنش های ایمنی در دوزهای بسیار پایین، از جمله این فرآیندهاست.

چون ویتامین C بی نهایت ناپایدار و شکننده است، کمبود ناشی از این ویتامین اغلب در جیره های غذایی دستی ماهی مشاهده شده که این امر نشان دهنده مطالعات فراوان انجام شده در مورد ماهی‌هاست. از جمله این علائم، بیماری اسکوربوت ناشی از ایجاد نقص در کامل شدن کلاژن، اسکولیوز، لوردوز و یا هموراژی، در ماهیان آب شیرین مانند قزل آلا، ماهی آزاد، گربه ماهی، کپور، تیلاپیا و مارماهی است. اما این علائم بصورت نامنظم و در ماهیهای بسیار جوان مشاهده می شوند. در کفشک علائم پاتولوژیک متفاوتی مشاهده می شود. سندرم گرانولوماتوس کلیوی که مشخصه آن تخریب مسیر کاتابولیسم تیروزین و تجمع آن در خون و بافت هاست و منجر به کدورت قرنیه و ظاهر شدن نودول های زیر پوستی و بخصوص نودول های کلیوی می شود، از جمله این علائم است. این سندرم به طور تجربی فقط در ماهی کفشک مشاهده شده است، اما بنظر می رسد که در نتیجه کمبود ویتامین C در سایر گونه ها نیز مشاهده شود. بطورکلی، ازاندازه گیری غلظت ویتامین C در کبد و کلیه به منظور تعیین احتمال کمبود این ویتامین استفاده می شود. محتوای کلاژن مهره داران و نسبت پرولین به هیدروپرولین نیز از شاخص های خوب در جهت تشخیص کمبود این ویتامین در قزل آلا و گربه ماهی هستند در حالیکه در ماهی کفشک تیروزین آمین شاخص خوبی برای این منظور است.

چند سال پیش اشکال پایداری این ویتامین شامل آسکوربیل سولفات و بخصوص آسکوربیل فسفات در مراکز فروش عرضه شدند. بسیاری از مطالعات نشان داده اند که میزان دسترسی اشکال فسفاته همیشه بالاتر بوده، اما این وضعیت در مورد اشکال سولفاته صادق نمی باشد. این اشکال جدید امکان برآورد دقیق تر نیاز های ماهی و سخت پوستانی را فراهم می‌کند که تاکنون به میزان اندکی شناسایی شده اند.

برای دستیابی به حداکثر رشد و بقا در قزل آلای جوان، میزان ورود این ویتامین در حد ۵۰ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم جیره غذایی توصیه شده است. نیازها طی بلوغ جنسی و مراحل لاروی و جنینی افزایش می یابد. همچنین اثر دوزهای خیلی بالا از این ویتامین بر پاسخ های مختلف سیستم عصبی هنوز در حال مطالعه می باشد.

۲-۵-۹) توکوفرول ها (ویتامین E)

ویتامین E شامل سری کاملی از ویتامرهای متعلق به خانواده توکوفرول است که مولکول هایی ساخته شده از یک جفت هسته(توکول) و یک زنجیره جانبی(فیتیل) هستند. آلفا توکوفرول بسیار فعال‌تر از سایر اشکال ویتامین E می باشد. این ویتامین فعال تر از سایر ویتامین ها بوده و نقش اصلی را در تمام موجودات زنده ایفا می کند و موجب افزایش پایداری رادیکال های آزاد (رادیکال های توکوفرول) شده و از این طریق واکنش های زنجیره رادیکالی را متوقف می کند. بنابراین، این ویتامین از مولکول های فراوانی از جمله ویتامین A، کاروتنوئیدها، کوآنزیم Q و HUFAs در برابر اکسیداسیون محافظت می کند. اگرچه این ویتامین به دلیل محلول بودن در چربی، تمایل به گسترش در تمام بخش های موجود زنده را دارد، اما با سیستم گلوتاتیون پراکسیداز و ویتامین C بیش از سایرین همکاری می کند.

نقش اصلی این ویتامین در ماهی حفاظت از اسیدهای چرب HUFA سری n-۶ و بخصوص n -۳ است که به فراوانی در فسفولیپیدها یافت می شوند (فصل۷). در نتیجه، توکوفرول برای حفظ انسجام غشاء سلولی ضروری و حیاتی است بطوریکه در حفاظت از لیپیدها در برابر اکسیداسیون و فرآیند جمود نعشی نقش اساسی دارد و موجب تازه ماندن گوشت از طریق کاهش سرعت فرآیند فساد و تجزیه می شود. سایر نقش های این ویتامین شامل دخالت در مکانیسم تجمع پلاک ها(از طریق سنتز پروستاگلندین) و همولیز، تحریک مکانیسم های سیستم ایمنی و حفظ کارکردهای تولید مثلی است.

بنظر می رسد که نقش این ویتامین در حفظ کارکردهای تولید مثلی چشمگیر نیست و حتی در مهره داران عالی اصلا تاثیر ندارد. اما این ویتامین در ماهی و پستانداران بخوبی این نقش را ایفا می کند.

از اینرو نامگذاری توکوفرول در گذشته به عنوان ضد ناباروری به علت فواید بسیار زیادی است که این ویتامین داراست. کمبود ویتامین E در ابتدا موجب فساد عضلانی می شود. همچنین تورم[1]، ترشح لنف تقریبا سبزرنگ، کم خونی، سستی اریتروسیت ها و گاهی اوقات بی رنگ شدن از جمله علائم کمبود ویتامین E می باشد. باروری ماهیان مولد نیز در نتیجه کاهش این ویتامین کم می شود. کمبود این ویتامین در واحدهای پرورشی امری غیر عادی نیست. به علت وجود رابطه بین توکوفرول ها با آسکوربیک اسید و همچنین با HUFAs ، مقدار نیاز به این ویتامین به منظور کسب حداکثر رشد و بقا، حدود ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم غذا برآورد شده است. دانشمندان قصد دارند تاثیر کنش های متقابل بین دو آنتی اکسیدان را تحت شرایط عملی مورد بررسی قرار دهند. آنتی اکسیدان های مصنوعی تا حدی کارکرد مشابهی با توکوفرول‌ها دارند، اما در محیطهای آزمایشگاهی فعال نبوده و فقط از مولکول های حساس قبل از فرآیند جذب محافظت می کنند. در مقابل، α- توکوفرول استات پیش از هیدرولیز شدن توسط استرازی که فرآیند جذب را سرعت می بخشد، در روده فعال نیست. به منظور حفاظت از چربیها در برابر پراکسیده شدن در زمان نگهداری و فروش آنها، میزان دوز مورد نیاز ویتامین E را افزایش می دهند. ظاهراً افزایش دوز توکوفرول بی ضرر است زیرا احتمالا این ویتامین براحتی در تمامی چربیها در بدن ذخیره می شود.

۶-۹ - کلسیفرول (ویتامین D)

این ویتامین که فرمول آن در کادر ۲-۹ ارائه شده است، تنها ویتامینی است که می تواند در بدن جذب شود، اما جذب آن به صورت پیش ساز هورمون است. این ویتامین پیش زمینه ۱و۲۵- دی هیدروکسی کولکلسیفرول ($1,25(OH)_2D_3$) است که برای تنظیم متابولیسم کلسیم – فسفات ضروری است. ویتامین D دارای دو نوع ویتامین غیر فعال شامل ارگوکلسیفرول (D_2) که عمدتا در گیاهان وجود دارد و کولکسیفرول (D_3) می باشد. این مولکول ها استروئید هایی با سه هسته و یک زنجیره جانبی هستند که به دهانه هسته های استرول متصل می شوند و تنها از لحاظ گروه متیل چسبیده به زنجیره جانبی مولکول، با یکدیگر اختلاف دارند. اثرات نسبی این دو مولکول در بین گروههای جانوری بسیار متفاوت است. در ماهی، فعالیت ارگوکلسیفرول سه بار کمتر از کولکسیفرول است.

[1] oedemas

در حیوانات کولکلسیفرول از کلسترول مشتق می شود و چون ویتامین D فقط هنگامیکه نور به اندازه کافی وجود نداشته باشد (سنتز D_3 به اشعه ماورائ بنفش نیاز دارد) فعال می شود، اشتقاق کولکلسیفرول از کلسترول اغلب در محیطهای آبی انجام میشود که نور براحتی نفوذ نمی کند. ۱و۲۵ دی هیدروکسی کولکسیفرول، کلسیم را تنظیم و حتی در مهره داران عالی تعادل کلسیم – فسفات را از طریق مشارکت با پاراتورمون، هوموستازی می کند. این هورمون در سه زمینه فعالیت دارد که شامل جذب روده ای (انتروسیت ها دریافت کننده این هورمون هستند)، مصرف کلسیم استخوان ها و جذب مجدد آنها در کلیه می باشد. در صورت فقدان اشعه ماورا بنفش، کمبود ویتامین D منجر به تجزیه کلسیم اسکلت شده که می تواند منجر به راشیتیسم و همچنین ایجاد اشکال در انقباض عضلانی گردد. بسیاری از کارکردهای ویتامین D نیز همانند ویتامین A، هنوز مشخص نشده اما دخالت در رشد، تمایز سلولی و سیستم ایمنی از جمله این نقش هاست .

در ماهی، کمبود ویتامین D موجب تجزیه کلسیم می شود، اما هرگز راشیتیسم یا نرمی استخوان در هیچیک از گونه ها حتی در محیط آزمایشگاهی، مشاهده نشده است که نشان دهنده نقش کمتر ویتامین D در ماهی است. ماهی قادر به جذب کلسیم آب از طریق آبشش هاست که این امر می تواند دلیلی برای توجیه علت پایین بودن نیازهای ویتامین D باشد. کمبود ویتامین D موجب کندی رشد، گرفتگی عضلات و تخریب هوموستازی تعادل کلسیم-فسفات می شود. در مورد قزل آلا، مقدار نیاز به ویتامین D بسیار بالاست، تاجائیکه به IU ۲۴۰۰ از ویتامین D_3 به ازای هر کیلوگم از جیره خالص سازی شده می رسد. این در حالیست که مقادیر توصیه شده برای ماکیان IU ۲۰۰ و خوک ها IU ۲۲۰ بر کیلوگرم از جیره خالص سازی شده می باشد. به منظور توجیه علت بالا بودن نیاز های برآورد شده این ویتامین در مقایسه با نقش اندک آن در ماهی نیاز به تحقیقات جدیدتری است.

۷-۹ - شبه ویتامین ها و عوامل موثر بر رشد

فرمول این ترکیبات در کادر ۲-۹ آمده است.

۱-۷-۹) کولین

کولین، ترکیب چهارتایی آمونیوم شامل تری متیل آمین است. این ویتامین همچنین می تواند از اتانول آمین (که از اسید آمینه سرین ساخته می شود) و متیونین باشد که به عنوان دهنده گروه متیل ساخته می‌شود. در این واکنش حضور اسید فولیک برای انتقال گروههای متیل ضروری است. سنتز کولین از تغییر شکل اتانول آمین چسبنده به فسفولیپیدها انجام می شود.

کولین امکان انتقال پیام های عصبی را توسط فیبرهای کولینرژیک (نقش فیزیولوژیک استیل آمین) فراهم می کند، همچنین بخشی از ترکیب فسفاتیدیل کولین را بوجود می آورد. نقش لیپوتروفیک(چربی دوستی) کولین به علت فراوانی فسفولیپیدهای موجود در غشا و لیپوپروتئین ها است. همچنین کولین موجود در غذا از طریق افزایش سطح اکسید شدن بتائین و ایجادگروه دهنده متیل، امکان صرفه جویی در مصرف متیونین را فراهم می سازد.

کمبود کولین نقش لیپوتروفیک آن را اثبات کرده و موجب تجمع تری آسیل گلیسیرول ها در کبد و تخریب فرآیند متابولیسم لیپیدها می شود. سایر علائم چندان خاص نیستند. در صورت وجود مقادیر اضافی متیونین یا بتائین، کمبود کولین بمراتب کمتر احساس می شود که نشان دهنده امکان سنتز آن است. با توجه به گونه های مختلف، سطوح مختلفی از ۴۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا برای گربه ماهی و ۱۰۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا برای قزل آلا توصیه شده است. باید توجه نمود که ماهیت هیگروسکوپیک کولین می تواند ناپایداری سایر ویتامین ها را در ترکیب های مشابه افزایش دهد.

۲-۷-۹) اینوزیتول

این مولکول که یک هگزا الکل حلقوی است، می تواند به اشکال ایزومری مختلف وجود داشته باشد که تنها یکی از این ایزومرها، مزو یا میو اینوزیتول توسط ماهی مصرف می شود. اینوزیتول به عنوان سازنده فسفاتیدیل اینوزیتول عمل میکند که یک فسفولیپید است و می توان آن را به عنوان شکل فعال این شبه ویتامین در نظر گرفت و بر اساس این نقش ساختاری، اینوزیتول مانند کولین یک عامل لیپوتروفیک محسوب می شود. فسفاتیدیل اینوزیتول همچنین در دریافت و درک سیگنال های ناشی از فرآیندهای متابولیک خاص از طریق تولید پیام برهای ثانویه (IP_3) دخالت می کند.

این شبه ویتامین براحتی در اغلب مهره داران عالی سنتز شده و مدتهاست که به عنوان ویتامین در بندپایان از جمله سخت پوستان شناخته شده است. اینوزیتول تنها ویتامینی است که دارای خاصیت انرژی زایی است(یعنی همانند یک هیدرات‌کربن تجزیه می شود).

میزان سنتز کولین در روده کپور ماهی کم و به طور ناقص انجام می شود، در حالیکه در گربه ماهی سنتز آن به اندازه کافی و در کبد و روده صورت می گیرد. ماهیت ویتامینی اینوزیتول هنوز در ماهی به اثبات نرسیده است. علائم کمبود اینوزیتول همانند کولین ناشی از نقش لیپوتروفیک آن بوده و موجب کاهش سنتز فسفولیپیدها همراه با تجمع لیپیدهای خنثی می شود. میزان نیاز اینوزیتول ۳۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم غذا در مورد قزل آلا برآورد شده است که حاصل مطالعاتی با پایه علمی ضعیفی است و از این طریق غلظت های اینوزیتول در جیره های مکمل سازی نشد، برآورد شده است. در مورد سایر گونه ها نظیر کپور و دم زرد مقادیر برآورد شده بر اساس افزایش وزن بدن یا ذخائر کبدی ، ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم جیره می باشد. اطلاعات بسیارکمی در این زمینه وجود داشته و چون اینوزیتول با قیمت بالایی تولید می شود، تعیین دقیق نیاز به این شبه ویتامین بسیار پر اهمیت خواهد بود.

اینوزیتول در گیاهان به وفور یافت می شود، اما غیر فعال و به شکل فیتات است(فصل ۱۹). از جمله حشره‌کش هایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند، لیندان یا آنتاگونیست اینوزیتول بوده و بنابراین، یک آنتی ویتامین محسوب می شود.

۳-۷-۹) عوامل موثر بر رشد

بنظر می رسد که ترکیبات دیگری نیز وجود دارند که سنتز آنها تحت شرایط خاصی در حیوانات بصورت ناقص انجام می شود. این عوامل به عنوان عوامل موثر بر رشد شناخته شده اند که اوروتیک اسید (B_{13})، یوبیکوئینون، پیرولوکوئینولین کوئینون، اسید لیپوئیک، کارنیتین و غیره از جمله این عوامل هستند. حتی برخی ویتامرها (پارا- آمینو- بنزوئیک اسید یا PAB، فولیک اسید) یا ترکیباتی که به میزان اندکی شناسایی شده اند نظیر پانگامیک اسید یا ویتامین B_{12} نیز جزء این عوامل دسته بندی می شوند. این عوامل بندرت در ماهی مطالعه شده اند. بنظر می رسد که کارنیتین تحت شرایط خاصی تحریک کننده رشد در باس دریایی باشد که در وعده های غذایی حیوانات بوفور یافت می شود.

۸-۹ - نیاز ها و تامین آنها

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، با استفاده از جیره های خالص سازی شده، نیازهای آزاد ماهیان به ویتامین ها بدقت شناسایی شده است. داده های پراکنده ای در رابطه با سایر گونه ها نظیر کپور، مارماهی و گربه ماهی وجود دارد و در مورد اغلب ماهیان دریایی اطلاعاتی در دست نمی باشد. از اینرو در سایر موارد، متخصصان تغذیه و سازندگان غذا از استانداردهای تعیین شده برای آزاد ماهیان (ضمیمه C) استفاده می کنند. گرچه اختلافات بین گونه ای چندان چشمگیر بنظر نمی رسد، اما با توجه به استنائاتی نظیر نیاز به ویتامین D_3، تعیین نیازها به مطالعات زیادی احتیاج دارد.

با توجه به عواملی نظیر کاهش ارزش غذایی، ناپایداری و قابلیت دسترسی، می توان با استفاده از معادله زیر مشکلات عملی تامین نیازها را محاسبه نمود:

$$R_{\text{کل}} = R_{\text{نگهداری}} + R_{\text{رشد}} + R_{\text{تولید مثل}} + I_{\text{سایر مواد مغذی}} + I_{\text{محیط اطراف}}$$

$$S = [\, R_{\text{کل}} + L_{\text{در طی مراحل ساخت (سازنده)}} + L_{\text{ذخیره سازی}} + f_{\text{(تراکم پرورش)}} \,] \times \frac{1}{A}$$

R = نیاز ها

L = تلفات

I = کنش متقابل

S = استاندارد(میزان توصیه شده)

F( ) = فاکتور عملکردی

A = قابلیت دسترسی

در عمل همیشه دامنه گسترده ای از حدود اطمینان بکار می رود. ورود مکمل های ویتامینی اغلب دو برابر میزان نیاز ها در نظر گرفته می شود و ویتامین های موجود در مواد خام محاسبه نمی‌شوند. به این ترتیب، این اقدامات احتیاطی پیامدهای ناشی از ناقص بودن آگاهی های ما در این زمینه را کاهش می دهد.

۹-۹ - خلاصه

به طور خلاصه در زمینه ویتامین ها تفاوت ناچیزی بین مهره داران عالی و ماهی ها وجود دارد. بی تردید، شکل دیگر رتینول که ویتامین A_2 نامیده می شود، ظاهرا فقط در ماهی وجود دارد، اما کارآیی شکل نرمال آن نیز بالاست. همچنین ماهی ها به دو شبه ویتامین نیز نیاز دارد. این دو شبه ویتامین شامل کولین (مورد نیاز پرندگان) و اینوزیتول (دارای نقشی مشابه در ماهی ها و بی مهره گان) می باشند. ویتامین کلسیفرول و ویتامین K نقش کمتری در ماهی نسبت به مهره داران عالی دارند، اما در مقابل، ویتامین E و C از اهمیت بیشتری حداقل از نظر کاربردی، برخوردارند. تعیین نیازهای کمی که هنوز بخوبی در مورد بسیاری از گونه ها شناخته نشده اند به مطالعاتی نیاز دارد که باید در اولویت قرار گیرد.

«فصل ۱۰»

مواد معدنی

ماهی ها نیز مانند حیوانات خشک زی به مواد معدنی نیاز دارند. مواد معدنی یا مینرال ها، اجزء سازنده بافت های ویژه (عمدتا ساختارهای اسکلتی) و یا مولکول هایی هستند که به شکل کوفاکتور(عامل کمکی آنزیم ها) در تعادل یونی داخل و خارج سلولی و تنظیم عملکرد غدد درون ریز نقش دارند. تا به امروز ۷ ماکرومینرال و ۱۵ عنصر به عنوان ماده معدنی شناخته شده اند که نقش فیزیولوژیک ویژه ای در اکثرحیوانات ایفا می کنند. اما در مورد ماهی ها وسخت پوستان، تنها ۱۱ ماده معدنی ضروری تلقی می‌شوند(جدول۱-۱۰).

دانش بشر در زمینه مواد معدنی مغذی مورد نیاز حیوانات آبزی به میزان قابل توجهی ناقص و پراکنده است. از آنجائیکه بطورکلی کارکرد ماکرومینرال ها و عناصر ریز مغذی کمیاب[1] از یک نقش ساختاری(سازنده بافت) تا یک نقش کاتالیتیک(فعالیت آنزیمی) متغیر است، یک همگونی نسبی بین مقادیر موجود دربافت ها و نیازهای کمی وجود دارد. علاوه براین، در این مورد هیچ نوع ارتباطی بین غلظت مواد معدنی و نیازها، به صورتی که برای سایر مواد مغذی نظیر آمینواسیدهای ضروری وجود دارد، کشف نشده است.

[1] oligo-elements

۱-۱۰ – ویژگی‌های تغذیه ای مواد معدنی

۱-۱-۱۰) کلیات

مکانیسم جذب روده ای با توجه به عنصر شرکت کننده در آن مکانیسم متفاوت است. این مکانیسم ها شامل انتقال فعال و انتشار غیر فعال همراه با مداخله لیگاندها یا بدون مداخله آنهاست. بر این اساس، آهن موجود در جیره غذایی از طریق اتصال به پروتئین موجود در موکوس روده (پیوند ترانسفرین- فرین) جذب می شود. با این وجود بنظر می رسد جذب آهن از طریق آبشش‌ها نیز امکانپذیر باشد. برای سایر عناصر(روی و مس) نیز مکانیسم جذب مشابهی وجود دارد اما نحوه عملکرد مسیرهای جذب از طریق آبشش و روده کاملاً شناخته نشده اند. مهمتر اینکه نحوه تنظیم این مکانیسم ها در اعضای مختلف بدن نسبت به مقدار این عناصر در جیره غذایی و میزان غلظت آنها درآب، هم در ماهیان آب شیرین و هم ماهیان دریایی عملا ناشناخته باقی مانده است.

موضوع مهم اینکه به علت نقش بارز عناصر کمیاب در تنظیم هوموستازی، در صورت وجود کمبود در این عناصر حتی در حد ناچیز، جذب آنها افزایش یافته و افزایش ناچیز این عناصر بیش از حد مطلوب، عواقب نامطلوبی بهمراه خواهد داشت(شکل ۱-۹). بنابراین، در تعیین مقادیر نیاز به مواد معدنی باید دقت بالایی داشت. علاوه براین، مشکلات مربوط به قابلیت دسترسی، به همان اندازه که به حیوان و وضعیت فیزیولوژیک آن مربوط است، به نحوه تامین این عناصر و واکنش هایی که بین عناصر و سایر مواد روی می دهند نیز وابسته است. نحوه دفع این عناصر متفاوت بوده و از طریق کلیه ها، آبشش ها، صفرا، فضولات یا حتی از طریق پوست انجام می شود. این عناصر در صورت رسیدن به غلظت زیاد موجب بروز مسمومیت می شوند. تجمع عناصر معدنی از طریق جیره غذایی و آب در بدن صورت می گیرد. بر خلاف مطالعات اندکی که در مورد نیازهای مواد معدنی انجام شده ، در زمینه فلزات سنگین سمی درمحیطهای آبی مطالعات بسیاری وجود دارد.

۲-۱-۱۰) تعامل بین محیط زیست، موجودات آبزی و احتیاجات غذایی

در محیط آبی تامین مواد غذایی در ارتباط مستقیم با ظرفیت جذب (از طریق آبشش ها،پوست و دهان) از محیط اطراف است.

جدول ۱-۱۰) ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب که در تغذیه ماهی نقش دارند.

عناصر کمیاب	ماکرومینرال
* آهن(Fe)	* کلسیم(Ca)
* روی(Zn)	* فسفر(P)
* منگنز(Mn)	* پتاسیم(K)
* کبالت(Co)	* منیزیم(Mg)
* مس(Cu)	سدیم(Na)
* ید(I)	کلر(Cl)
* سلنیم(Se)	** سولفور(S)
فلوئور(F)	
نیکل(Ni)	
وانادیم(V)	
سیلیکون(Si)	
قلع(Sn)	
کرم(Cr)	
آلومینیوم(Al)	

* عناصری که نیاز به آنهادر ماهی به اثبات رسیده است.

** عنصری که به طور کلی به علت پایین بودن فوق العاده قابلیت دسترسی، به عنوان ماده آلی در نظر گرفته می شود.

همانطور که قبلا به آن اشاره شد، حیوانات آبزی تنها موجودات زنده ای هستند که علاوه بر غذایی که از آن تغذیه می کنند، قادر به جذب برخی مینرال ها (سدیم،کلر،پتاسیم و کلسیم) و عناصرضروری و کمیاب (عمدتا آهن، روی، منگنز، منیزیم، مس، ید، کبالت) از محیط اطراف می باشند.

در ماهیان آب شیرین، محیط اطراف نسبت به داخل بدن بسیار هیپوتونیک است. در این ماهیان، به منظور حفظ نمک داخل بدن هنگام تغییر فشار اسمزی، جذب آب از طریق پوست همراه با دفع مقادیر زیادی اوره رقیق شده صورت می گیرد (در حدود ۱۰۰ میلی لیتر به ازای کیلوگرم در روز). کمبود سدیم نیز از طریق افزایش کارآیی پمپ سدیم و آبشش ها جبران می شود.

غلظت مواد معدنی محلول اغلب پایین و بسیار متغیر است. بنابراین، محتوای مواد معدنی جیره غذایی نقش مهمی در این زمینه ایفا می کنند(شکل ۱-۱۰).

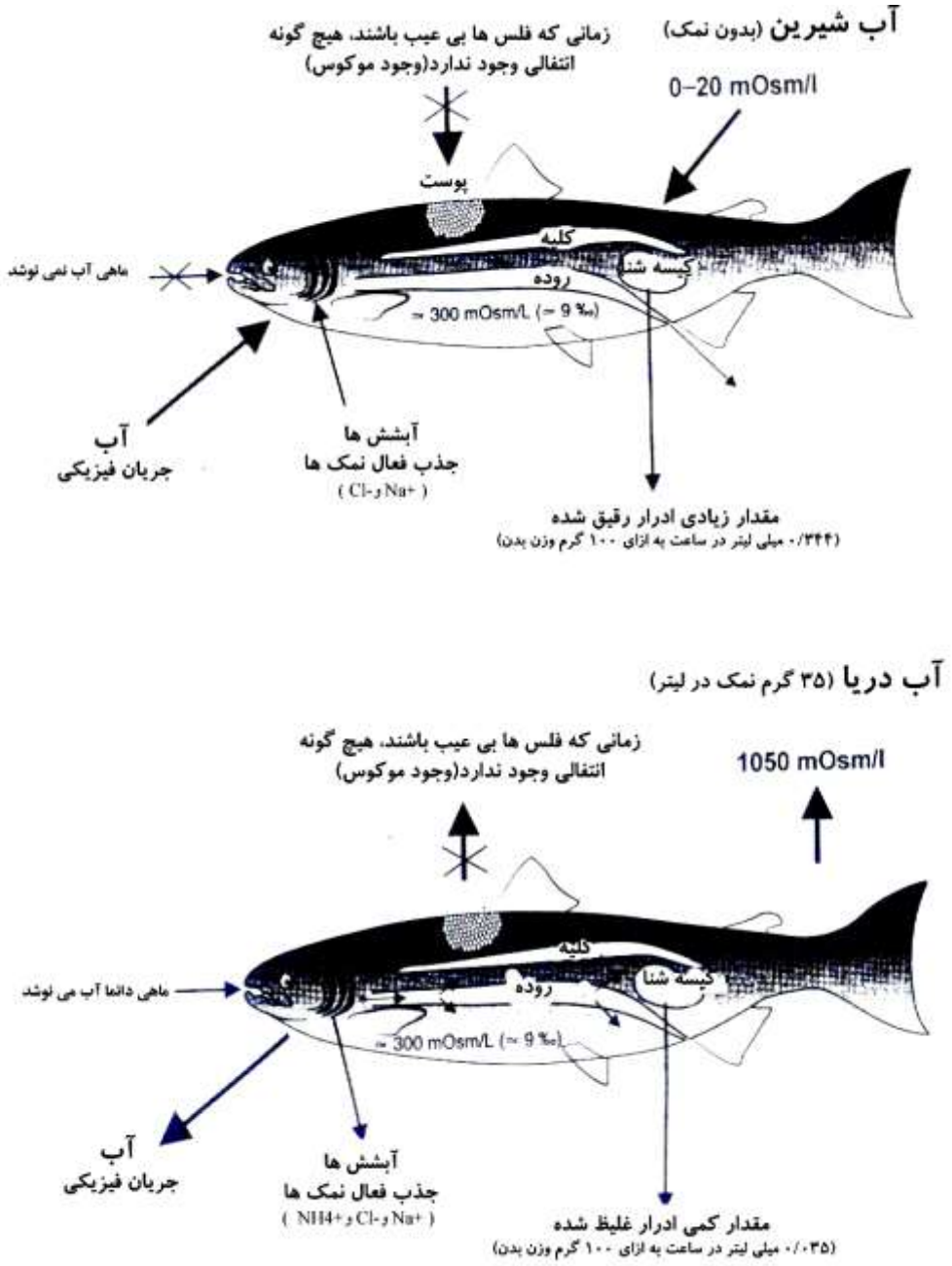
در آب شور، محیط خارج بدن ماهیان نسبت به محیط داخلی هایپرتونیک است و به منظور حفظ تعادل اسمزی، ماهی مقادیر زیادی آب غنی از نمک ها و یون ها را می نوشد و یون های اضافی از طریق کلیه‌ها (ادرار بسیارغلیظ)، آبشش ها (سدیم و کلرین ها) و روده (یون های دو ظرفیتی) دفع می کنند (شکل ۱-۱۰). چون غلظت مواد معدنی محلول در آب شور بیشتر و اغلب ثابت تر از آب شیرین است و همچنین ماهی مجبور به نوشیدن مداوم آب به منظور حفظ تعادل اسمزی است، احتمالا در این محیط ها میزان جذب مواد معدنی از محیط اطراف بسیار بیشتر خواهد بود. هرچند این احتمال درست بنظر می رسد، اما مطالعات آزمایشگاهی کمی در جهت تایید آن صورت گرفته است.

تحت این شرایط، تعیین نیازها کار بسیار دشواری است. بطورکلی، مواد معدنی جزئی از جیره غذایی هستند که در صورت فقدان میزان کافی از آنها درآب، این جیره ها امکان دسترسی به میزان اپتیمم این مواد را برای حیوان فراهم می کنند. ازآنجاییکه اغلب اوقات مشکل ناکافی بودن مواد معدنی موجود در آب وجود دارد، ضروری است که برای تعیین نیازها، به روابط پاسخ بر اساس دوز مصرفی رسم شده در نمودار اشاره شود(شکل ۲-۱۰).

۲-۱۰- مواد معدنی

۱-۲-۱۰) کلسیم

کلسیم برای رشد و توسعه استخوان، حفظ تعادل اسمزی، فعالیت عضلانی و عملکرد سیستم عصبی ضروری است. در انعقاد خون و تنظیم ترشح هورمون ها (کلسیتونین،پرولاکتین، کتکولامین ها، پاراتیروئید و غیره) نیز دخالت دارد. کمبود کلسیم در غذا بندرت موجب کاهش رشد در ماهی می شود. در واقع اسکلت ماهیان استخوانی در مقایسه با اسکلت حیوانات خشکی هم اندازه با ماهی،کوچکتر است. علاوه براین، بیش از ۵۰ تا ۶۰ درصد نیازهای ماهی از طریق آب قابل تامین است. در محیطهای آب شیرین، نیاز غذایی کلسیم نسبت به غلظت آن (بر اساس سختی آب) متغیر است. در ماهیان دریایی، نیز ظرفیت جذب و متعاقب آن نیاز به کلسیم متفاوت است. در جریان رشد اولیه، کمبود کلسیم منجر به ایجاد نقص و بدشکلی در جمجمه و مهره ها می شود.

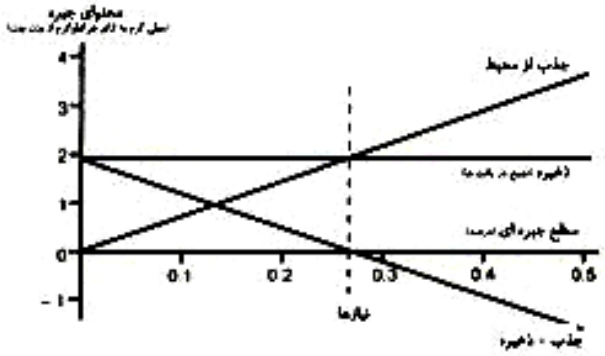


شکل ۱-۱۰) تبادلات یونی در قزل آلا، یک ماهی یوری هالین در آب شیرین و آب شور (Boeuf,1987)

جدول ۲-۱۰) منابع ماکرومینرال ها، نقش و علائم کمبود آنها در ماهی

علائم کمبود	کنش متقابل	نقش	منابع	ماکرو مینرال
کاهش رشد سست بودن اسکلت و فلس ها	ویتامین D فسفر، روی و منیزیم	رشد استخوان انعقاد خون کوفاکتور برای آنزیم ها انتقال پیام های عصبی	آب مواد خام با منشا حیوانی نمک های غیرآلی	**کلسیم**
کاهش رشد ایجاد نقص در شکل جمجمه و مهره ها کانی زدایی کاهش فسفر خون،هماتوکریت کاهش فسفات قلیایی در سرم کاهش گلیکوژن کبدی	کلسیم، منیزیم و منگنز نیاسین ویتامین B_1 ویتامین B_6	رشد استخوانی متابولیسم انرژی جزء سازنده سلول و غشا جزء سازنده کوآنزیم : $NADP^+$، تیامین،پیروفسفاتاز پیریدوکسال فسفات ،کوآنزیم A	مواد خام با منشا گیاهی و حیوانی نمک های غیرآلی (مونو یا بی کلسیک فسفاتاز)	**فسفر**
فساد عضلانی بدشکلی مهره ها کاهش تجمع منیزیم در بافت ها کمبود کلسیم بی اشتهایی، بی قراری کاهش حجم مایع برون سلولی کاهش رشد کاهش در فعالیت SOD آب مروارید	پروتئین ها کلسیم، فسفر	رشد انسجام عضله تنفس،متابولیسم انرژی کوفاکتور برای آنزیم ها متابولیسم تیروئید	آب(-) مواد خام با منشا حیوانی و گیاهی نمک های غیر آلی	**منیزیم**
کاهش در رشد تشنج و بی قراری	سدیم	تنظیم آنزیمی :$Na^+ - k^+ - ATPase$ فسفوفروکتوکیناز تنظیم اسمزی موازنه تعادل یون های داخل سلولی انقباض عضلانی انتقال پیام عصبی	آب(+) مواد خام با منشا گیاهی	**پتاسیم**
——	کلسیم، کلر	موازن تعادل یون های خارج سلولی تنظیم اسمزی تنظیم آنزیمی	آب(-) مواد خام با منشا حیوانی	**سدیم**

منبع اصلی (+) ، منبع ثانویه (-)



شکل۲-۱۰) روابط بین پتاسیم موجود در جیره و ذخیره آن در گربه ماهی کانالی. نیازها با توجه به عدم جذب مواد معدنی از آب رسم شده اند (EL Naggar and Wilson, 1992)

تحت شراط خاص (مانند گرسنه ماندن برای مدت طولانی و بلوغ جنسی که به طورهمزمان در ماهیان آزاد و در جریان مهاجرت به رودخانه ها مشاهده می شود)، کمبود کلسیم بخصوص در فلس ها قابل مشاهده است. گونه های بدون فلس هنگام مواجهه با کمبود مواد معدنی از ذخائر اسکلتی خود استفاده می کنند. با این وجود، علائم مربوط به اسکوربوت واقعی در آنها مشاهده نشده است.

مهمترین منابع غذایی حاوی کلسیم، منابعی با منشا حیوانی (مانند آرد ماهی) است. حداکثر غلظت کلسیم درماهی در اسکلت (بیش از ۳۰ درصد) و فلس ها (بیش از ۸۰ درصد) است. بطورکلی، کلسیم موجود در فلس ها ذخایر ناپایداری هستند. غلظت کلسیم فیله ماهی از ۲ تا ۵ درصد وزن تر متغیر است. کنش متقابل کلسیم با سایر مواد غذایی(از جمله ویتامین D، منیزیم و روی) مشخص شده است. هر چند نقش ویتامین D در ماهی بسیار محدود است(فصل۹).

۲-۲-۱۰) فسفر

فسفر نظیر کلسیم در بافت استخوانی و به شکل هیدروکسی آپاتیت وجود دارد. اسکلت داخلی ماهی از ۱۵ درصد فسفر تشکیل شده است. اما بیش از یک سوم از کل فسفر موجود در بدن ماهی در بافت های نرم (فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک، ترکیبات غنی از انرژی و غیره) تجمع یافته است. این عنصر در ساختار سلولی و غشا شرکت می کند و برای انجام واکنش های فسفوریلاسیون ضروری است. در متابولیسم انرژی،کربوهیدرات، لیپید و نیتروژن نقشی اساسی را ایفا می کنند. میزان فسفر فیله ماهی بین ۰/۲ تا ۰/۸ درصد می باشد.

کمبود فسفر موجب کاهش رشد استخوانی و بدن می شود.غلظت مواد معدنی در ستون مهره ها به میزان زیاد تحت تاثیر ذخیره فسفر است. از علائم دیگر کمبود فسفر، تجمع بیش از حد چربی و افزایش فعالیت برخی آنزیم ها (نظیر آلکالین فسفاتاز و آنزیم های شرکت کننده در گلوکونئوژنز) می باشد.

ماهی قادر نیست نیاز به فسفر را از طریق جذب از محیط توسط آبشش ها و پوست تامین کند. اگرچه جذب از محیط اطراف درآزادماهیان به اثبات رسیده است، اما میزان جذب پایین بوده و صرفا بخش کمی از نیازها را تامین می کند. بنابراین، میزان فسفر موجود در جیره غذایی حیاتی است. از بین ماکرو مینرالها، فسفر یکی از مواد معدنی غذایی موجود در جیره است که باید بزرگترین بخش از نیازها را پوشش دهد (بیشترین نیاز به مواد معدنی به فسفر اختصاص دارد). میزان نیاز به فسفر در گونه های مختلف آبزی پروری بین ۰/۵ تا ۰/۹ درصد جیره متغیر است. بر خلاف حیوانات خشک زی که احتمال تعیین نسبت ایده آل کلسیم به فسفر با دقت زیادی صورت می گیرد، در آبزیان هیچ گونه اطلاعاتی در این زمینه وجود ندارد و در شرایطی که مقادیر اضافی فسفر وجود داشته باشد، نسبت $\frac{ca}{p} = 1$ توصیه می شود. این نسبت تا حدی متناسب با نوسانات کیفیت آب است که می تواند نیازهای کلسیم را تحت تاثیر قرار دهد و تا حدی متناسب با نوسانات موجود در قابلیت دسترسی به فسفر جیره غذایی می باشد.

یکی از مشکلات مرتبط با فسفر در پرورش ماهی، رسیدن به یک نسبت ایده آل است تا همزمان با اینکه از به وجود آمدن کاتابولیت های غنی از فسفر جلوگیری شود، امکان تامین نیازها را نیز فراهم کند. مقادیر اضافی فسفر باعث یوتریفیکاسیون محیطهای طبیعی و کاهش کیفیت آب می شود. در نتیجه، تعیین نیازهای غذایی عنصر فسفر نسبت به سایر عناصر توجه بیشتری را بخود جلب کرده است.

منابع گیاهی (به استثنای مخمرها) از نظر فسفر با منشا فیتیکی[1]، غنی هستند که برای ماهی در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد قابلیت دسترسی دارند. اسید فیتیک (اینوزیتول هگزا فسفریک اسید) می تواند از طریق اتصال به یون های zn^2 و fe^{2+} یا ca^{2+} ، جذب روده ای را کاهش داده و به این صورت نقش کانی زدا[2] را ایفا کند (فصل ۱۹). میزان دسترسی به فسفر با منشا فیتیکی را می توان از طریق اضافه کردن فیتازها برای مثال، فیتازهایی با منشا میکروبی، به جیره غذایی افزایش داد. بنظر می رسد که سخت پوستان قادر به مصرف فسفرهای فیتیکی باشند، هرچند آنزیم بخصوصی در این رابطه کشف نشده است. بطورکلی، قابل حل‌ترین منابع فسفر غیرآلی (مونو یا دی کلسیم فسفات) نسبت به نمک هایی با حلالیت کمتر نظیر تری کلسیم فسفات از قابلیت دسترسی بیشتری برخوردارند.

اهمیت مواد معدنی در بین گونه های فاقد معده و دارای معده، متفاوت است. فقدان معده به عنوان ناحیه‌ای با pH اسیدی حلالیت نمک هایی نظیر دی کلسیم فسفات را کاهش می دهد و در نتیجه میزان دسترسی آن در آزاد ماهیان که دارای معده هستند نسبت به ماهیان فاقد معده نظیر کپور، بسیار بیشتر است(جدول B.۳ ، ضمیمه B).

شناسایی اثرات احتمالی ناشی از رهاسازی مازاد فسفر مزارع آبزی پروری در محیطهای آبی نشان‌دهنده دستیابی به استانداردهای دقیق برای تعیین حداکثر میزان فسفر در تغذیه ماهیان پرورشی است. با در نظر گرفتن اهمیت تعیین میزان مناسب فسفر موجود برای رشد و همچنین متابولیسم و بهبود نسبت های غذا به رشد، استفاده از اصطلاح نیازهای مطلق (مقادیر ضروری به منظور رشد به ازای واحد وزن بدن) نسبت به اصطلاح سطوح تغذیه ای، معقولانه تر خواهد بود. تکیه بر مطالعات و دانش دقیق در زمینه نیازهای تغذیه‌ای و قابلیت دسترسی عنصر فسفر در ترکیبات غذایی ضروری بنظر می رسد. زمانیکه از ورود مقادیر اضافی عناصر یا به شکل آلی یاغیرآلی به هر نحوی جلوگیری شود، میزان عناصر موجود در جیره غذایی می تواند نیازها را تامین کنند. اضافه کردن آنزیم هایی نظیر فیتازها تنها در صورتی به صرفه خواهند بود که هزینه تامین این آنزیم ها در جیره های بسیار غنی از نظر منشا گیاهی، ارزان و اقتصادی باشد.

---

[1] phyticphosphorus
[2] deminerraliser

۳-۲-۱۰) منیزیم

غلظت منیزیم در فیله ماهی در حدود ۲۰ تا ۱۰۰ میلی گرم بر ۱۰۰ گرم می باشد. این فلز یک عنصر سازنده مهم در بافت های استخوانی محسوب می شود. فرآیند متابولیسم این عنصر مشابه عنصر کلسیم است. منیزیم به عنوان عامل کمکی(کوفاکتور) در واکنش های آنزیمی مرتبط با فسفر(پیرووات کیناز، فسفوکیناز، فسفاتاز، ATP آز وابسته به منیزیم و غیره) عمل کرده و در تنظیم اسمزی، سنتز پروتئین و رشد دخالت دارد.

کمبود منیزیم علائمی نظیر کاهش رشد، بی اشتهایی، بدشکلی اسکلتی، رسوب کلسیم در کلیه و سختی عضلانی را بهمراه دارد. نیاز به کلسیم در ماهیان آب شیرین نسبتا پایین است(۰/۰۵ تا ۱ درصد) و در این محیط ماهی می تواند نیازهایش را از طریق آب شیرین که حاوی ۱ تا ۳ میلی گرم بر لیتر منیزیم است، برآورده سازد. چون جیره های غنی از پروتئین به میزان بیشتری منیزیم نیاز دارند، باید بین پروتئین های جیره و این عنصر ارتباطی وجود داشته باشد. دسترسی به منیزیم با استفاده از جیره های غذایی حاوی ترکیبات گیاهی بسیار قابل توجه می باشد.

غنی‌سازی با نمک های غیر آلی تنها در مورد جیره های خالص سازی شده ضروری است. مقدار منیزیم و قابلیت دسترسی به آن در پودرهای ماهی بسیار متغیر است. در ماهیان آزاد تغذیه شده با جیره های غنی شده با نمک های غیرآلی ($MgCL_2$) میزان دسترسی به منیزیم بیش از ۷۵ درصد است.

٤-۲-۱۰) سدیم ـ کلرین و پتاسیم

این عناصر در شکل یونی خود مسئول حفظ تعادل درون سلولی(k^+) و برون سلولی (Cl^-,Na^+) هستند. Na^+-k^+ ATPase در تنظیم اسمزی دخالت دارد. نقش کلرید ها بسیار مشخص است. یون کلرید در فرآیند هضم ماهیان فاقد معده اهمیت حیاتی دارد. بطورکلی، محیطهای آبی از نظر یون‌های Na^+ و Cl^- غنی بوده و تامین نیاز سدیم و کلرین از طریق جیره های غذایی ضروری بنظر نمی رسد. اما اثرات مثبت ورود مقادیر زیادی کلرید سدیم (بین ۴ تا ۱۰ درصد جیره غذایی) بر سازگاری فیزیولوژیک آزادماهیان در زمان انتقال به دریا اثبات شده است. تامین پتاسیم از طریق جیره غذایی بخصوص در جیره های خالص، ضروری است. کمبود پتاسیم باعث بی اشتهایی، تشنج و بی قراری ماهی می شود که می تواند تلفات زیادی در پی داشته باشد.

مقایسه نیاز چندین گونه ماهیان آب شیرین به این عنصر نشان دهنده نیاز گسترده به این عنصر (۰/۳ تا ۱/۲ درصد) است که احتمالا در ارتباط با غلظت پتاسیم در محیط زیست است.

۳-۱۰- عناصر کمیاب

مقادیر نیاز به ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب در مورد برخی گونه ها در جدول ۳-۱۰ و همچنین نقش اصلی، علائم کمبود و منابع تامین کننده برخی عناصر ریزمغذی کمیاب در جدول ۴-۱۰ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۰) نیازهای غذایی ماکرو مینرال ها(درصد وزن خشک) و عناصر کمیاب(ppm) برخی از گونه ها

	(درصد)				ppm						
	P	Ca	Mg	K	Zn	Mn	Co	Cu	I	Fe	Se
**ماهی آزاد اقیانوس اطلس	۰/۶					۲۰		٦		٦۰	
ماهی آزاد اقیانوس آرام	۰/۶			۰/۸	R***	R***			۰/٦		R***
گربه ماهی کانالی	۰/٤٥	* ۰/٤٥	۰/۰٤	۰/۲٦	۲۰	۲/٤		٥		۳۰	۰/۲٥
کپور معمولی	۰/٦٥	۰/۳	۰/۰٥		۲٥	۱۳	۰/۱۰	۳		۱٥۰	
تیلاپیا	۰/۹	* ۰/٦٥	۰/٦		۱۰	۱۲		۳/٥			
باس کانالی	۰/۸٦				۲۰						
قزل آلا	۰/٥-۰/۸	-۰/۲	۰/۰٥		۱٥-۲۰	۱۲		۳			۰/۱٥-۰/۲٤
مارماهی	۰/۳	۰/۰۳	۰/۱٤							۱۷۰	
سیم دریایی قرمز		۰/۳٤								۱٥۰	

* آب فاقد کلسیم است.

** در ماهیان آب شیرین و آب شور

*** عناصر ضروری (مورد نیاز) بدون تعیین نیازها

جدول ۱۰-٤) عناصر ریزمغذی کمیاب، نقش، نحوه کارکرد و علائم کمبود آنها در ماهی

علائم کمبود	اثر متقابل	نقش	منابع	عناصر کمیاب
کم خونی(همراه با کاهش هماتوکریت) کبد زرد جمع شدگی بافت ها اکسیداسیون لیپیدها	مس، کبالت، منگنز و روی اسید فیتیک PUFA	پروتئین ها: هموگلوبین، میوگلوبین، سیتوکروم، تنفس، انعقاد آنزیم ها : پراکسیدازها، کاتالازها	مواد خام با منشا حیوانی (پودر خون) آب(-) سیترات $FeCl_2FeSO_4$	آهن
کاهش رشد آب مروارید حساسیت به تزریق	ویتامین C روی، سلنیم و آهن	آنزیم ها(Cuproenzyms) سیتوکروم اکسیداز،SOD ، تیروزیناز انتقال دهنده الکترون و اکسیژن هموسیانین(سخت پوستان)	آب (+) $CuSO_4$ اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی	! *مس
کاهش رشد آب مروارید، نانیسم هموراژی خارجی، کاهش هماوری	اسید فیتیک کلسیم و فسفر	آنزیم ها : دهیدروژناز، پپتیداز، آلدولاز، دیسموتاز	اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی آب(-) $ZnSO_4$	روی
کاهش رشد اسکلت غیر عادی کاهش فعالیت آنزیم ها کاهش هماوری	کلسیم و فسفر اسید فیتیک	عامل کمکی آنزیم ها	آب اجزاء اولیه عناصر با منشا حیوانی $MnSO_4$	منگنز
پراکسداسیون لیپیدها کاهش مقاومت بدن در برابر عوامل بیماریزا کااهش فعالیت آنزیم ها	PUFA ویتامین E	جلوگیری از اکسداسیون خود به خودی لیپیدها کوفاکتور SOD و گلوتاتیون پراکسیداز	آب پودر ماهی Na_2SeO_3	سلنیم
ـــــ		هورمون های تیروئید	آب(+)	ید

منبع اصلی (+) ، منبع ثانویه (-)

* مسمومیت : > ۷۰۰ g / غذا kg و ۰/۸-۱ gr /آب lit

ممنوعیت مصرف کنونی در اتحادیه اروپا :!

۱-۳-۱۰) آهن

عنصر آهن جهت سنتز هموگلوبین ضروری است و در تعداد زیادی از واکنش های مربوط به اکسیداسیون و احیا (کاتالاز،سیتوکروم اکسیداز، پراکسیداز) شرکت می کند. کمبود آهن موجب کم‌خونی همراه با کاهش هموگلوبین و هماتوکریت و میزان غلظت آهن در خون می شود. ماهی قادر به جذب آهن حل شده در آب است. مقدار نیاز به آهن در برخی گونه ها شناخته شده است(۱۵۰ تا ۳۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره). وجود مقدار زیادی آهن در جیره غذایی موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و افزایش حساسیت و آسیب‌پذیری اسیدهای چرب چند غیراشباعی می شود. بنابراین، هنگام استفاده از جیره های غذایی غنی از نظر چربی، باید به مقدار آهن ورودی از طریق جیره بیشتر توجه شود. سخت‌پوستان فاقد هموگلوبین بوده و در مقایسه با ماهیان باله دار، نیاز بیشتری به آهن دارند همچنین در برابر مقادیر اضافی آن نیز حساسترند. مواد خام با منشا حیوانی بویژه پودر خون از نظر آهن غنی هستند اما بر اساس مقررات اتحادیه اروپا استفاده از این عنصر در غذای ماهی مجاز نیست. سیترات می تواند به میزان زیادی نیازهای غذایی به این عنصر را تامین کند. ویتامین C قابلیت دسترسی آهن را تحت‌تاثیر قرار می دهد. یون آهن فرو (Fe^{2+}) بیش از آهن فریک (Fe^{3+}) در pH خنثی جذب می شود و ویتامین C امکان احیای نمکهای فریک به نمک های آهن فرو را از در دیواره روده فراهم می کند.

۲-۳-۱۰) مس

مس فرآیند جذب سایر عناصر نظیر آهن و روی را تسهیل می کند و همانند آهن در انتقال الکترون شرکت می کند. علاوه براین، فعالیت بسیاری از آنزیم ها(مس- روی - سوپر اکسیداز دسموتاز یا SOD ، کاتالاز، تیروزیناز و غیره) به مس وابسته اند. از سویی، انتقال در پلاسما به شکل متالوپروتئین و سرولئوپلاسمین انجام می شود.

کمبود مس موجب کاهش SOD و فعالیت سیتوکروم اکسیداز و گاهی اوقات آب مروارید می شود. ماهی در برابر کمبود کلسیم در جیره غذایی نسبت به افزایش غلظت آن درمحیط اطراف، تحمل بیشتری دارد. ماهی به راحتی مس محلول را از محیط جذب می کند و این امر در صورت وجود مقادیر زیادی مس در محیط موجب مسمومیت می شود.

غلظت سولفات مس بیش از ۰/۸ میلی گرم بر لیتر درآب منجر به مسمومیت خونی در بسیاری از گونه‌ها می‌شود. بنابراین، بنظر می رسد در صورت استفاده از سولفات مس به منظور ضدعفونی آب (جلبک زدایی- باکتری زدایی) ، اضافه کردن مس به جیره غذایی تا ۶۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم از جیره اثرات مضری بر قزل آلا بهمراه نداشته باشد.

مقدار نیاز به این عنصر ۳ تا ۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذاست. در سخت پوستان، مس عنصر اصلی و سازنده پروتئین هایی نظیر هموسیانین یا سیانودین است که نقشی مشابه هموگلوبین در انتقال اکسیژن در خون دارند. بنابراین، ظاهراً نیاز آنها به مس بیش از ماهی هاست. در مورد تعیین میزان این احتیاجات مطالعات کمی انجام شده است.

۳-۳-۱۰) روی

عنصر روی در بسیاری از سیستم های آنزیمی فعال در مصرف مواد غذایی، به عنوان کوآنزیم عمل می کند. بنابراین، فعالیت آلدولازها، پپتیدازها و فسفاتازهایی که در هضم مداخله می کنند، وابسته به عنصر روی است. اهمیت روی، سلنیم ومنگنز جهت حفاظت در برابر اتواکسیداسیون (از طریق SOD) در آزاد ماهیان به اثبات رسیده است.

کمبود روی منجر به آب مروارید، کاهش رشد، کاهش طول و پایین آمدن فعالیت SOD و فسفاتازها می‌شود. جذب روی محلول که عمدتا از طریق آبشش ها صورت می گیرد، پایین است. تامین روی از طریق جیره غذایی، حداقل در ماهیان آب شیرین امری حیاتی است. در این ماهیان سطح نیازها بین ۱۵ تا ۳۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم می باشد.

میزان دسترسی به روی متغیر است و به عوامل مرتبط با جیره غذایی بستگی دارد. جذب روی از روده به میزان قابل توجهی به وجود کلسیم و فسفر در محیط بستگی دارد. حضور فسفر به شکل هیدروکسی آپاتیت (آرد ماهی) یا فیتات‌ها (آرد دانه های روغنی، غلات و محصولات جانبی) دسترسی به روی را کاهش می دهند. بیشترین قابلیت دسترسی در بین نمکهای غیرآلی ، مربوط به نیترات یا سولفات روی است.

٤-۳-۱۰) منگنز

منگنز به عنوان کوآنزیم برخی از آنزیم‌ها (پیروات کربوکسیلاز، لیپاز، SOD) و به عنوان عامل کمکی یا کوفاکتور در بسیاری از سیستم های آنزیمی درگیر در متابولیسم هیدراتهای کربن، چربیها و نیتروژن عمل می کند.

کمبود منگنز موجب کاهش نرخ رشد، کاهش طول، بدشکلی اسکلتی و بروز نقص دراستخوان می شود. جذب منگنز از طریق آب ناچیز است. نیاز به این عنصر با توجه به شرایط پرورش وگونه‌ها، بین ۱۲ تا ۲۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک غذایی است. برای گربه ماهی، سطح کمی از نیاز (۲/۴ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم) در نظر گرفته شده است. مواد خام با منشأ حیوانی از نظر منگنز بسیار غنی‌اند، هرچند میزان دسترسی به آنها بسیار متغیر است. از بین نمکهای غیرآلی، اشکال سولفات یا کلرید منگنز بیشترین دسترسی زیستی را دارند.

۵-۳-۱۰) سلنیم

عنصر سلنیم یکی از سازندگان اصلی آنزیم گلوتاتیون پراکسیداز است، اما نقش اصلی آن محافظت ازغشاهای لیپیدی در برابر اتواکسیداسیون است. اثر سینرژیسم بین سلنیم و ویتامین E روی رشد عضلانی در ماهی به اثبات رسیده است.

کمبود سلنیم موجب کاهش نرخ رشد و بخصوص کاهش فعالیت گلوتاتیون پراکسیداز (GSH) در کبد و پلاسما می شود، همچنین باعث کاهش واکنش های اکسیداسیون چربیها در محیطهای طبیعی می گردد. این آنزیم احیای پراکسید هیدروژن یا سایر پراکسید هیدروژن های آلی (ROOH) را تسریع می کند و تجمع پراکسید در محیطهای درون سلولی را کاهش میدهدکه اثرات بسیار خطرناکی بر غشاهای سلولی دارد (فصل۷).

نیاز غذایی به این عنصر بین ۰/۱۵ تا ۰/۴ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم جیره غذایی است. جذب سلنیم محلول از طریق آب نیز صورت می گیرد. زمانی که غلظت سلنیم در آب بسیار کم باشد، علائم کمبود آن در ماهی مشهودتر است. گاهی اوقات آردهای ماهی حاوی غلظت های بالایی از سلنیم هستند، اما این غلظت‌ها بسیار متغیرند.

به منظور جلوگیری از اتواکسیداسیون، گنجاندن سلنیم در جیره ها بخصوص جیره های غنی از چربی، به شکل سلنیت سدیم صورت می گیرد. چنانچه سلنیم به میزان ۱۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذا وارد بدن شود منجر به مسمومیت غذایی می شود.

٦-۳-۱۰) ید

عنصر ید به عنوان جزء اصلی سازنده هورمون های تیروئید شناخته شده است (تیروکسین T_4 و تری یدوتیرونین یا T_3). محیط زیست آبی منبع اصلی تامین کننده ید در ماهیان آب شیرین و ماهیان دریایی است. اگرچه نیاز به ید به صورت کمی تعیین نشده است، اما بنظر می رسد که تامین ۱ تا ۵ میلی گرم در هر کیلوگرم از جیره غذایی برای عملکرد صحیح سیستمهای هورمونی ضروری است. مکمل های یددار (۴/۵ میلی گرم در هر کیلوگرم از غذا) در محافظت ماهی آزاد اقیانوس آرام در برابر بیماریهای باکتریایی نظیر بیماری باکتریایی کلیه موثرند. بطور کلی، آردهای ماهی غنی از ید هستند. در جیره های خالص، استفاده از مکمل های حاوی یدید پتاسیم ضروری است.

۷-۳-۱۰) سایر عناصر کمیاب(ضروری)

اطلاعات بسیار کمی در زمینه سایر عناصر ضروری وجود دارد. بنظر می رسد کمبود آلومینیم موجب بروز اختلال در رشد مارماهی می شود. اثرات مفید ناشی از ورود فلوراید (۴ تا ۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم) در ماهی آزاد اقیانوس آرام، اثبات شده است. نقش تغذیه ای کروم، مولیبدن، وانادیم یا سیلیکون در ماهیان بخوبی بررسی نشده است.

٤-١٠ - خلاصه

از نظر تئوری، مواد معدنی از عجیب ترین موضوعات تغذیه ماهی بحساب می آیند بطوریکه ماهی میتواند آنها را از آب و جیره غذایی دریافت کند. سهم نسبی هر یک از منابع مذکور بخوبی شناخته نشده است. هرچند نقش فیزیولوژیک و غذایی ماکرومینرال ها و عناصر کمیاب در ماهی مشابه جانوران عالی است، اما آگاهی از مکانیسم های مرتبط، احتمال اختلاف بین گونه های آب شیرین و گونه های دریایی را روشن می کند. اطلاعات موجود نیز نشان می دهند که در مفهوم گسترده نیازهای کمی این دو گروه مشابه یکدیگرند. به هر حال داده های موجود از نظر احتیاجات کمی بسیار محدود بوده و در واقع در خصوص مواد معدنی و نقش آنها در تغذیه آبزیان اطلاعات چندانی در دست نیست.

از نظر اقتصادی، در نگاه اول چنین بنظر می رسد که هزینه منظور نمودن مواد معدنی در غذای ماهی، به استثنای فسفر بسیار محدود است. اما مواد خاصی که در حال حاضر در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار می‌گیرند از نظر محتوای مواد معدنی بسیار متنوعند. برای محاسبه اهمیت مواد معدنی بر روی فیزیولوژی و متابولیسم عمومی و همچنین واکنش آنها با سایر مواد غذایی، بسط و توسعه روش های تعیین‌کننده احتیاجات غذایی، با توجه به ترکیب محیط آبی ضروری است.

«فصل ۱۱»

کاروتنوئیدها و تجمع آنها در بافت

کاروتنوئیدها رنگدانه های محلول در چربی هستند که رنگ آنها بین زرد تا قرمز است. این ترکیبات در تمام رده های گیاهی و جانوری گسترش یافته و از دهه ۱۹۵۰ توجه دانشمندان را بخود جلب نموده اند. تاکنون نزدیک به ۶۰۰ نوع کاروتنوئید طبیعی شناسایی شده است. این مواد در مفهوم کلاسیک در دسته مواد مغذی قرار نمی گیرند اما جزء موادی هستند که حیوانات قادر به ساخت آنها نمی باشند. بطورکلی کاروتنوئیدها به عنوان مواد ضروری تلقی نمی شوند اما به رغم اینکه هنوز بخوبی مشخص نشده که نقش کدامیک از رنگدانه ها چشمگیرتر است، در بی‌مهرگان و مهره داران نقش های مختلفی را ایفا می کنند.
به علت اهمیت اقتصادی رنگدانه ها در آزادماهیان و میگوهای پنئیده (به میزان کمتر در کپورماهیان)، اکثر مطالعات انجام شده پیرامون حیوانات آبزی، در مورد این گونه‌ها صورت گرفته و رنگ صورتی گوشت آزاد ماهیان یا پوسته سخت میگو به عنوان شاخص کیفی مورد بررسی قرار می گیرد. عامل وجود رنگ در این گونه ها، رنگدانه های کاروتنوئید موجود در جیره‌های غذایی است که مهمترین آنها دو نوع از کتوکاروتنوئید ها تحت عنوان کانتاگزانتین و آستاگزانتین است. ماهی ها بر خلاف سخت پوستان قادر به ساخت این رنگدانه‌ها از کاروتنوئیدهای ساده تر نیستند. در طبیعت کاروتنوئیدها توسط طعمه های طبیعی تامین می‌شوند اما در آبزی پروری متراکم تامین این مواد از طریق غذا صورت می گیرد.

هدف عمده از مطالعات انجام شده روی کاروتنوئید های سخت‌پوستان، نشان دادن واکنش های بیوشیمیایی تغییر و تبدیلات داخلی این رنگدانه هاست. به این ترتیب، می توان به روابط بین کاروتنوئیدها و رنگها به ویژه در آزادماهیان دست یافت و خواننده را به سمت مطالعات مستند در مراجع مختلف در رابطه با سایر جنبه های متابولیسم کاروتنوئیدها هدایت کرد.

۱-۱۱- قابلیت رنگ آمیزی[1] بافت ها توسط رنگدانه های کاروتنوئیدی

مهمترین جنبه کاروتنوئیدها از نظر پرورش‌دهندگان ماهی و سازندگان خوراک، کارایی رنگ‌آمیزی بافتی ناشی از این ترکیبات است. این ویژگی بواسطه ساختار، رنگ ویژه، قابلیت هضم، تغییر و تبدیلات متابولیک و میل ترکیبی ویژه آنها نسبت به یک بافت بخصوص، تعیین می شود.

۱-۱-۱۱) ساختار

کاروتنوئیدها ترکیبات پلی انیکی[2] هستند که توسط مجموعه ای از پیوندهای دوگانه جفت شده، مشخص می شوند (شکل۱-۱۱). مولکول های آنها از ۸ زنجیره ایزوپرنیک ساخته شده که به صورت قرینه در اطراف یک پیوند دوگانه مرکزی مرتب شده و یک تتراترپن را تشکیل می دهند(واحد ترپن شامل ۱۰ مولکول کربن است بنابراین تتراترپن شامل ۴۰ مولکول کربن خواهد بود). تعداد پیوندهای دوگانه از ۷ تا ۱۵ متغیر است که تعداد آنها در کاروتنوئیدهای ماهی معمولا ۱۱ می باشد. به علت وجود این ساختار شیمیایی ویژه، احتمال وجود تعداد زیادی از ایزومرهای هندسی استروئیدی وجود دارد که بیشترین تعداد مربوط به ایزومرهای E کامل (با نام قدیمی ترانس کامل) است. با این حال، تجزیه وتحلیل ها نشان داده است که اشکال Z-E (با نام قدیمی سیس- ترانس) به تعداد قابل توجهی وجود دارند. عامل ناپایداری این رنگدانه ها نیز وجود تعداد زیادی پیوندهای دوگانه است. کاروتنوئیدها براحتی تخریب شده و در دماهای بالا یا افزایش شدت نور بی‌رنگ می شوند. متداولترین انواع کاروتنوئیدها در بین آزادماهیان به شرح ذیل می باشند(شکل۱-۱۱):

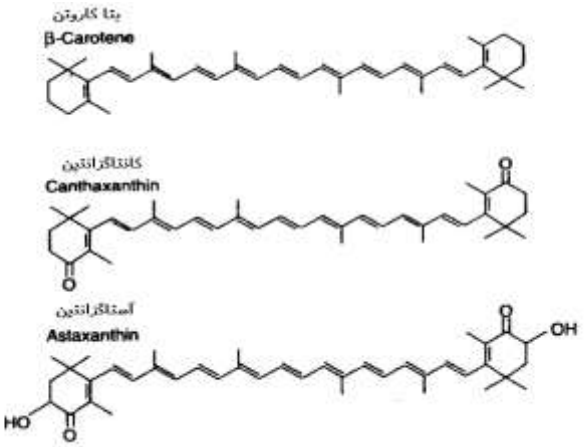
---

[1] pigmentation
[2] polyenic

ـ بتا کاروتن(β,β-carotene). این کاروتنوئید از متداولترین مواد طبیعی است و شامل دو واحد یون تک قطبی در دو انتهای ساختار آن است.

- کانتاگزانتین (β,β-carotene-4,4′-dione). در ساختار این رنگدانه ۲ گروه کتون در موقعیت های ۴ و ۴ قرار دارند.

ـ آستاگزانتین (3,3′-dihydroxy-β,β-carotene-4,4′-dione). این رنگدانه قرمز در ساختار خود ۲ گروه هیدروکسیل در موقعیت های ۳و۳ و دو گروه کتون در موقعیت های ۴و۴ دارد. این ترکیب مهمترین رنگدانه در آزادماهیان و بسیاری از سخت پوستان است و به هر دو شکل آزاد و استری شده (مونو یا دی استر) وجود دارد.



شکل ۱-۱۱) ساختار شیمیایی برخی کاروتنوئیدهای آبزیان

بطورکلی سایر رنگدانه ها بندرت مورد شناسایی قرار گرفته اند. تعدادی از آنها به عنوان گروههای حدواسط مهم در متابولیسم رنگدانه عمل می کنند. می توان چنین فرض نمود که در موارد خاص غلظت پایین رنگدانه ها یا حتی فقدان ظاهری آنها ناشی از سرعت بالای تغییرات در آنهاست. اشکال آزاد آستاگزانتین وکانتاگزانتین که به صورت صنعتی ساخته می شوند، در حال حاضر در آبزی پروری متراکم مورد استفاده قرار می گیرند.

۲-۱-۱۱) رنگهای ویژه

رنگ کاروتنوئید بواسطه کروموفوری که از حداقل ۷ پیوند دوگانه تشکیل شده ایجاد می شود. این رنگدانه ها معمولا به رنگ زرد تا قرمزند. اگرچه بتا-کاروتن نارنجی است اما کانتاگزانتین کروموفور طویلتری داشته بنابراین طول موج بالاتری از نور را جذب کرده و رنگ صورتی را ایجاد می کند. کروموفورهای آستاگزانتین نیز مشابه کانتاگزانتین است. منابع طبیعی کاروتنوئیدها همیشه شامل مخلوطی از رنگدانه‌های مختلف با تراکم متفاوت است. بنابراین رنگ آنها به نسبت حضور کاروتنوئیدهای مختلف بستگی دارد.

۳-۱-۱۱) قابلیت هضم یا قابلیت دسترسی

رنگدانه های کاروتنوئیدی پس از خورده شدن می توانند جذب یا تبدیل شده یا به صورت دست نخورده از طریق مدفوع از بدن خارج شوند. مواد حاصل از تبدیل آنها نیز دفع یا مجددا به وسیله موکوس روده جذب می شوند. ذکر این نکته ضروری است که کانتاگزانتین در قزل‌آلا تغییرشکل نمی دهد.

از آنجاییکه کاروتنوئیدها از ترکیبات محلول در چربی هستند، جذب آنها در ارتباط با جذب چربی ها بوده و قابلیت هضم آنها تحت تاثیر محتوای چربی جیره غذایی قرار دارد. از اینرو آستاگزانتین موجود در روغن ماهی از قابلیت هضم بالاتری(۸۵ تا ۹۰ درصد) نسبت به آستاگزانتین موجود در آرد میگو (۷۵ تا ۸۰ درصد) برخوردار است. قابلیت هضم عمدتا به شکل و ماهیت کاروتنوئیدها بستگی دارد. بنابراین قابلیت هضم آستاگزانتین از ۱۰ تا ۶۰ درصد متغیر بوده و بعضی مواقع قابلیت هضم آن با توجه به منشا، به ۲۰ تا ۳۰ درصد می رسد. قابلیت هضم آستاگزانتین در فرم استری شده بیش از شکل آزاد آن است اما بنظر می رسد که آزادماهیان آستاگزانتین دی پالمات را به میزان اندک مورد استفاده قرار میدهند. قابلیت هضم بهتر فرم استری شده مورد بحث و اختلاف است. آستاگزانتین به سه شکل دی استر، مونو استر و آزاد موجود است که دو فرم مونو استر و دی استر در دستگاه گوارش هیدرولیز شده و تجزیه مدفوع نسبت بالای فرم آزاد آن را نشان می دهد. به همین دلیل تصور می شود که استرها زمانیکه صرفا به شکل مصنوعی ساخته می شوند بهتر جذب می گردند. اما اندازه گیری دقیق قابلیت هضم کاروتنوئیدها نظیر هر نوع ماده غذایی، به علت فرآیند تجزیه در دستگاه گوارش امکانپذیر نیست.

روش دیگر مطالعه قابلیت دسترسی کاروتنوئیدها اندازه گیری میزان رنگدانه های موجود در خون ماهی است.کانتاگزانتین سه ساعت پس از مصرف جیره آزمایشی در سرم خون یافت می شود و ۲۴ ساعت پس از خوردن غذا،غلظت آن به حداکثر می رسد. این مدت زمان در مورد آستاگزانتین کاهش مییابد(شکل۲a-۱۱). در صورت میزان مصرف یکسان، غلظت آستاگزانتین سرم خون بیشتر از کانتاگزانتین (حدود ۲ تا ۳ برابر) خواهد بود. غلظت کاروتنوئید در خون در کمتر از سه روز پس از انتقال کامل مکمل های کاروتنوئیدی کاهش می یابد و میزان کاهش آستاگزانتین و کانتاگزانتین یکسان خواهد بود(۲b-۱۱). با این وجود علت اختلاف در ظرفیت جذب کاروتنوئیدها در آزادماهیان هنوز بخوبی بررسی نشده است.

٤-۱-۱۱) تبدیل متابولیک

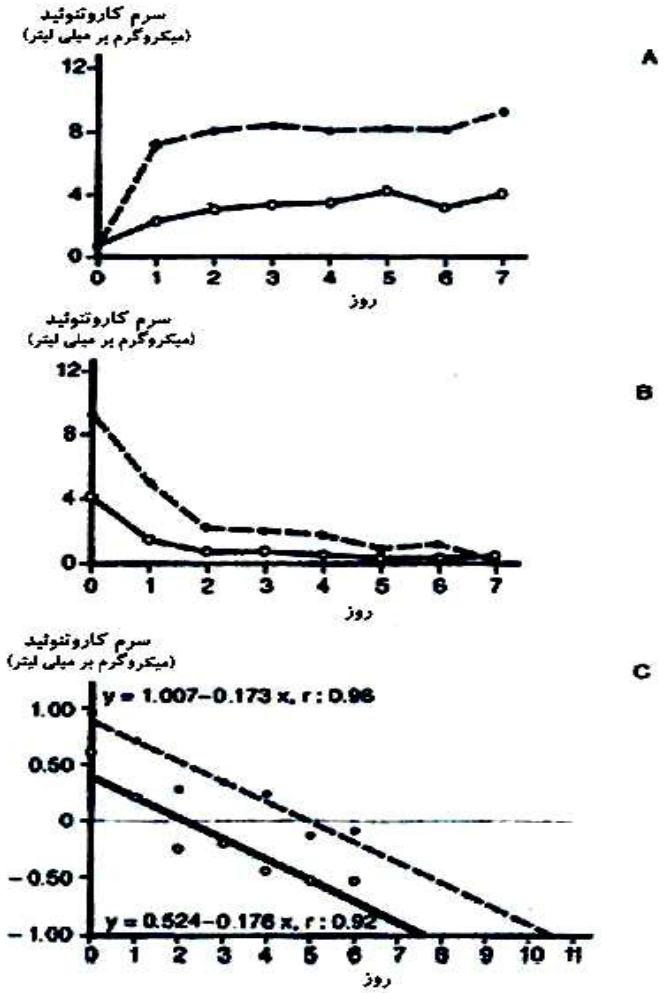
بر اساس قابلیت حیوانات آبزی به منظور متابولیسم رنگدانه های مختلف کاروتنوئیدی به آستاگزانتین که رنگدانه غالب آنهاست، تقسیم‌بندی ذیل پیشنهاد شده است:

- حیواناتی که لوتئین یا زی اگزانتین (به غیر از بتا- کاروتن) را به آستاگزانتین تبدیل می کنند(کپورماهیان)
- حیواناتی که آستاگزانتین را از بتا-کاروتن می سازند (تقریبا همه سخت پوستان)
- حیواناتی که قادر به انجام هیچ تبدیلی نیستند (آزادماهیان)

مهمترین مسیر متابولیکی، تجزیه اکسایشی زنجیره پیوندهای دوگانه از قبیل تجزیه بیولوژیکی بتا- کاروتن به ویتامین A است.

۵-۱-۱۱) میل ترکیبی ویژه در بافت‌ها

میل ترکیبی ویژه در رابطه با قابلیت هرکاروتنوئید نسبت به تجمع در یک بافت بخصوص (پوست، عضله، اسکلت خارجی، غدد گوارشی) است. تعدادی از کاروتنوئیدها از قبیل مایکوزانتوفیل ها یا زانتوفیل های گلیکوزیل در عضله قزل آلا تجمع نمی یابند. سایر کاروتنوئیدها همچون سیتراناگزانتین به میزان بسیار محدود به عنوان رنگدانه توسط آزادماهیان مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۲-۱۱) **A : الگوی تغییر محتوای سرم رنگدانه کاروتنوئید در قزل آلا: کانتاگزانتین(- -) یا آستاگزانتین(---)** **B : پس ار توقف مصرف رنگدانه C : خطوط رگرسیون لگاریتمی** (**Choubert *et al.*, 1994**)

به هرحال، این ویژگی نتیجه فرآیندهای مختلفی است که در نهایت موجب تثبیت رنگدانه می شوند. میل ترکیبی ویژه کاروتنوئیدها به عواملی از قبیل قابلیت دسترسی کاروتنوئیدها از طریق ذرات غذایی و قابلیت هضم آنها (که قبلا به آن اشاره شد)، غلظت آن در جیره، مدت زمان ذخیره آن و توانایی موجود زنده در تبدیل یا تجمع رنگدانه ها در بافت بستگی دارد.

۲-۱۱ - شاخص های ارزیابی قابلیت رنگ آمیزی بافتی

قابلیت رنگ‌آمیزی بافتی کاروتنوئیدها به عنوان افزایش نسبت تجمع تعریف شده است که به منظور ارزیابی آن، از شاخص های مختلفی شامل آنالیز شیمیایی غلظت کاروتنوئید در خون یا عضله، تعیین رنگ عضله و تجزیه و تحلیل حسی استفاده می شود.

۱-۲-۱۱) آنالیز شیمیایی

کاروتنوئیدها در حضور گرما، نور، اکسیژن، پراکسیدها، اسیدها و در موارد خاصی در مقابل آلکالین ها ناپایدارند و طی آنالیز شیمیایی توجه به این عوامل ضروری است. آنالیز کاروتنوئیدها فرآیند وقت گیری است که پس از استخراج و جداسازی آنها توسط کروماتوگرافی (کروماتوگرافی لایه نازک یا کروماتوگرافی با بازدهی بالا(HPLC)) صورت می گیرد و تراکم هر رنگدانه از طریق حداکثر طول موجی که جذب می شود) برآورد می شود.

۲-۲-۱۱) ارزیابی کالریمتریک

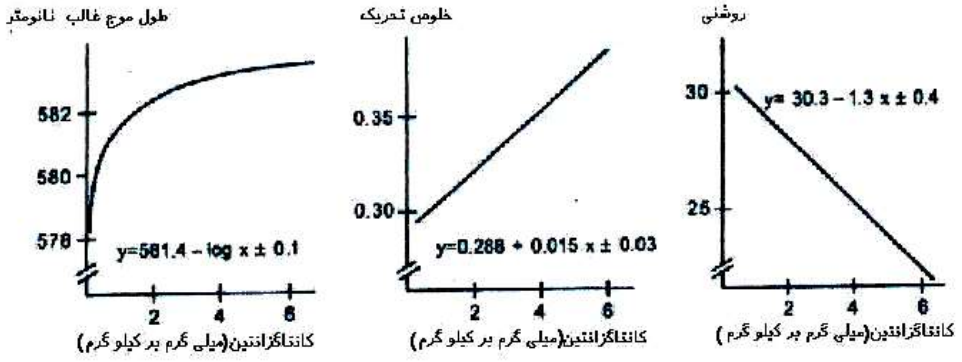
تعیین رنگ شامل تعیین سه خصوصیت است:

- سایه رنگ (طول موج غالب)، که انتخاب در محدوده رنگ را امکانپذیر می سازد.
- کروما (یا درجه خلوص تحریک)، که بیان کننده نسبت ترکیب رنگ معین با رنگ سفید است. چشم انسان رنگ کروما را با سایه رنگ ترکیب کرده و تصویر منحصر بفردی از رنگ را ایجاد می کند.
- روشنایی که شدت درخشش رنگ ها(روشن یا تاریک)را مشخص می کند.

این اندازه گیری های فیزیکی انتقال سریع رنگ (طول موج غالب) را از زرد تا نارنجی با توجه به افزایش میزان کانتاگزانتین در عضله نشان می دهد(شکل۳-۱۱). بنابراین رنگ قزل آلا به رغم مصرف دائمی به حد ماکزیممی تمایل دارد که به رغم مصرف دائمی رنگدانه ها، از حد مشخصی فراتر نخواهد رفت. زمانیکه که غلظت کانتاگزانتین در عضله بالا رود، فراوانی رنگدانه افزایش یافته و روشنی کاهش و رنگ تیره تر می شود. خصوصیات رنگ عضله قزل آلا تحت‌تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد: سایه رنگ حاصل از وضعیت شیمیایی کاروتنوئیدها، کروما حاصل از غلظت کاروتنوئیدها و روشنایی ناشی از وضعیت فیزیکی عضله (آسیب دیده یا سالم). توجه به این نکته ضروری است که تحت شرایط خاص(مثل غلظتهای بالا) افزودن کاروتنوئیدها به جیره لزوما منجر به بهبود رنگ نمی گردد.

۳-۲-۱۱) آنالیزحسی

هر چند آنالیز شیمیایی غلظت کاروتنوئید و اندازه گیری فیزیکی رنگ عضله روشهای کاربردی و قابل تعمیمی هستند اما استفاده از آنها وقت گیر، پرهزینه و پیچیده است. علاوه براین، تنها یک جنبه از تجمع رنگدانه ها در بافت ها (غلظت یا رنگ هریک ازکاروتنوئیدهای مورد مطالعه) را در نظر می گیرد و امکان جداسازی و تشخیص نقش هر یک از آنها را هنگام حضور کاروتنوئیدهای مختلف ممکن نمی سازد.



شکل ۳-۱۱) ارتباط بین تراکم کانتاگزانتین(میلی گرم بر کیلوگرم) و خصوصیات رنگ در عضله قزل آلا
(Choubert , 1982)

از روشهای ذهنی با کاربرد علمی ساده‌تر نیز به منظور ارزیابی قابلیت تجمع رنگدانه های کاروتنوئید در بافت ها استفاده می شود. این روشها بر پایه مقایسه چشمی استوار بوده و مقایسه هر یک با دیگری (تست درجه بندی) یا نسبت به یک رنگ استاندارد صورت می گیرد. رنگ استاندارد می تواند شامل موارد ذیل باشد:

ـ اطلس رنگی (برای مثال سیستم رنگ طبیعی[1])

ـ محدوده رنگی که از سیستم رنگ طبیعی مشتق شده ولی اغلب بر بخشی از رنگ ها تمرکز می‌یابد (برای مثال، محدوده تعیین شده در مورد آزاد ماهیانی که آستاگزانتین مصرف کرده‌اند).

ـ مقیاس رنگی اختیاری که از ۱ (بدون رنگ) تا X متغیر است، با توجه به اینکه X با توجه به درجه‌بندی می تواند ۸، ۱۰ یا حتی ۱۸ باشد.

این روش ها قابل تعمیم نبوده و نقطه ضعف های خاصی دارند، بدون شک برجسته ترین نقطه ضعف آنها در ارتباط با مبانی اصلی این روش ها در چگونگی مقایسه رنگدانه های طبیعی با جوهرهای چاپی است. چون درجه بندی اختیاری از یک تولید کننده به تولیدکننده دیگر متغیر است و امکان مقایسه نمونه های تهیه شده در مکان های مختلف وجود ندارد. تست درجه بندی امکان مقایسه نمونه های جمع آوری شده در زمان های مختلف را نیز فراهم نمی کند.

۳-۱۱ - عوامل مؤثر بر رنگ‌آمیزی بافتی

سهم نسبی کاروتنوئیدهای موجود در اندام ها یا بافت ها و اشکال مختلف آنها متغیر بوده و به عوامل مختلف وابسته است. تثبیت کاروتنوئیدها تحت تاثیر سه عامل عمده : جیره غذایی، حیوان و عوامل زیست‌محیطی قرار دارد.

۱-۳-۱۱) عوامل تغذیه ای

۱-۱-۳-۱۱) منابع کاروتنوئید

منابع زیادی از رنگدانه ها وجود دارند که شامل مواد خام (بویژه مخمرها، الگها و کریل ها)، محصولات جنبی صنایع غذایی(ضایعات خرچنگ یا میگو) و ترکیبات مخصوص(آرد میگو) می باشند.

[1]Natural Color System(NCS)

مزیت مواد خام و ضایعات صنایع غذایی در این است که به میزان زیاد در دسترس بوده و نسبتا ارزانند. همچنین منبع قابل توجهی از پروتئین را تشکیل می دهند. مصرف این دسته از منابع کاروتنوئیدی، رنگ آمیزی بافتی را افزایش می دهند. با این وجود استفاده از این مواد مشکلاتی بهمراه دارد که از آن جمله ناپایداری بسیار زیاد محتویات رنگدانه ها و گاهی اوقات وجود مقادیر زیادی از مواد کم ارزش غذایی همچون کربنات کلسیم (بیش از ۳۰ درصد محصولات فرعی حاصل از سخت‌پوستان) یا سلول هایی با دیواره غیر قابل هضم(فیبر حاصل از جلبکها و مخمرها)، می باشد. فرآیندهای تکنولوژیک حذف کننده این ترکیبات اغلب اثرات مضری بر پایداری کاروتنوئیدها دارند. از اینرو تلاش می شود تا رنگدانه ها را قبل از ورود آنها به غذا از مواد خام استخراج کرده و به همان صورت یا پس از حل کردن در روغن گیاهی یا حیوانی فاقد کاروتنوئید، در غذای ماهی گنجانده می شوند. عصاره های گرفته شده از خرچنگ دراز آب شیرین، خرچنگ و سایر سخت پوستان، همچنین گیاهانی از فبیل پاپریکا(نوعی فلفل قرمز)، گلهای شاه بلوط و گل جعفری فرانسوی(*Tagetes* sp.) به این صورت مورد استفاده قرار می گیرند. تجمع رنگدانه ها در بافت های مصرف کننده این ترکیبات بسیار غیریکنواخت است.

اگر چه غنی سازی جیره غذایی با استفاده از رنگدانه های مصنوعی هزینه غذا را تا حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش می دهد اما سنتز شیمیایی کانتاگزانتین وآستاگزانتین بدون استفاده از مواد خام غنی از کاروتنوئیدها صورت می گیرد. علاوه بر این، میزان استفاده از این ترکیبات تابع قوانین مطلق و مشخص هر کشوری است. در اتحادیه اروپا کانتاگزانتین و آستاگزانتین در ضمیمه I فهرست شده اند (بر اساس دستور های 87/552/EEC, 88/228/EEC). میزان دوز پیشنهادی جهت مصرف کانتاگزانتین ۸۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم غذا و برای آستاگزانتین ۱۰۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم غذاست.

۲-۱-۳-۱۱) ساختار کاروتنوئید

ترکیب ایزومرهای آستاگزانتین در عضله نشان دهنده ترکیب جیره مصرفی است. آستاگزانتین موجود در عضله آزاد ماهیان وحشی و پرورشی ساختار مشابهی ندارد. در هر حالت، مصرف ایزومرهای نوری آستاگزانتین (3S,3'S)-,(3R,3'S)-,(3R,3'R) یا ترکیبی مشابه آنچه که در گوشت آزادماهیان وحشی یافت می شود(۱:۲:۱) منجر به اپیمریزاسیون این رنگدانه نمی شود.

۳-۱-۳-۱۱) پایداری کاروتنوئیدها

پایداری کاروتنوئید موجود در غذای ماهی ناچیز و کمتر از حد لازم است بنابراین، در نظر گرفتن احتیاط لازم بخصوص در برابر اکسیداسیون که اصولا موجب تخریب آنها می شود ضروری است. به همین منظور،حفاظت از رنگدانه های مصنوعی یا از طریق پوشش دار کردن آنها توسط ژلاتین یا از طریق انتشار ذرات آنها در یک ماده هیدرات کربنی صورت می گیرد. همچنین اگر غذا بلافاصله پس از ساخت تحت شرایط جوی خنثی نگهداری شود، خطر اکسیداسیون به میزان زیادی کاهش می یابد. افزودن آنتی اکسیدان ها (فصل ۱۸) نیز پایداری کاروتنوئیدها را در خصوص اکسیداسیون افزایش می دهد.

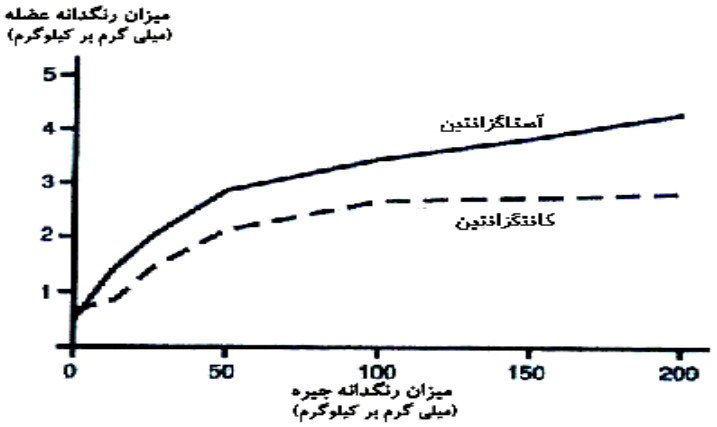
بخش قابل توجهی از رنگدانه های کاروتنوئیدی (حدود ۲۰ درصد در مورد کانتاگزانتین) بر اثر پلت کردن غذا (فصل ۲۱) از بین می روند. در این رابطه عواملی نظیر افزایش دما و ساییدگی لایه پوششی هنگام عبور غذا از منافذ خروجی دستگاه پلت زن نسبت به فشار وارد شده به غذا، تاثیر بیشتری دارند. آسیب وارد شده به پلت ها تخریب کاروتنوئید ها را در نتیجه افزایش سطح تماس در برابر هوا تسریع کرده همچنین موجب افزایش میزان تخریب طی نگهداری غذا می شود. حمل و نقل نامطلوب و جذب رطوبت نیز موجب صدمه زدن به پلت ها و در نتیجه کاهش کیفیت محتوای کاروتنوئیدی آنها می شود.

٤-۱-۳-۱۱) کمیت رنگدانه

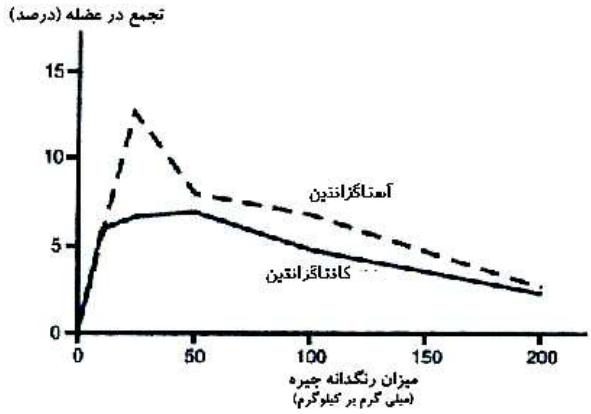
تاثیر مقدار رنگدانه کاروتنوئیدی خورده شده توسط ماهی در تجمع رنگدانه ها در داخل بافت ها کاملا مشخص شده است. هنگام زیاد بودن کاروتنوئید مصرفی، تثبیت کاروتنوئیدها در ماهیچه افزایش می‌یابد(شکل ۴-۱۱). با این وجود، مصرف بیش از حد اثری دربرنخواهد داشت. سطح مشخص مصرف کانتاگزانتین نزدیک به ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم غذاست که می تواند با اشباع شدن پتانسیل جذب مطابقت داشته باشد. علاوه بر این، میزان تثبیت کانتاگزانتین کمتر از آستاگزانتین است که این اختلاف ناشی از جذب بهتر آستاگزانتین می باشد. در قزل آلا ، تنها هنگامیکه ماهی ۴ تا ۵ میلی گرم کانتاگزانتین را در هر کیلوگرم از ماهیچه تثبیت کند، شیب منحنی تغییر می کند. این شیب نشان دهنده کانتاگزانتین تثبیت شده در همه عضله ماهی می باشد. ولی به علت تخریب کاروتنوئیدها طی مراحل ذخیره سازی و آماده سازی نهایی، بهتر است که غلظت ۵ تا ۶ میلی گرم از کاروتنوئید به ازاء هر کیلوگرم در نظر گرفته شود.

برای اینکه عضله ای حاوی ۸۰ میلی گرم کاروتنوئید به ازاء هر کیلو گرم از غـذایی کـه توزیـع مـی شـود داشته باشیم، مدت زمان توزیع رنگدانه در حدود ۲ تا ۳ هفته طول خواهد کشید. با این حال، امروزه نیازهـا و تمایل به مصرف کاروتنوئیدها افزایش یافتـه و بعیـد نیسـت کـه جیـره هـایی حـاوی ۸ تـا ۱۲ میلـی گـرم کاروتنوئید به ازاء هر کیلوگرم عضله تنظیم شوند. تامین نیازهای کاروتنوئیدی از این طریق مستلزم عرضـه بیشتر جیره ها خواهد بود.

ضریب تجمع یا ذخیره کاروتنوئید بصورت نسبت کاروتنوئید مصرفی ذخیره شـده در عضـله یـا کـل بـدن حیوان، مشخص می شود. این ضریب با افزایش میزان غذای خورده شده کاهش می یابد (شکل۵-۱۱). در این شکل نسبت به مصرف دوزهای پایین در ارتباط با جیره حاوی ۵۰ میلی گـرم کانتـاگزانتین بـه ازاء هـر کیلـوگرم غـذا، حـداکثر ۶/۹ درصـد افـزایش در ذخیـره کانتـاگزانتین و جیـره حـاوی ۲۵ میلـی گـرم از آستاگزانتین به ازاء هر کیلـوگرم از غـذا، حـداکثر ۱۲/۵ درصـد افـزایش در ذخیـره آسـتاگزانتین مشـاهده می‌شود. متوسط ضریب تجمع آستاگزانتین ۱/۳ برابر کانتاگزانتین است که بخشی از آن به علـت اخـتلاف در قابلیت هضم آنهاست.



شکل ٤-۱۱) رابطه بین سطوح رنگدانه جیره و کاروتنوئید عضله (Choubert and Storebakken, 1989)

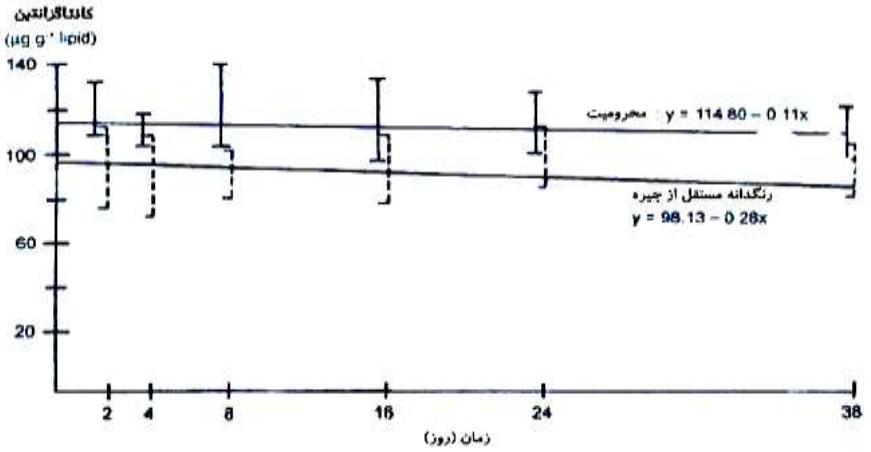


شکل ۵-۱۱) تجمع رنگدانه های کاروتنوئیدی در عضله قزل آلا نسبت به مقدار کتوکاروتنوئیدهای جیره (Choubert and Storebakken, 1989)

در صورتیکه تامین کانتاگزانتین در جیره ماهی قزل آلا متوقف شود، تجمع رنگدانه ها در بافت ماهی تحت تاثیر قرار می گیرد(شکل۶-۱۱). البته این پدیده در ماهیان سیر، مشخص تر از ماهیان گرسنه خواهد بود. این مسئله بیانگر این مطلب است که توزیع مجدد کانتاگزانتین از بافتی به بافت دیگر به دلیل نیمه عمر طولانی بافت عضلانی نسبت به سایر اندام ها می باشد.

۵-۱-۳-۱۱) چربی جیره

به علت محلول بودن کاروتنوئیدها در چربی، اضافه نمودن چربی به غذا قابلیت هضم رنگدانه ها را بالا برده و موجب افزایش تجمع رنگدانه ها در بافت می شود. در آزادماهیان، چربی موجود در عضله یا بافت پوستی تا حدودی ماهیت و میزان چربی جیره را نشان می دهد. احتمالا تاثیر مستقیم چربی ها در حلالیت و پایداری کاروتنوئیدها تنها یک جنبه از موضوع است. اثرات غیر مستقیم چربی ها شامل رقابت بین کاروتنوئید و ویتامین A به منظور اتصال به مولکول هایی است که کاروتنوئیدها را درخون و احتمالا از بین غشاها عبور می دهند.



شکل ٦-١١) اثر گرسنگی یا جیره های فاقد رنگدانه بر میزان کانتاگزانتین عضله قزل آلا پیش از تجمع رنگدانه کانتاگزانتین در آن(Choubert,1985)

تاثیر چربی ها در تجمع رنگدانه ها در بافت های قزل آلا هنوز بخوبی روشن نشده است اما بنظر می رسد که حل کردن کانتاگزانتین در اولئیک اسید نسبت به سایر اسیدهای چرب، تجمع آن را در عضله قزل آلا افزایش می دهد.در مقابل، غلظت آستاگزانتین عضله تحت تاثیر منبع چربی های جیره غذایی (روغن ذرت یا روغن ماهی) قرار ندارد.

۲-۳-۱۱) تغییرات مرتبط با حیوان

جذب و تثبیت رنگدانه های کاروتنوئیدی به میزان قابل توجهی به جنس،گونه و حتی نژاد ماهی، وابسته است. ازینرو، در بین جمعیتی از قزل آلا، ضریب تنوع تجمع رنگدانه ها در عضله معمولا در ماهیانی که از نظر جنسی بالغ نیستند، نزدیک به ۳۰ درصد است. این تنوع طی بلوغ جنسی بشدت افزایش می یابد.

۱-۲-۳-۱۱) وزن بدن و سن

قزل آلاهای با وزن کمتر از ۱۵۰ گرم بدون در نظر گرفتن ذخیره جیره، مقدار اندکی کانتاگزانتین را در عضله های خود تثبیت می کنند. ظرفیت آزاد ماهیان نسبت به تثبیت کاروتنوئید بیشتر در ارتباط با سن و وضعیت فیزیولوژیک آنهاست و کمتر تحت تاثیر وزن بدن و مقدار کاروتنوئید جیره قرار می گیرد.

۲-۲-۳-۱۱) بافت ها

با توجه به بافت مورد بررسی (پوست یا عضله)، رنگدانه ها به شکل های مختلف تثبیت می شوند. در پوست آزادماهیان، آستاگزانتین در فرم استری شده یافت می شود در حالیکه در عضله به شکل آزاد ولی متصل به پروتئین ها وجود دارد. طبق یک فرضیه ابتدایی، اشکال آزاد آستاگزانتین از اشکال استری شده موجود در عناصر، تولید و بدون هیچ تغییری در پوست ذخیره می شوند. در واقع بر خلاف گونه های خاصی از جمله ماهی قرمز، آزادماهیان کاروتنوئیدهای خورده شده را به همان شکل اولیه خود تثبیت می‌کنند. گرچه در سوف (*Cymatogaster aggregata*) آستاگزانتین پس از هیدرولیز اشکال استری آن، مجددا در دیواره روده استری شده و سپس به پوست انتقال می یابد.

غلظت کاروتنوئیدها در پوست آزادماهیان بیش از عضلات آنها است (در حدود ۱۰ برابر) که این تفاوت به نقش کاروتنوئیدها در پدیده های نوری مربوط می شود. اگر چه عملکرد دقیق کاروتنوئیدها در ماهی هنوز بخوبی شناخته نشده اما از بسیاری مشاهدات می توان چنین استنباط نمود که این رنگدانه ها نقش مهمی در محافظت سلول ها در برابر اثرات مخرب نور مرئی بر عهده داشته و موجب تعدیل یا کاهش شدت نور موجود می شوند و حداکثر دارای ۹ پیوند دوگانه در مولکول خود هستند. این حالت در تمام کاروتنوئیدهای موجود در پوست قزل آلا وجود دارد. کاروتنوئیدها در گیاهان، آلگها یا باکتری ها و گونه های بیشماری از حیوانات از جمله انسان به عنوان موانع بالقوه ای در برابر تخریب سلولی ناشی از قرار گرفتن در معرض نور با شدت بالا، شناخته شده اند (فعالیت حفاظتی در برابر نور).

در سخت پوستان کاروتنوئیدها عمدتاً در اشکال پیچیده ای وجود دارند که از بین آنها کاروتنوپروتئینها بخوبی شناسایی شده اند. این ترکیبات پیچیده محلول در آب با توجه به ماهیت گروه پروستاتیک خود تنوع رنگی گسترده ای را ایجاد می کنند.

۳-۲-۳-۱۱) بلوغ جنسی

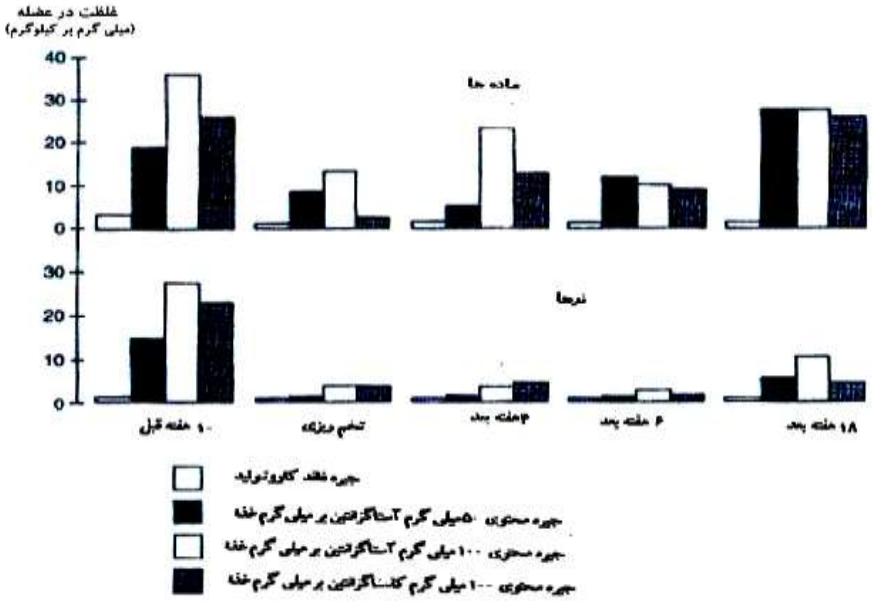
همزمان با بلوغ جنسی در آزادماهیان، کاروتنوئیدهای موجود در عضله به حرکت درآمده و به صورت انتخابی در نرها به پوست و در ماده ها به تخمدان ها انتقال می یابند. البته این پدیده در ماهیان وحشی مشاهده شده که در زمان مهاجرت در رودخانه، فعالانه تغذیه خود را کاهش داده یا متوقف می سازند. این فرآیند در قزل آلای پرورشی تا ۲ تا ۳ هفته قبل از تخم ریزی اندکی متفاوت است. تجمع رنگدانه ها در عضله قزل آلا همزمان با بلوغ جنسی به وسیله کاروتنوئیدهای جیره افزایش می یابد. اگرچه مقادیر مطلق کانتاگزانتین به مقدار مساوی بین عضله و تخمدان ها گسترش می یابد اما تراکم رنگدانه ها در تخمدان ها بالاتر از عضله است. همزمان با بلوغ جنسی، تراکم کاروتنوئیدها در عضله به میزان قابل توجهی در هر دو جنس کاهش می یابد. ۴ ماه پس از تخم ریزی، غلظت کاروتنوئید در عضله ماده ها باز به میزان پیش از تخم ریزی می رسد (شکل ۷-۱۱)، در حالیکه نرها ۱۸ هفته پس از خروج اسپرم، فقط یک سوم از تراکم اولیه رنگدانه ها در عضله را مجدداً بدست می آورند. در مورد این اختلاف، توجه به این نکته ضروری است که دوره اسپرم دهی نسبت به تخم ریزی بیشتر است. بنابراین چنانچه تغذیه ماهی با جیره غنی‌شده با کاروتنوئیدها بلافاصله پس از تولید مثل تا هنگام مرحله استراحت جنسی مجدد انجام شود، اثر چندانی مشاهده نمی شود.

٤-۲-۳-۱۱) عوامل ژنتیکی

آزادماهیان دریافت کننده کاروتنوئیدهای جیره، تنوع بیشتری در رنگ آمیزی گوشت از خود نشان می‌دهند. در حال حاضر در مورد این اختلافات هیچ توجیه متابولیک وجود ندارد و تنوع رنگ آنها می‌تواند ناشی از تنوع ژنتیکی بین خانواده ها و به احتمال بیشتر تنوع ژنتیکی بین افراد باشد.

۵-۲-۳-۱۱) پدیده پوست اندازی در سخت پوستان

در سخت پوستان، پوست اندازی منجر به از بین رفتن مقدار قابل توجهی از رنگدانه های کاروتنوئیدی می شود. رنگدانه های موجود در پوشش جدید منشأ اپیدرمی نداشته و توسط همولنف و از هپاتوپانکراس تامین می شوند. انتقال مشخص و غیر قابل برگشت رنگدانه های کاراپاس در حد فاصل مراحل D_1 و D_2 انجام می شود.



شکل ۷-۱۱) اثر طول دوره تولید مثلی بر مقدار کاروتنوئید در عضله قزل آلای نر و ماده
(Choubert and blance, 1993)

۳-۳-۱۱) عوامل زیست محیطی

زندگی ماهی و سخت پوستان تحت تاثیر عوامل مختلف زیست محیطی بوده و از اینرو جداکردن اثر عوامل مختلف از یکدیگر کار دشواری است. اگرچه دمای آب به شکلی قابل توجه رشد و متابولیسم ماهی را تحت تاثیر قرار می دهد اما ظاهراً اثری بر تجمع رنگدانه ها در بافت های قزل آلای پرورش یافته در ۷ یا ۱۷ درجه سانتیگراد ندارد. علاوه بر این ، بنظر می رسد که شوری اثری بر تجمع رنگدانه ها در بافت های گونه های مشابه ندارد. اثر نور قبلا توضیح داده شد.

٤-۱۱ - سایر نقش های کاروتنوئیدها در حیوانات

تولید رنگ یکی از نقش های کاروتنوئیدهاست. نقش دیگر این مولکول ها به عنوان پیش سازی برای ویتامین A است که در حدود ده درصد از کاروتنوئیدهای طبیعی به عنوان پیش ساز ویتامین A عمل می‌کنند، این حالت بخصوص در پستانداران چشمگیرتر از بی مهرگان و مهره داران پست می باشد. هرچند اکووالانس ویتامین A در کاروتنوئیدهای شناخته شده در بین گونه های جانوری بسیار متغیر است اما ظاهراً این اختلاف در ماهی ها زیاد نیست (فصل ۹).

برخی از کاروتنوئیدها از طریق فعالیت حفاظتی در برابر رادیکال های آزاد، در تنظیم پاسخ های ایمنی دخالت دارند که این نقش هنوز در ماهی ها به اثبات نرسیده است.

کاروتنوئیدها در پدیده های فیزیکی از قبیل رشد و تولید مثل نیز شرکت می کنند. چگونگی عملکرد این گروه شیمیایی رنگدانه ها در رشد شناخته نشده اما احتمالاً در ارتباط با خصوصیت آنها به عنوان پیش ساز بودن ویتامین A باشد. شرکت کاروتنوئیدها در تولید مثل ماهی (نظیر پستانداران) در مراحل مختلفی از قبیل بلوغ اووسیت ها، لقاح تخمک ها، تنفس تخم و رشد جنین، مشخص شده است اما این مسئله هنوز بطور کامل به اثبات نرسیده است.

۵-۱۱- خلاصه

بطورکلی، تجمع رنگدانه ها در بافت های آزادماهیان عمدتاً به حفظ و تثبیت رنگدانه های کاروتنوئیدی وابسته است. به منظور بهبود قابلیت ابقای کاروتنوئیدها باید عواملی از قبیل جذب، تثبیت و متابولیسم این رنگدانه ها در نظر گرفته شوند. این عوامل با توجه به گونه‌ها متعدد بوده و طی چرخه زندگی تغییر می‌کنند. تاکنون فقط جنبه تجمع رنگدانه ها در بافت ها و روابط متقابل بین کاروتنوئیدها و ویتامین A مورد بررسی قرار گرفته است. اما ازآنجاییکه کاروتنوئیدها در تولید مثل، رشد و به میزان کمتر در محافظت در برابر بیماری ها دخالت می کنند، هدف تحقیقات و مطالعات امروزه باید با هدف درک بهتر سایر جنبه های عملکرد تغذیه‌ای کاروتنوئیدها باشد.

«فصل ۱۲»

روند تکامل رشد و فیزیولوژی گوارش در لارو ماهی ها

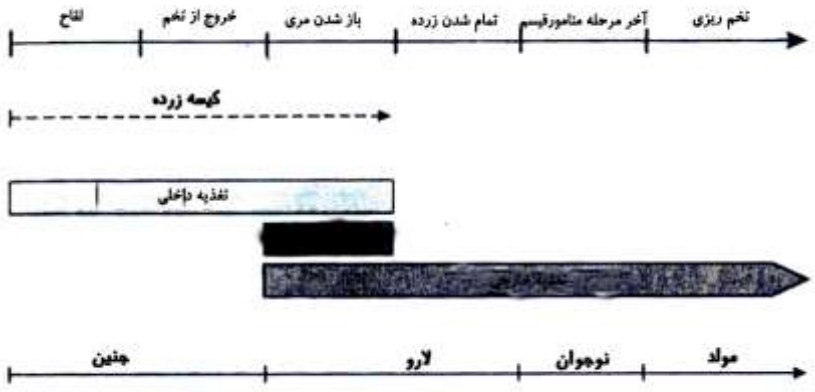
اصطلاح لارو بیانگر مرحله ای از زندگی ماهی از زمان شروع تغذیه بیرونی تا تبدیل شدن به یک ماهی کامل می باشد(شکل۱-۱۲). مرحله لاروی پس از مرحله جنینی و قبل از مرحله جوانی قرار می گیرد و معادل دوره انتقال مستمر مورفولوژیک و فیزیولوژیک در ماهی است. لارو ویژگی های مشترکی از قبیل اندازه خیلی کوچک ، نرخ بالای رشد ویژه و تمایز ناقص برخی اندام ها، با جنین دارد با این تفاوت که لارو قادر به شکار و خوردن طعمه است.

۱-۱۲- رشد پیش‌لاروی

از آنجاییکه رشد و توسعه جنینی خصوصیات ویژه ای از مرحله لاروی، بویژه اندازه و اولین تغذیه لاروها را تحت تاثیر قرار می دهد بنابراین، شایسته است این مرحله مورد بررسی و ملاحظه قرار گیرد.

۱-۱-۱۲) استفاده از ذخائر کیسه زرده

تکامل جنینی ابتدا در فضای کوریون تخم صورت گرفته و پس از آن جنین به نام نوزاد حامل کیسه زرده نامیده می شود. در این زمان کیسه زرده به شکل یک برآمدگی شکمی قابل ملاحظه است و هنگامیکه جنین قدرت شنا و تحرک پیدا می کند به نام جنین آزاد خوانده می شود.



شکل ۱-۱۲) مراحل رشد و چگونگی تغذیه در طول زندگی ماهی

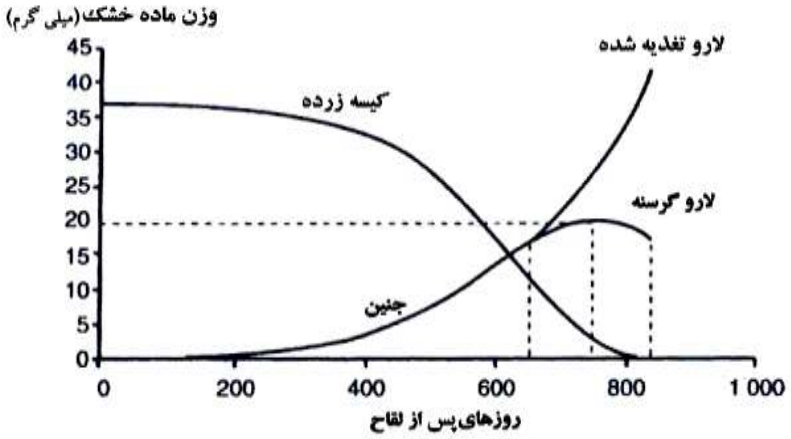
از نظر تغذیه ای، رشد و نگهداری جنین با استفاده از ذخائر کیسه زرده تامین می شود اما وجود سایر منابع تامین غذا در حال بررسی است. فرضیه موجود مبنی بر توجیه رشد لارو ماهی لپتوسفال از طریق جذب مواد آلی از محیط، جهت بیان رشد برخی دیگر از لاروها از جمله لارو مارماهی نیز مدنظر قرار گرفته است. این لاروها همزمان با مرحله مهاجرت خود بسیار فعال هستند بنحویکه طول آنها افزایش یافته و به صد برابر قطر تخم می رسند، بدون اینکه هیچ گونه رفتار طعمه خواری در آنها مشاهده شود.

ظرفیت جذب اسیدهای‌آمینه در مراحل جنینی و لاروی کپور و ماهی سفید از طریق انتقال از بافت پوششی با استفاده از روش حمام دادن به اثبات رسیده است. در این آزمایشها سنتز پروتئین با استفاده از اسیدآمینه نشانداری که در آب حل شده بود صورت گرفت. این در حالیست که امکان تقویت لارو با استفاده از حمام های تغذیه ای بندرت مورد بررسی قرار گرفته و ملاحظه شده که تحت شرایط طبیعی پرورش بجز ذخائر زرده، سایر منابع قابل صرف نظر است.

ذخائر اولیه محدود بوده و با در نظر گرفتن اندازه کوچک تخم بیشتر گونه ها، این ذخائر صرفا امکان ایجاد موجود کوچکی را فراهم می کنند. علاوه براین، در این زمینه اختلافات گسترده ای بین انواع گونه‌های ماهی وجود دارد(جدول۱-۱۲). جنین کفشک در مراحل ابتدایی دارای نقش ذخیره کننده است که هشت بار کمتر از کپور و ۴۸۰۰ بار کمتر از ماهی آزاد چینوک می باشد.

جدول ۱-۱۲) مقدار اولیه زرده (میلی گرم ماده خشک) و حداکثر وزن لاروهای گرسنه (میلی گرم ماده خشک) در برخی گونه ها

گونه ها	مقدار اولیه زرده	حداکثر وزن لاروهای گرسنه
ماهی آزاد چینوک	۱٦٤	۱۱۲ (٦ C°)
		۱۰٤ (۸ C°)
		۹۸ (۱۰ C°)
		۸۰ (۱۲ C°)
ماهی قرل آلای خالدار	۳۸	۱۹
هالیبوت	۱/٤	۰/۷۵
گربه ماهی آفریقایی	۰/٤	۰/ ۳۰
کپور	۰/۲۳	۰/۱۲
کفشک	۰/۰٤	۰/۰۲



شکل ۲-۱۲) تغییر در وزن خشک زرده (میلی گرم) و وزن بدن قزل آلای قهوه ای
(Escaffre and Bergot, 1990)

در گونه های مختلف تغذیه نشده، وزن ماده خشک زرده و توده زنده (جنین یا لارو) به شکلی مشابه تغییر می کند(شکل ۲-۱۲). شاخص های معادلات مربوط به منحنی ها نیز با توجه به نوع گونه، مقدار اولیه زرده و دما تغییر می کنند.

تفریخ همزمان با دوره رشد نیمه تصاعدی، پس از لقاح صورت می گیرد. وزن جنین هنگام تفریخ برای یک گونه مشخص ثابت نیست و به دمای انکوباسیون بستگی دارد. باز شدن مری پس از نقطه شکست منحنی وزن بدن جنین و پس از رسیدن لارو گرسنه به حداکثر وزن اتفاق می افتد. در این مرحله همچنان نیازهای نگهداری از طریق زرده برآورده می شود. پس از این مرحله، بیوماس کاهش و در نهایت زرده ناپدید می شود. ترکیب ماده خشک موجود در جنین و زرده طی دوره جذب مجدد به میزان اندکی تغییر کرده و منحنی آن مشابه منحنی وزن بدن است که مقدار انرژی جنین و زرده را نشان می دهند. علاوه براین، در یک دمای مشخص، مصرف اکسیژن جنین یا لارو در واحد زمان نسبت مستقیم با وزن بدن داشته و مانند ماهیان جوان با توان ۰/۷ تا ۰/۸ وزن بدن افزایش نمی یابد. بنابراین، تغییر ترکیب ماده خشک موجود در جنین و زرده همان تغییر وزن جنینی است. پس از تفریخ، مصرف اکسیژن بواسطه عوامل خارجی از قبیل میزان روشنایی تشدید می شود که نرخ حرکت و شنای لارو را افزایش می دهد.

در گونه هایی که مقادیر اولیه زرده و دمای انکوباسیون آنها تفاوت زیادی با یکدیگر دارند، حداکثر ماده خشک لاروهای تغذیه نشده بین ۵۰ تا ۷۰ درصد مقدار اولیه زرده است. این نسبت، بالا و ثابت بوده و پیش‌بینی حداکثر اندازه لاروهای تغذیه نشده و لاروهای قادر به تغذیه (کمتر از اندازه لاروهای تغذیه نشده ولی نزدیک به آن) را از مقادیر اولیه زرده امکان‌پذیر می سازد. در قزل آلا، اندازه آلوین های تولید شده از یک ماهی ماده در مرحله مشخصی از رشد با اندازه تخم رابطه مستقیم دارد. معمولا تفریخ تخم ها همزمان و مستقل از اندازه آنها صورت می گیرد، منتها آلوین های حاصل از بزرگترین تخم ها هنگام گرسنگی، کمی دیرتر به حداکثر وزن خود می رسند. آلوین های بزرگ دارای سلول هایی با اندازه یکسان در کبد هستند ولی این سلول ها دو برابر بزرگتر از سلول های موجود در آلوین های با نصف اندازه آلوین بزرگ است. اگر غذادهی به تاخیر بیفتد، آلوین های بزرگ دیرتر از آلوین های کوچک به مرحله ۵۰ درصد مرگ و میر می رسند.

بسیاری از مشکلات پرورش دهندگان در ارتباط با اندازه کوچک لارو بوده و از اینرو، انتخاب تخمهایی با مقادیر زیاد زرده مزایایی بهمراه دارد.

هنگام کوچک بودن فضای پری ویتلین، حجم زرده معادل حجم تخم بوده و اندازه این تخم ها به عنوان شاخصی جهت گزینش آنها در نظر گرفته می شود. اندازه تخم در بین ماده های یک گونه مشخص، متفاوت است. به طورکلی، تخم‌های تولید شده در اولین دوره تخم ریزی (سال اول تخم ریزی در گونه‌هایی با چرخه سالانه یا اولین فصل تخم ریزی در گروه مولد) از دوره های بعدی تخم ریزی کوچکتر است، همچنین اندازه تخم در ماده های خیلی پیر و در آخرین فصل تخم ریزی نیز کوچکتر خواهد بود.

در رابطه با مقدار اولیه زرده، بهینه سازی فرآورده حاصل از تبدیل زرده به جنین مفید به نظر می‌رسد که به معنی نسبت بین حداکثر وزن جنین تغذیه شده و وزن زرده اولیه است. این نسبت به عوامل خارجی به ویژه دما بستگی دارد. تخم های ماهی آزاد چینوک که در دمای ۶، ۸، ۱۰ یا ۱۲ درجه سانتیگراد تفریخ می شوند، آلوین هایی تولید می کنند که حداکثر وزن آنها در اولین تغذیه در دماهای پایین تر بیشتر بوده و اختلاف در وزن آلوین به ۴۰ درصد بین دماهای ۶ و ۱۲ درجه سانتیگراد می رسد. در مورد یک گونه مشخص و در شرایط نرمال، دمایی که نرخ رشد جنین در آن دما حداکثر و در سایر دماها پایین تر است، دمایی است که مصرف زرده در سطح بیشینه بوده و موجب به حداکثر رسیدن وزن لارو می شود.

۲-۱-۱۲) استفاده از گویچه چربی

علاوه بر زرده که عمدتا از پروتئین ها تشکیل می شود، ذخائر ویتلین در برخی گونه ها (باس دریایی، سیم دریایی و کفشک) شامل گویچه چربی نیز است. این ذره در سایر گونه ها از قبیل کپور و هالیبوت وجود ندارد. در ماهی سفید تعداد زیادی گویچه های کوچک چربی بتدریج و همزمان با تفریخ در هم ادغام شده و یک ذره بزرگ مجزا را در لارو تشکیل می دهند.

جذب گویچه چربی کندتر از زرده بوده و اغلب بخش قابل توجهی از گویچه چربی هنگام مصرف کامل زرده باقی می ماند. این گویچه از چربی های غیر قطبی (تری اسیل گلیسیرول ها و موم ها در برخی گونه‌های دریایی) ساخته شده و فاقد پروتئین است. بنابراین، در ماهیان تغذیه نشده ای که زرده آنها تمام شده، ذره چربی قادر به ساخت بافت های جدید نمی باشد. در مقابل، به عنوان ذخیره انرژی عمل نموده و انرژی مورد نیاز برای شنا را تامین می کند، احتمالا کاتابولیسم اکسایشی پروتئین ها را محدود می سازد.

قابل توجه است که در ماهی سفید در زمان شروع مرگ و میر لاروی ماهی سفید، هنوز بسیاری از لاروها حاوی ذره چربی مصرف نشده هستند. برخی محققان معتقدند گویچه چربی که نسبت به سایر بخش های بدن چگالی کمتری دارد، به عنوان شناور عمل می کند و تعادل در شنا را در لاروهایی امکان‌پذیر می‌سازد که هنوز از کیسه شنا برخوردار نیستند.

۲-۱۲ - انتقال از مرحله تغذیه داخلی به خارجی

۱-۲-۱۲) تمایز دستگاه گوارش

پایان مرحله جنینی همزمان با باز شدن مری و پس از باز شدن مخرج است. مطالعات مختلف بخصوص در ماهی کفشک و گربه ماهی آفریقایی نشان داده اند که در این مرحله سلول های جذب‌کننده قشر سطحی روده در لارو مشابه انتروسیت های حیوانات بزرگتر عمل می کنند. از لحظه ورود اولین ذره غذایی، بخش جلویی روده را که شامل انتروسیت های جذب کننده چربی هستند، می توان از بخش عقبی که جذب مولکول های بزرگ پروتئین در آن صورت می گیرد، تشخیص داد. در کپور بخش انتهایی بصورت مشخص از قسمت عقبی روده متمایز بوده و قادر به جذب مولکول های بزرگ پروتئین نیست. این تمایز به صورت بخش های تخصص یافته و براساس بافت شناسی انتروسیت ها، دقیقا همان چیزی است که در ماهیان بزرگتر دیده می شود(فصل ۴).

اجزای داخل سلولی سلول های کبدی و پانکراس نیز همانند ماهیان جوان است. حضور آنزیم های پانکراس حتی پیش از باز شدن مری در سلول های آسینار پانکراس قابل شناسایی است. کل اطلاعات بافت شناسی نشانگر وجود ساختارهای کارآمدی است که امکان هضم و جذب چربی ها در بخش های قدامی روده را فراهم می سازند. فعالیت تریپسین در پانکراس و دیواره روده قابل تشخیص بوده و نشاندهنده امکان تجزیه پروتئین ها و جذب مواد حاصل از تجزیه در بخش قدامی روده است. علاوه براین، جذب بصورت پینوسیتوسیز و تجزیه درون سلولی مولکول های بزرگ پروتئین توسط آنزیم های سیتوسولیک در بخش خلفی روده قابل مشاهده است. استفاده از نشاسته ژلاتینی در سطوح هضم (وجود فعالیت آمیلاز) و سطوح متابولیک (ایجاد هیپرتروفی در کبد با افزودن نشاسته به جیره) نیز در کپور به اثبات رسیده است.

بجز فقدان معده، اختلافات قابل توجهی بین سیستم گوارشی لاروها و ماهیان جوان وجود دارد که ارتباطی به بافت شناسی و عملکرد آن نداشته و به مورفولوژی عمومی سیستم گوارشی مربوط می‌شود. در لاروها، روده نسبت به کل بدن خیلی کوتاه بوده و اغلب به شکل لوله ساده، مستقیم و بدون خمیدگی (زوائد پیلوریک) موجود در ماهیان بزرگ است. لایه غضروفی[1] نازک است. موکوس موجود در درون چین های روده ای ماهیان جوان، ترشح نمی شود. در ابتدا کبد و پانکراس هر کدام دارای یک لوب مجزا هستند در حالیکه در ماهیان جوان گونه های مختلف بویژه کپورماهیان، این دو عضو در امتداد چین های روده ای کاملا به یکدیگر وصل می شوند. همچنین پانکراس جوانترین لاروها، فاقد سلول های چربی در بین سلول های آسینار است.

۲-۲-۱۲) اثر تاخیر بر تغذیه

زرده ای که هنگام باز شدن مری باقی می ماند، امکان رشد اندک لارو را حتی در صورت فقدان غذا فراهم می کند. با شروع اولین تغذیه نرخ رشد ویژه لارو کاهش می یابد و پس از رسیدن به وزن حداکثر، منفی می شود. دسترسی به غذای خارجی به لارو این امکان را می دهد که نرخ ویژه رشد را حفظ کند که حداقل برابر با رشد تصاعدی است. در یک سن مشخص، آلوین قزل‌آلاهایی که زودتر تغذیه شده اند وزن بیشتری نسبت به آلوین هایی دارند که دیرتر غذادهی شده‌اند، هرچند گروه دوم از نظر شروع تغذیه به همان نرخ رشد ویژه گروه اول می رسند (شکل۳-۱۲). پس از حد مشخصی از گرسنگی که «نقطه غیر قابل برگشت» نامیده می شود، حیوان ضعیف شده و حتی در صورت وجود غذا هم قادر به تغذیه ارادی نیست و خواهد مرد. کوچکترین لاروها حساس ترین آنها نسبت به گرسنگی می باشند. لاروهای بزرگی که در آب سرد زندگی می کنند پیش از تحمل اثرات شدید ناشی از گرسنگی، چندین روز(حتی چندین هفته در مورد آزادماهیانی با تخم های بزرگ) را به پیدا کردن طعمه و یاد گرفتن شکار می گذرانند. در مقابل، لاروهای خیلی کوچک که در دماهای بالا زندگی می کنند موقعیت سخت و دشواری دارند. طول دوره رشد آنها که بر حسب روز یا دوره نوری بیان می شود، کوتاه بوده و آنها فرصت زمانی کمی دارند تا تحت شرایط مناسب تغذیه شوند، بویژه اگر جزءگونه های شب فعال باشند.

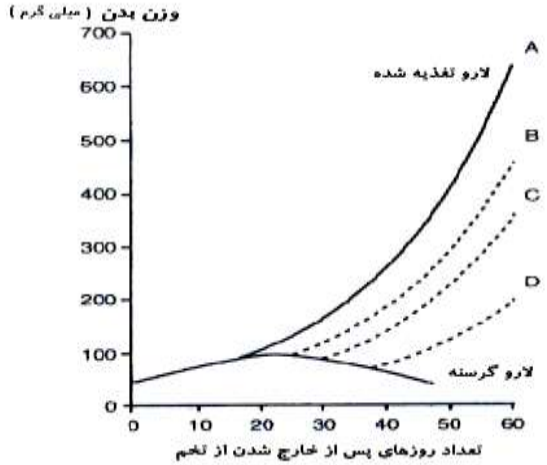
[1] musculosoma

روده و کبد از اندام هایی هستند که بسرعت تحت تاثیر کمبود غذا قرار می گیرند. به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه ای لاروها که به معنی ارزیابی میزان گرسنگی و کافی بودن غذای آنهاست، از برخی شاخص های بیوشیمیایی (نسبت RNA به DNA، ترکیب اسید چرب و سطح فعالیت آنزیم ها) یا بافت‌شناسی (ضخامت قشر سطحی روده، حجم هپاتوسیت ها، اندازه هسته هپاتوسیت ها) استفاده می شود.

۳-۱۲ - مراحل تکامل لاروی

۱-۳-۱۲) ویژگی‌های رشد و تکامل

لاروهایی که بخوبی تغذیه شده اند نسبت به ماهیان بزرگتر با شرایط مشابه، از نرخ رشد بالاتری برخوردارند. این شاخص به دما بستگی دارد. برای مثال نرخ رشد در برخی از گربه ماهیان آفریقایی که در ۲۷ تا ۲۹ درجه سانتیگراد پرورش می یابند، به بیش از ۶۰ درصد در روز افزایش می یابد.



شکل ۳-۱۲) تغییر وزن بدن قزل آلای تغذیه شده از زمان بازشدن مری (منحنی A)، ماهیانی که دیرتر تغذیه شده اند (منحنی B , C , D) یا ماهیان گرسنه (Escaffre and Bergot, 1990)

کپوری که با آرتمیا تغذیه می شود، در اولین روزهای تغذیه در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد به نرخ رشد ۴۰ تا ۵۰ درصد در روز می رسد. با استفاده از جیره های غذایی دستی، برای چند هفته نرخ رشد در حد ۲۰ تا ۲۵ درصد باقی می ماند تا ماهی ها به وزن یک گرم برسند، این در حالی است که نرخ رشد انواع بزرگتر ناچیز است. لاروها از یک قانون عمومی پیروی می کنند که مطابق با آن، نرخ ویژه رشد همراه با افزایش اندازه حیوان به شکلی اجتناب ناپذیر کاهش می یابد.

افزایش وزن بدن لارو با تغییرات چشمگیری در مورفولوژی، آناتومی و فیزیولوژی آنها همراه است. بدن لارو کپور همانند بسیاری از گونه های ماهیان، به طور نسبی کمتر دراز و کشیده و بیشتر توپر می شود. عمق و ضخامت بدن سریع تر از طول افزایش می یابد که از این طریق می توان نسبت های مشخص کننده ماهیان جوان را به صورت ذیل محاسبه نمود:

log (وزن) = a + b log (طول)

در لاروها مقدار b بین ۴ و ۵ است در حالیکه در ماهیان بزرگتر از یک گرم نزدیک به ۳ می باشد. بخش های خارجی بدن (مانند پوزه، ناحیه دمی) سریع تر از بخش مرکزی رشد می کنند. باله ها طی مرحله لاروی متمایز می شوند. این تغییرات در ارتباط با تغییر در نحوه شنا است و به عنوان نوعی سازگاری با قوانین هیدرودینامیک حاکم بر محیط قلمداد می شوند. در لاروهای کوچک که بکندی جابجا می شوند، نیروی ویسکوزیته تاثیر قابل توجهی دارد، در حالیکه ماهیان بزرگتر با شنای سریعتر تحت تاثیر نیروهای اینرسی قرار می گیرند. رشد نسبی (با توجه به مقادیر مختلف ضریب b در معادله بالا) نسبت به بافت ها و اندام های مختلف لاروها تعیین می شود. افزایش حجم سیستم عصبی و بافت چشم که در ابتدا نسبتا بخوبی رشد کرده اند کندتر از بافت ماهیچه ای است. کبد فوق العاده سریع رشد میکند. سطح تبادلات تنفسی طی دوره رشد لاروی به مقدار زیادی افزایش یافته و رشته های آبششی متمایز و تنفس پوستی کاهش می یابد (ناپدید شدن عضله قرمز سطحی جنینی). سطح موکوس روده به سبب افزایش طول روده نسبت به طول ماهی و توسعه چین های واقع در قسمت داخلی روده، افزایش می یابد. تمایز معده در گونه های دارای معده اغلب دیرتر صورت می گیرد و نشان‌دهنده پایان مرحله لاروی است.

با این وجود، مرحله جوانی در مقایسه با مرحله لاروی که باز شدن مری به عنوان شروع این مرحله است، با یک رویداد منحصر بفرد مشخص نمی شود. علاوه بر شکل عمومی، از شاخص هایی مانند تجمع رنگدانه ها در بافت ها، تمایز باله و ظاهر شدن فلس ها به منظور تعیین مرحله جوانی استفاده می شود.

در برخی گونه ها نظیر ماهی پهن (جدول ۲-۱۲)، اختلاف بین ظاهر متقارن لارو در اولین تغذیه و جوان نامتقارن قابل توجه است و از اصطلاح « متامورفیسم» برای بیان گذر از یک مرحله و ورود به مرحله دیگر استفاده می شود(شکل۴-۱۲). در مورد سایر گونه ها که تخم آنها حاوی مقدار زیادی زرده است، ماهی با شروع مرحله تغذیه خارجی ویژگی های مرحله جوانی را نشان داده و در واقع در این گونه ها مرحله لاروی وجود ندارد. ماهی آزاد و ماهی قزل آلا حد واسط گونه های ذکر شده اند و هنگامیکه اولین وعده غذایی خورده شد، معده لارو آنها شروع به فعالیت می کند اما هنوز از نظر مورفولوژی از مرحله جوانی قابل تشخیص نیست. ماهی ها در این مرحله « آلوین » نامیده می شوند.

جدول۲-۱۲) مراحل تکامل لاروی کفشک (Segner *et al*., 1994)

رویداد	طول لارو
باز شدن مری	٤
اتمام ذخیره زرده	٥
ظهور کیسه شنا	٥/٥
ظهور تیغه های آبششی	٦
انحنا در نوتوکورد	٨
شروع عدم تقارن	١٨
جذب مجدد کیسه شنا و خاتمه مهاجرت چشمی	٢٦

شکل ٤-۱۲) مراحل تکامل لاروی کفشک (segner *et al*., 1994)

۲-۳-۱۲) سیستم های آنزیمی

۱-۲-۳-۱۲) تغییر در فعالیت آنزیمی طی مراحل تکامل

در لارو باس‌دریایی وقتی برای اولین بار دهان باز می شود، حتی بدون غذادهی، افزایش شدیدی در فعالیت آنزیم های پانکراس از قبیل آمیلاز، تریپسین وکموتریپسین مشاهده می شود. آنزیم های روده ای سیتوزول (مانند لوسین پپتیداز و آمیلاز) و پرزهای روده ای(ترانس پپتیداز و γ - گلوتامین، مالتازو آلکالین فسفاتاز) نیز پیش از باز شدن دهان به میزان اندک وجود دارند.

در مطالعات انجام شده پیرامون لاروهای باس دریایی، تمامی آنزیم‌ها بجز پپسین، پروفیل فعالیت ویژه مشابهی را در شکل نموداری (فعالیت آنزیمی مرتبط با میزان پروتئین ها) و در طول مراحل تکامل نشان می دهند (شکل۵-۱۲) که شامل افزایش سریع فعالیت و حفظ آن تا روز دوازدهم و سپس افت فعالیت تا روز بیست و سوم و ثابت بودن آن تا روز چهلم خواهد بود.افت فعالیت ارتباطی با کاهش کلی ظرفیت هضم لارو نداشته و ناشی از ترشح آنزیم های جدید و کاهش نسبی اهمیت آنزیم های اولیه است. پپسین پس از روز بیست و پنجم قابل اندازه گیری است. فعالیت های ویژه اندازه گیری شده در انتروسیت پرزهای روده ای به شکلی منظم در کل مراحل تکامل افزایش می یابد و نشان دهنده افزایش پتانسیل هضم موکوس روده همزمان با زیاد شدن میکروپرزهاست.

وجود آنزیم های سیتوزولیک در انتروسیت ها از طریق روش های ایمنی شناسی و شیمی بافت مشخص شده و امروزه برخی از آنها اندازه گیری شده است. فعالیت ویژه این آنزیم‌ها در طول مراحل تکامل لاروی در سیتوزول و در جهت مخالف آنها در پرزهای روده تغییر می کند (شکل۶-۱۲).

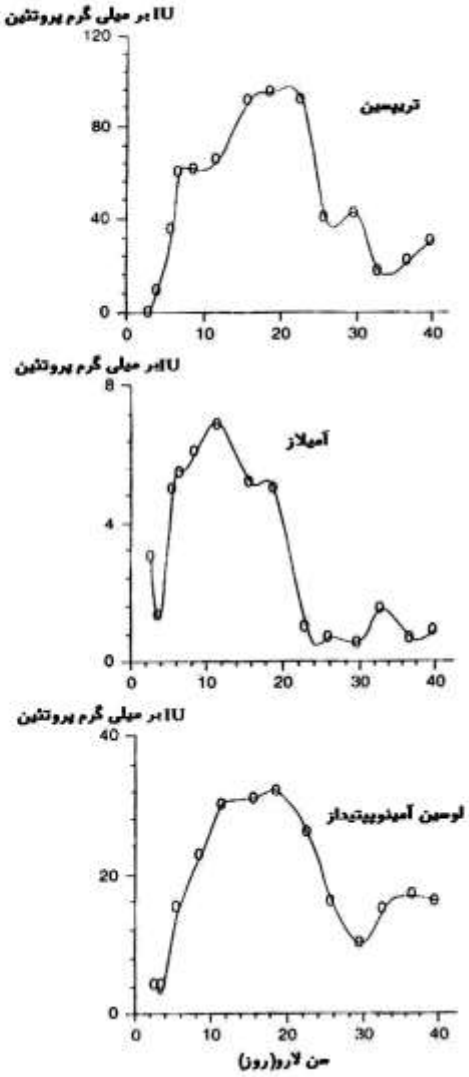
۲-۲-۳-۱۲) تنظیم فعالیت آنزیمی

از زمان شروع تغذیه، لارو ماهی قادر به تنظیم فعالیت آنزیمی خود در پاسخ به ترکیب بیوشیمیایی غذاست. بنابراین، در لارو باس‌دریایی مشخص شده که تغذیه با جیره غذایی حاوی ۱۲ درصد نشاسته حتی در مرحله انتقال از کیسه زرده به تغذیه خارجی منجر به افزایش فعالیت آمیلاز می شود. در صورت حضور اسیدهای‌آمینه آزاد در جیره غذایی، فعالیت تریپسین نیز به صورتی مشابه افزایش می یابد. همچنین هنگامیکه جیره غذای مصرفی حاوی مولکول های فسفره شده از قبیل فسفو پروتئین ها باشد، میزان آنزیم فسفاتاز قلیایی نیز افزایش خواهد یافت.

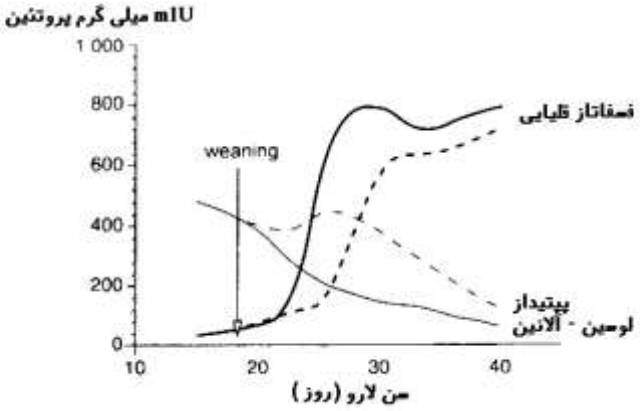
محرک های دیگری نیز ترشح آنزیم های پانکراس را تحت تاثیر قرار می دهند. در لارو هرینگ ترشح تریپسین در پاسخ به محرک های مکانیکی مانند ورم دستگاه گوارش به اثبات رسیده است.

آزمایش های جایگزینی غذای مصنوعی به جای غذای زنده روی لارو ماهیان دریایی تا مدت زیادی با شکست مواجه می شد که علت آن توانایی اندک ماهیان در ساخت و ترشح آنزیم های هضم‌کننده غذای مصنوعی، بیان شد در حالیکه غذای زنده به طور مستقیم یا غیر مستقیم، مکمل های آنزیمی مورد نیاز را جهت هضم غذا فراهم می‌کند.

یافته های اخیر که ظرفیت بالای لارو را به منظور سنتز آنزیم های گوارشی اثبات می کنند، این فرضیه را بی‌اعتبار می کند. علاوه بر این، بنظر می رسد که آنزیم های تامین شده توسط غذای زنده، ناچیز و قابل چشم پوشی است. دستگاه گوارش لارو باس دریایی ۲۰ روزه، در هر مرتبه قادر به هضم پنج عدد آرتمیاست که معادل دو درصد فعالیت تریپسین اندازه گیری شده در لارو می باشد. از سویی، استفاده از آنزیم ها در جیره غذایی نتیجه کاملا قطعی در بر ندارد. این آزمایشها فقط در لارو سیم دریایی که با جیره غذایی مصنوعی غنی شده با آنزیم های پانکراس تغذیه شده بود، نتیجه مثبتی در پی داشت که نیز از موارد استثنا محسوب می گردد.



شکل۵-۱۲) تغییر در فعالیت ویژه برخی آنزیم های گوارشی در لارو ماهیان دریـایی در طـول مراحـل تکامل IU واحد بین المللی اندازه گیری فعالیت آنزیم ، mIU : واحد میلی



شکل۶-۱۲) تغییر در فعالیت ویژه آنزیم های انتروسیت در طول مراحل تکامل لارو ماهی: افزایش آنزیم سیتوزولیک، لوسین- آلانین پپتیداز در حیوانات تغذیه شده با طعمه زنده (ـــ) و حیواناتی که با جیره های ترکیبی تغذیه شده اند (- -)

در مطالعات دیگری مشاهده شده است که حضور پپسین پس از شکل گیری معده، عامل تعیین‌کننده ای در توجیه استفاده مناسب لارو ماهی از غذاهای مصنوعی نیست. لارو کپور (گونه فاقد معده) از زمان باز شدن دهان قادر به تغذیه با غذاهای مصنوعی است.

۳-۲-۳-۱۲) اثر جایگزینی غذای زنده با جیره های غذایی دستی

در تمامی ماهیان هرچه رژیم غذایی از غذای زنده به غذای مصنوعی زودتر انجام شود، تاثیر بیشتری در به تاخیر انداختن رشد حیوان بدنبال دارد. در مقابل، بازماندگی لارو را به شکلی ناچیز تحت تاثیر قرار میدهد مگر اینکه این جایگزینی به صورت زودهنگام، برای مثال، پیش از روز پانزدهم در لارو باس دریایی انجام گیرد.

طی اولین هفته پس از جایگزینی، افزایش ناگهانی در فعالیت ویژه تمامی آنزیم ها قابل مشاهده است که این افزایش ناشی از بکارگرفتن کلیه قابلیت های آنزیمی لارو به منظور ایجاد بازدهی تغذیه‌ای بهتر است.

این مقادیر مجدداً به میزانی بازمی‌گردند که در لاروهای تغذیه شده با غذای زنده وجود داشته است. اما این بازگشت به حالت عادی در لاروهای باس دریایی که تغییر در رژیم غذایی آنها پیش از روز بیستم صورت گرفته، مشاهده نمی شود. اگرچه لاروها به طور موثری از ذرات ریز غذایی تغذیه می کنند اما پروفیل آنزیمی آنها همچنان نزدیک به مقادیری است که طی گرسنگی یا سوء تغذیه آنها مشاهده میشود. این تغییر پروفیل آنزیمی ناشی از عدم توسعه کامل عملکرد هضم در لاروست. در اکثر گونه ها، ظهور عملکردهای ویژه هضم طی مراحل تکامل لاروی و بر اساس توالی ژنتیکی صورت می گیرد و تنها پس از گذشت سه هفته، دستگاه گوارش به صورت کاملاً تکامل یافته ظاهر می شود. در باس دریایی، جایگزینی غذای مصنوعی در روز دهم، ترشح آنزیم های پانکراس را تحت تاثیر قرار می دهد حتی با وجودی که این آنزیم ها به میزان کافی ساخته می شوند. همچنین در روده، جایگزینی زود هنگام غذای مصنوعی ظهور آنزیم های تولیدی توسط پرزهای روده ای را دچار اشکال کرده در حالیکه آنزیم‌های سیتوزولیک را در سطوح بالا حفظ می نماید. به این ترتیب، حیوان هضم لاروی خود را حفظ کرده و پیدایش شکل تکامل یافته گوارش به تاخیر افتاده یا حذف می شود. بنابراین، جایگزینی غذایی که به میزان ناچیز با لاروهای جوان سازگار شده است (تا قبل از هفته سوم) می‌تواند کلیات رشد و تکامل حیوان را در معرض خطر قرار دهد(شکل۶-۱۲).

٤-۲-۳-۱۲) سازگاری غذا با ویژگی های گوارشی لاروها

شاخص سازگاری مناسب یک غذا با لارو، عدم تغییر در ظهور سیستم طبیعی کارکردهای مختلف هضم است.آزمایشهای اخیر نشان می دهند که اضافه کردن ۱۰ درصدی اسیدهای‌آمینه آزاد به غذای مصنوعی، ترشح آنزیم های پانکراس را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. همچنین گنجاندن ۱۲ درصد پروتئین هیدرولیز شده به غذا موجب کاهش تاخیر در ظهورآنزیم های پرزهای روده ای می شود. بنابراین، تغییر بخشی از ذخیره پروتئینی جیره غذایی منجر به تکامل مطلوب تر کارکردهای هضم در لارو و در نتیجه افزایش وزن بدن (تا۶۰ درصد) و افزایش بازماندگی (تا ۳۰ درصد) در مقایسه با لاروهایی می شود که جایگزینی غذای آنها با استفاده از جیره های حاوی پروتئین طبیعی صورت می گیرد. این احتمال نیز وجود دارد که نوع ذخائر چربی و هیدرات‌کربن روند تکامل کارکردهای هضم را تحت تاثیر قرار دهد.

نتایج بدست آمده طی چند سال گذشته نشان می دهند که هنگام فرمولاسیون غـذا، در نظـر گـرفتن میـزان قابلیت موجـود زنـده در مصـرف غـذای مصـنوعی بـه همـان انـدازه خصوصـیات گوارشـی آن از اهمیـت برخوردار است. بواسطه نتایج جدید امکان تغذیه اولیه لارو باس دریایی با غذای مصنوعی و بدون اسـتفاده از غذای زنده، قابل تایید است.

٤-۱۲ - خصوصیات ماهیان جوان

در مراکز پرورش لارو هر واحد به صورت یـک گـروه در نظـر گرفتـه مـی شـود کـه معمـولا از جمعیـت بزرگی شامل $۱۰^{۴}$ تا $۱۰^{۶}$ عدد تشکیل شده و در تانک های مشابه تقسیم و طی چنـد هفتـه بـا غـذای مشـابه تغذیه می شوند. از اهداف تولید ماهیان جوان، تولید گروههای همزاد اسـت کـه ماهیـان ناهنجـار را شـامل نمی شود.

۱-٤-۱۲) همگنی گروههای همزاد

ضریب تنوع وزن لاروهایی که از دسته هـای مولـدین یکسـان تولیـد شـده و تحـت شـرایط مشـابه تفـریخ می‌شوند در مراحل ابتدایی پایین بوده و معمولا کمتر از ۱۵ درصد است. این ضـریب در مـورد قـزل آلا و کپور پرورشی تا ۳۰ درصد افزایش می یابد. کیفیت پایین غذا موجب افزایش ضـریب تنـوع مـی شـود. در ابتدا ضریب عدم تجانس وزن معمولا صفر یا انـدکی منفـی اسـت. در صـورتیکه تعـدادی از لاروهـا رشـد نکنند، این ضریب کاهش یافته اما در ادامه با گذشت زمـان افـزایش مـی یابـد کـه بخشـی از ایـن افـزایش مربوط به مرگ و میر کوچکترین لاروها و بخشی مربوط بـه نـرخ رشـد تعـدادی از ماهیهـا، بـالاتر از حـد متوسط جمعیت است. بروز این وضعیت اغلب همراه با پدیده کانیبالیسم یا همنوع خواری است. این رفتـار غیر طبیعی به سبب شرایط بد پرورشی و بویژه کمبود غذا یا سازگاری پایین با غذاست.

۲-٤-۱۲) ناهنجاری‌های مراحل تکامل

در واحد های پرورش در جریان رشد ماهی ها ناهنجاری های متعددی ایجاد می شـوند. در حیـات وحـش این ناهنجاری ها جز در محیطهای خیلی آلوده مشاهده نمی شود(البته این بدان معنی نیست که در طبیعـت این ناهنجاری ها وجود ندارند).

بواسطه مرگ و میر افراد مبتلا، جدی‌ترین ناهنجاری ها از گروه همزاد حذف می شوند. در مقابل، در صورت بالاتر بودن میزان همنوع‌خواری نسبت به طعمه خواری، ناهنجاری ها که عمدتا غیر کشنده هستند در واحد های پرورشی باقی می مانند. سه عامل به عنوان دلایل ایجاد ناهنجاری ها شناخته شده اند که اولین آن، عامل فیزیکی- شیمیایی است. بنابراین، با تمیز کردن آبهای سطحی صرفا به منظور حذف لایه نازک سطحی می توان از پرنشدن کیسه شنا از هوا در سیم دریایی و باس دریایی به عنوان یک ناهنجاری، جلوگیری نمود. عدم هواگیری کیسه شنا منجر به بروز بیماری لردوزیس در سوف ماهیان می شود. همچنین مشخص شده که پرورش تحت شرایط دمایی غیرمناسب، موجب آسیب غیر قابل برگشت افراد باقیمانده بویژه در شرایط جنینی می شود. دومین عامل ایجاد کننده ناهنجاری ها کمبود های غذایی است. گرسنگی نه تنها دستگاه گوارش بلکه مورفولوژی ظاهری را نیز تحت تاثیر قرار می دهد. بزرگ شدن سر و گود افتادن چشم ها از جمله این موارد است. بنظر می رسد که ناهنجاری های موجود در تجمع رنگدانه‌ها در بافت ماهیان عمدتا ناشی از کیفیت پایین آرتمیاهای مصرفی به عنوان غذاست، هر چند هنوز مواد غذایی ایجاد کننده این حالت به طور کامل شناسایی نشده اند. کمبود فسفولیپیدها منجر به بروز اسکلیوز در ماهی آیو می شود. کمبود ویتامین C در لارو کپور نیز موجب تغییر شکل آبشش ها و تخریب باله دمی می شود. ورود بیش از حد ویتامین A فشردگی مهره ها در فلاندر ژاپنی را بدنبال دارد. آخرین عامل، عفونتهای میکروبی هستند. ویروس عامل هایپرپلازی بافت پوششی فلاندر ژاپنی در این دسته قرار می گیرد. ویبریون های بیماریزا منجر به نکروز روده ای و عضله‌ای می شوند. باکتری های دیگری از قبیل *Flexibacter ovolyticus* کوریون تخم را تخریب و تفریخ زود هنگام جنین های معیوب را بدنبال دارد.

۵-۱۲- خلاصه

مطالعه روند تکامل ماهی طی دوره لاروی تا مدتها مورد توجه بیولوژیست‌ها بوده است. روش های فیزیولوژیک امروزی چشم‌انداز نوینی بر مشکلات تغذیه ای گشوده است که پیش از این با روش های تجربی حل می شد بنحویکه یافته های اخیر عملکرد متخصصان تغذیه را در توسعه و معرفی جیره های سازگار با اولین مراحل زندگی لاروی تسهیل کرده است.

« فصل ۱۳»

تغذیه لارو ماهی با غذای زنده

به عنوان نتیجه حاصل از انتوژنی لارو ماهیان، باید پیش از شکل‌گیری کامل دستگاه گوارش آنها، تغذیه فعال داشته باشند(فصل ۱۲). بر اساس اطلاعات حاصله، تغذیه اغلب گونه های دریایی توسط غذاهای فرموله شده دستی به منظور توسعه مراحل اولیه لاروی مناسب نیست. از اینرو ضروری است، این لاروها را از زمان شروع تغذیه (لارو ۰/۲ تا ۰/۴ میلی گرم، با توجه به گونه) تا مرحله پست لاروی (بیش از ۵۰ میلی‌گرم) با غذای زنده تغذیه نمود تا زمانیکه بتوانند با غذای دستی سازگار شوند (این دوره را تحت عنوان «دوره تغییر رژیم غذایی» می نامند). طول این دوره کوتاه(یک تا دو ماه) بوده اما لاروها از رشد سریع برخوردارند. وضعیت و اندازه دهان لاروها در تعیین اندازه ذرات مصرفی توسط آنها موثر است. از زمان باز شدن دهان، اندازه ذرات برابر ۲۰۰ میلی گرم است که تا پایان دوره پرورش به چند میلی گرم میرسد.

لارو بطور طبیعی از فیتوپلانکتون ها تغذیه می کند. ساده ترین روش همراه با کمترین هزینه ممکن، ایجاد محیط بسته و کنترل شده به منظور کمک به تولید فیتوپلانکتون های اولیه ومتعاقب آن زئوپلانکتون ها، پیش از معرفی لارو به محیط پرورشی است. این محیطها را می توان به منظور پرورش ارگانیسم های زنده در تراکم پایین مورد استفاده قرار داد. موفقیت آبزی پروری سنتی ماهیان آب شیرین مرهون توسعه این

روش است. کاربرد این روش در سیستم های مردابی بسیار محدود بوده و گسترش تولید ماهیان دریایی در درجه اول بر روش های پرورش متراکم لارو متکی است.

در پرورش متراکم، ایجاد یک زنجیره غذایی از طریق تولید آلگهای تک سلولی، به منظور تغذیه حیوانات فیلترکننده مورد نیاز است که خود آنها نیز به عنوان غذا برای لارو در نظر گرفته می شوند. البته انجام مطالعات زیاد به منظور نیل به موفقیت در تولید ضروری است. همگام با تغذیه لارو، تغذیه توسط غذای زنده نیز مورد مطالعه قرار گرفته است که در این رابطه هزینه تولید بالا بوده و تنها چند گونه محدود در این رابطه انتخاب شده، ضمن آنکه کیفیت ذاتی غذای زنده در نظر گرفته نشده است. با بررسی ارزش غذایی غذای زنده، تلاشهای زیادی جهت توسعه کاربرد آن انجام گرفته است. علاوه براین، واحدهای پرورش متراکم در محیطی متشکل از مقدار زیادی مواد آلی مناسب برای تکثیر باکتریایی طراحی می‌شوند. این باکتری ها خطر بیشتری را ایجاد می کنند بنابراین لازم است که شاخص های کیفی محیط باکتریایی طعمه همزمان با ارزش غذایی آن مورد توجه قرار گیرد.

این فصل، روش های تولید، ارزش غذایی این تولیدات و روش های مورد استفاده به منظور بهبود آنها و نیز جنبه های کمی غذادهی را با توجه به گونه های محدود در دسترس، تشریح می کند. در نهایت باکتری های مرتبط با این واحدهای پرورش، همچنین اثرات آنها بر لارو و روشهای کنترل آنها مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۱-۱۳ - غذای زنده مورد استفاده در آبزی پروری دریایی

اولین سطح از زنجیره غذایی، شامل موجودات زنده تک سلولی است که متفاوت از فیتوپلانکتون های طبیعی از جمله مخمرها یا باکتری ها هستند. این ارگانیسم ها را به صورت زنده، لیوفیلیزه یا خشک شده به صورت اسپری[1] به طور مستقیم و یا برای تغذیه حیوانات طعمه خوار (در سطح دوم زنجیره غذایی) مورد استفاده قرار می دهند. همانند ارگانیسم های سطح اول زنجیره غذایی، ارگانیسمهای سطح دوم نیز الزاما متعلق به زئوپلانکتون های دریایی نبوده و بطور کلی صافی خوارانی را شامل میشوندکه می توانند براحتی از ذرات ریز ساکن تغذیه نمایند.

[1] Spray-dried

۱-۱-۱۳) ارگانیسم های تک سلولی

ارزش بالای این ارگانیسم ها به علت تراکم بالای پروتئین هایی با کیفیت مطلوب (۵۰ تا ۸۰ درصد از وزن خشک) در آنهاست. آنها همچنین غنی از اسیدهای نوکلئیک و ویتامین ها هستند. تولید برخی از آنها به صورت صنعتی صرفه جویی قابل توجهی را در هزینه های کلان تولید بدنبال دارد.

۱-۱-۱-۱۳- مخمرها

انواع تجاری فراوانی از مخمرها بصورت زنده یا خشک شده به صورت اسپری وجود دارند که به عنوان منبع غذایی برای فیلتر کننده های تغذیه کننده از غذای زنده مورد استفاده قرار می گیرند. مخمر نان (*Saccharomyces cerevisiae*) بصورت زنده، گسترده ترین غذای مورد استفاده جهت تولید روتیفرهاست. در ژاپن، به منظور غنی سازی این مخمرها با اسیدهای چرب ضروری مورد نیاز ماهیان دریایی، آنها را در محیطی متشکل از روغن کبد ماهی مرکب با شیوه بخصوصی پرورش می دهند. مخمرهای خشک شده به صورت اسپری منبع پروتئینی خوبی را برای رشد آرتمیا فراهم می کنند. در این رابطه مخمرهای دریایی نیز می توانند مفید باشند که اگرچه مقدار اسیدهای چرب ضروری آنها بالاتر از مخمر نان است اما برای رفع نیاز لارو ماهیان دریایی کافی نیست از اینرو کاربرد آنها توسعه نیافته است.

۲-۱-۱-۱۳) جلبک ها

در حال حاضر، کلرلای آب شیرین[1] مهمترین گونه جلبکی تولید شده در مقیاس صنعتی (برای مصارف انسانی) است که به شکل قابل توجهی در آبزی پروری به شکل زنده یا خشک شده بصورت اسپری مورد استفاده قرار می گیرد. چون وجود جلبک های تک سلولی جهت حفظ ذخائر روتیفرها و شروع تولید انبوه ضروری است، قیمت آنها گران بوده و اغلب هچری ها به صورت خصوصی آن را پرورش می دهند. گونه های مورد استفاده در پرورش شامل *Pavlova lutheri* (۴ میکرومتر) و *Plathymonas suecica* (۱۰ میکرو متر) می باشند. پرورش جلبک از نظر تاسیسات اصلی و هم نیروی انسانی گران و پرهزینه است. به منظور نگهداری ذخائر به صورت تک گونه ای (نه الزاما بدون باکتری) پرورش جلبک در یک محیط استریل انجام می شود.

[1] freshwater chlorella

کنترل نور، درجه حرارت، تزریق CO_2 و تامین مواد معدنی و ویتامین های خاص ضروری است. جلبکها از نظر ترکیب بیوشیمیایی مرتبط با شرایط رشد بسیار متنوعند، اما با کنترل شدید شرایط پرورش می توان ترکیب شیمیایی و در نتیجه ارزش غذایی آنها را تا حد معینی تنظیم نمود. در صورت مساعد بودن شرایط اقلیمی، از طریق پرورش در استخرهای بزرگ و روباز امکان تولید انبوه با هزینه کمتر فراهم می شود. اما این روش مخاطره‌آمیز همیشه برای تامین نیازهای یک مرکز هچری مناسب نمی‌باشدکه تامین روزانه غذای زنده آن ضروری است.

۲-۱-۱۳) ارگانیزم های زنده حیوانی

غذای زنده حیوانی مورد استفاده در تغذیه لارو ماهیان عمدتاً شامل بی مهرگان می باشد. در هچری ها، این ارگانیزم ها از طریق جمعیت های نگهداری شده (روتیفرها، کپه پودها) یا از طریق سیست آرتمیا جمع آوری شده از باتلاق های شور تولید می شوند. منابع جایگزین دیگر شامل برداشت از ذخائر طبیعی(توده زئوپلانکتون ها ، تخم های ماهی یا لارو نرم تنان) می باشند.

۱-۲-۱-۱۳) پاروپایان

پاروپایان حاصل از زئوپلانکتون های دریایی بیشترین غذای زنده مصرفی در طبیعت را تشکیل می دهند. به این ترتیب، پاروپایان به عنوان یک منبع مهم با یک اثر مشخص بر پرورش لاروی مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجائیکه طول اولین ناپلیوس ۸۰ تا ۲۰۰ میکرومتر و بالغین ۱ تا ۵ میلی متر است، بنابراین گستره اندازه ها تامین کننده کلیه نیازها طی دوره رشد لاروی به میزان کافی می باشد. متاسفانه، به علت طولانی بودن روند تولید (۲۰ روز تا رسیدن به مرحله بلوغ) و ایجاد تراکم بیشینه با سرعت کم، حجم بالایی از تولید مورد نیاز است، بنابراین گونه های محدودی برای تولید انبوه مناسب می باشند. این قبیل واحدهای پرورش فشار زیادی را بر هچری ها اعمال می کنند. زمانیکه برداشت پاروپایان از طبیعت امکانپذیر است، می توان از آنها به عنوان یک منبع غذایی ثانویه با ارزش غذایی فوق العاده در هچری ها استفاده نمود.

پاروپایان گروه Harpacticoid مانند *Tigyriopus japonicus* از جمله رسوب خواران کف زی هستند که سرعت چرخه تولید مثلی آنها مشابه اشکال پلانکتونی است اما می توان آنها را با هزینه کمتر تغذیه نمود ضمن آنکه تراکم های بالاتر را تحمل می نمایند. امکان پرورش این ارگانیزم ها در اقلیم های کاملاً گرم در استخرهای روباز وجود دارد.

۲-۲-۱-۱۳) روتیفرها

در آبزی پروری سنتی ژاپن، به علت بالابودن سرعت تکثیر مارماهی و در نتیجه از بین رفتن کیفیت استخرهای پرورشی، در ابتدا روتیفرها به عنوان آفت محسوب می شوند. متعاقباً، از این قدرت تولید استثنایی به صورت مفید در توسعه پرورش ماهیان دریایی استفاده شد. نوع منحصربفردی از روتیفر متعلق به جنس Brachionus ، به علت ویژگی شورپسندی آن انتخاب شد که اندازه آن ۸۰ تا ۳۰۰ میکرومتر است (جدول۱-۱۳) و برای تغذیه اولیه بسیاری از گونه های ماهی مناسب می باشد. این روتیفر مدتها به عنوان یک گونه واحد *B.plicatilis* در نظر گرفته شده بود. در حقیقت دو نوع روتیفر با اندازه های کاملا متفاوت وجود دارد که در حال حاضر به دو گونه مجزای *B.plicatilis* (بزرگ) و *B.rotundiformis* (کوچک) اختصاص یافته‌اند. مهمترین نژادها برای آبزی پروری گونه هایی هستند که بتوانند تغییرات شدید محیط زیست را بدون فعال‌شدن چرخه تولید مثل جنسی آنها، تحمل کنند. تولید بالای این گونه ها متکی به تولید مثل از طریق بکرزایی است. در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، یک روتیفر ماده به تنهایی می‌تواند دو روز پس از تفریخ تولید مثل کرده و در حدود ۲۰ عدد تخم بگذارد. سرعت تولید مثل بویژه به تراکم افراد و تغذیه آنها بستگی دارد. در بهترین شرایط، می توان جمعیت را به بیش از ۲ برابر در روز افزایش داد. تقریبا تمامی نیازهای تغذیه ای براکیونوس به استثنای نیاز آنها به ویتامین B_{12}، ناشناخته است.

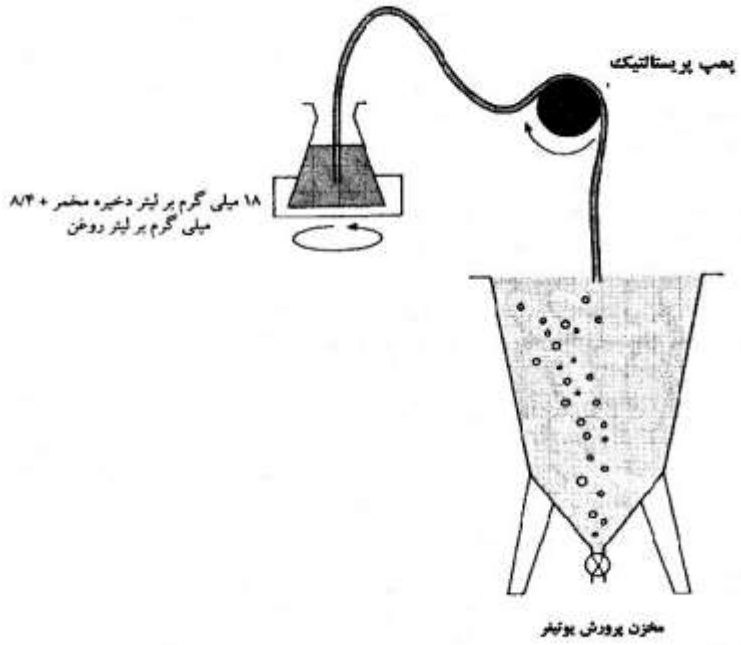
جمعیت ماده ها را می توان با افزودن مقادیر کمی جلبک به صورت دو بار در هفته، در تراکم پایین نگه داشت و به این صورت ذخائر را درحجم های کوچک نگهداری نمود. تولید از طریق پرورش مستمر نمونه هایی صورت می‌گیرد که به طور روزانه صید می شوند. در هچری ها این حجم از چند صد لیتر تا چند متر مکعب متغیر است. تکثیر روتیفرها از طریق معرفی کردن به داخل محیط پرورش جلبک با تراکم بالا (چند میلیون سلول در هر میلی لیتر) آغاز می شود.

جدول ۱-۱۳) وزن متوسط و اندازه طعمه مورد استفاده در تولید متراکم لارو

طعمه	وزن متوسط(میکرومتر)	طول(میکرومتر)	عرض (میکرومتر)
روتیفرها			
نوع S	۰/۱	۱٦٦	۱۲۲
نوع L	۰/٤٥	۲٦۲	۱۷۷
آرتمیا			
در مرحله تفریخ	۱/۹	٤٦۰	۱٦٤
غنی شده به مدت ۲٤ ساعت	۲/۰	٦۱۷	۱٦٤
تغذیه شده به مدت ٤۸ساعت	۳/٤	۸۹٥	۱۸۱

زمانیکه غلظت روتیفرها به بیش از ۱۰۰ عدد در هر میلی لیتر رسید، حجم بالاتری را می توان تلقیح نمود. رایج ترین غذا برای اهداف تولید، مخمر نان است که به میزان حدود ۲۰۰ میلی گرم (۶۰ میلی گرم از وزن خشک) در هر لیتر از محیط پرورش بصورت روزانه توزیع می شود. این مقدار غذا امکان نگهداری جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ عدد در هر میلی لیتر را همراه با جمع آوری یک چهارم از حجم پرورش به طور روزانه فراهم می کند. استفاده از روغن ماهی بصورت امولسیون همراه با مخمر، کیفیت روتیفر را بهبود می بخشد (شکل ۱-۱۳). اما این غذا در دوره طولانی همیشه کافی نبوده و به این ترتیب اضافه کردن جلبک ضروری است. زمانیکه پرورش جلبک در استخرهای روباز امکان پذیر است، می توان بذر پاشی مستقیم انجام داد که در این صورت به رغم پایین آمدن کیفیت کنترل، حجم های بیشتری قابل دسترس خواهد بود.

امروزه روشهای مختلفی برای پرورش روتیفرها در تراکم بالا(چند هزار عدد در هر میلی لیتر) پیشنهاد شده است. عامل اصلی محدود کننده رشد جمعیت و تراکم، پایین آمدن کیفیت آب به علت بالا بودن سطح مواد غذایی است. این محدودیت را می توان از طریق پایش همه جانبه و کنترل اتوماتیک دراز مدت سطح اکسیژن و pH محیط در پرورش های گروهی کوتاه مدت (ناپیوسته) یا از طریق سیستم مدار بسته در پرورش نیمه پیوسته به منظور حفظ کیفیت مطلوب آب با وجود سطح بالای غذای روزانه رفع نمود.



شکل۱-۱۳) نمایی از سیستم غذادهی روتیفر با استفاده از روش نیمه پیوسته (با تعویض یک چهارم حجم در روز) و تغذیه از امولسیون مخمر تازه و روغن

۳-۲-۱-۱۳) آرتمیا

جنس آرتمیا (سخت پوست آبشش پا) که پیش ازاین شامل یک گونه منحصر بفرد به نام *A.salina* طبقه‌بندی می شد، امروزه با استفاده از ویژگی های کروموزومی به چندین گونه تقسیم‌بندی شده است. این گونه ها به طور مجزا در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند و معمولا یک نام کلی در مورد آنها بکار می رود. این موجود با محیطهای خیلی شور سازگار بوده و تعداد زیادی سیست در بسیاری از باتلاق های شور و سایر محیطهای بسیار شور تولید می‌کند که در آن قادر به رشد است. سیست ها در حالت نهفته براحتی جمع‌آوری شده و در شرایط خشک در خلا نگهداری و فروخته می شوند. استفاده از سیست آرتمیا در هچری ها بسیار آسان است و می توان در شرایط مناسب آنها را تفریخ کرد بطوریکه لاروهای حاصله تحت عنوان ناپلئوس طی مدت ۲۴ ساعت، در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بوجود می آیند (جدول۱-۱۳). ناپلی ها باید قبل از استفاده از پوسته جدا شوند.

این کار از طریق ظرف به ظرف کردن یا الک نمودن در آب یا با استفاده از روشی بـه نـام کپسـول زدایـی انجام می‌شود که شامل انحلال پوسته ها در محلول هیپوکلریت (۲ درصد هیپوکلریت سدیم به مـدت ۷ تـا ۱۰ دقیقه) قبل از انکوباسیون تخم هاست. ناپلئوس را می توان بلافاصله به عنوان غذای زنده مـورد اسـتفاده قرار داد. با ادامه پرورش به مدت چند روز می توان طعمه بزرگتری را حاصل نمـود، ولـی ایـن کـار کمتـر عملی بوده و محدودیت زیادی دارد. تغییر رژیم غذایی زودهنگام (با وجـود غـذادهی مصـنوعی) نیـز نیـاز آرتمیای نابالغ را کاهش می دهد.

۲-۱۳- نیازهای تغذیه ای لارو

با استفاده از غذای زنده بررسی نیاز غذایی لاروها روش مناسبی نیست زیرا تولید غذای زنده آزمایشـگاهی با ترکیب کاملا کنترل شده و تغییر یک فاکتور به طور دقیق جز در مورد اسیدهای چرب، دشوار است. در حال حاضر نیاز ماهیان دریایی به اسیدهای چرب چند غیراشباع با زنجیره طولانی ($HUFA_s$) بـویژه EPA (C ۲۰:۵ n-۳) و DHA (C ۲۲:۶ n-۳) (فصل ۷، کادر ۱-۷)، بخوبی شناخته شده است.

از آنجائیکه مقدار HUFA را می توان در غذای زنده تغییر داد، اثرات مثبـت غنـی سـازی بـر بقـا، رشـد و مقاومت لارو در برابر استرس اثبات شده است. برآورد کمی نیازهـا بـا اسـتفاده از شـاخص هـایی از قبیـل مقدار کل اسیدهای چرب سری های n-۳، C۲۰ و C۲۲ انجام شده است. ایـن نیازهـا بـا توجـه بـه گونـه ماهی متغیر است، اما چنین تصور می شود که در لارو نسبت به ماهیان جـوان بـالاتر باشـد (بـه ترتیـب ۱/۳ درصد در مقابل ۰/۸ درصد از وزن خشک در کفشک). برآورد ایـن نیازهـا توسـط محققـان نیـز متفـاوت است. به این ترتیب، در سیم دریایی سر طلایی برآوردها از ۳ تا ۵۶ درصـد از مـاده خشـک متغیـر بـوده و بنظر می رسد که به روشهای بکار رفته در مطالعات بستگی دارد. علاوه براین، DHA نسبت به EPA بـویژه در رابطه با بقا و مقاومت در برابر استرس موثرتر باشد. DHA همچنین در تجمع رنگدانه ها در ماهیان پهـن دخالت دارد. نیاز اسیدهای چرب سری n-۶ هنوز مشخص نشده است، اما حضور اسید آراشیدونیک برای سنتز پروستاگلندین ها ضروری است.

اطلاعات دقیقی پیرامون سایر عوامل تغذیه ای، حداقل در مورد گونه های دریـایی وجـود نـدارد. در حـال حاضر نیاز این گونه ها به ویتامین C در حال مطالعه است. به همین دلیل هنوز ارزش غذایی غذاهای زنده

عمدتاً از طریق نیازهای برآورد شده برای ماهیان جوان یا از طریق داده های حاصل از لارو ماهیان آب شیرین تخمین زده میشود که در آنها تغذیه از غذای ساکن امکان پذیر است.

۳-۱۳ - ارزش غذایی غذای زنده

کیفیت غذاهای زنده با توجه به تحت تاثیر قرار گرفتن از طریق عوامل محیطی و تغذیه ای در زمان مصرف شدن توسط لاروها متفاوت است. عوامل مذکور کم و بیش قابل کنترل بوده و اختلافات بیوشمیایی ترکیبات بین هچری های مختلف و حتی در یک هچری قابل مشاهده است. طی مطالعات انجام شده پیرامون لاروها، تایید ترکیب و ارزش غذایی غذای زنده مصرفی، تنوع و احتمال بهینه سازی آنها، ضروری است. ارزش غذایی آرتمیا و روتیفر از طریق غنی سازی پیش از توزیع و مصرف برای تغذیه لاروها، قابل تغییر است.

۱-۳-۱۳) روشهای پرورش

به منظور استفاده از یک جیره نسبتا متعادل برای اصلاح ترکیب اسیدهای چرب و نیز رشد آرتمیا، پرورش به مدت حداقل ۲ روز ضروری است. این کار به پرورش در تراکم های پایین (۱۰ تا ۲۰ آرتمیا در هر میلی لیتر) نیاز دارد. روش های غذادهی، تنها در بوجود آمدن مقادیر چربی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد نقش دارند.

۲-۳-۱۳) روشهای غنی سازی

روش های غنی سازی در ابتدا با هدف افزایش ارزش غذایی غذای زنده بر حسب قابلیت هضم آن صورت گرفت. بدین ترتیب، انواعی از کپسول های زیستی حاوی مواد مغذی یا فرآورده های دارویی حاصل شد که قابل افزودن بودند. میزان حقیقی قابلیت هضم نامعلوم است اما بدون تردید برای تامین چربی کافی می توان از آنها استفاده نمود. غذای زنده ظرفیت قابل ملاحظه ای برای تامین چربی های مفید دارد.

غنی سازی با استفاده از حمام مواد مغذی یا استفاده از غذای سرشار از چربی انجام میشود که در آن امولسیون روغن، مقادیر بالایی از اسیدهای چرب ضروری را تامین می کند. فرآورده های تجاری و آزمایشگاهی مختلفی برای این اهداف ایجاد شده اند. امروزه ثابت شده که غنی سازی کوتاه مدت (نیم ساعت) بر آرتمیای نابالغ و نیز روتیفرها موثر است. ناپلی آرتمیا پس از تفریخ به دوره های طولانی غنی سازی (۲۴ ساعت) در تراکم بالا(۳۰۰ آرتمیا در هرمیلی لیتر) نیاز دارد. دوره ها شامل دوره قبل از رشد تا هنگام باز شدن دهان و دوره غنی سازی واقعی است. غنی سازی بیش از ۲۴ ساعت و با استفاده از امولسیون غنی از اسیدهای چرب ضروری متداول تر از روش کشت است. این روش منجر به ایجاد میزان بالایی از چربی های (۲۰ تا ۳۰ درصد از وزن ماده خشک غذای زنده) ایجاد کننده اسیدهای چرب ضروری می شوند که به چربی های پیشین اضافه می گردند. غنی سازی روتیفرها توسط اسیدهای چرب ضروری تقریبا ظرف مدت ۶ ساعت به حداکثر می رسد و غنی سازی جلبک های دریایی در بیش از ۲۴ ساعت در برخی هچری ها انجام می شود.

۳-۳-۱۳) انرژی

در واحدهای پرورش لارو که اندازه‌گیری دقیق میزان غذای خورده شده و قابلیت هضم از نظر فنی غیر ممکن است، در نظر گرفتن مفهوم انرژی کار دشواری است. وزن متوسط، ترکیب شیمیایی و همچنین انرژی موجود در غذای زنده با توجه به شرایط فیزیولوژیک آنها بسیار متغیر است. در اصطلاحات تغذیه‌ای، برآورد اصلی، برابر با مقدار انرژی غذای زنده در لحظه‌ای است که توسط لارو خورده می‌شود. این میزان متفاوت از مقداری است که هنگام توزیع برآورد می شود. غذای زنده هنگام قرار گرفتن در مخازن پرورش، ذخائر انرژی زای خود را مصرف کرده و بخشی از انرژی غذایی خود را از دست می‌دهد. بنابراین، توزیع غذای زنده باید با توجه به نیازهای کمی لارو و در جهت به حداقل رساندن تلفات غذایی، انجام شود.

٤-۳-۱۳) ترکیب چربی و اسیدهای چرب ضروری

مقایسه ترکیب اسیدهای چرب موجودات زنده مختلف که به عنوان غذای زنده مورد استفاده قرار میگیرند، با توجه به نوع ارگانیسم و روش های غذادهی (تولید یا غنی سازی) بیان می شود (جدول۲-۱۳). مقدار اسیدهای چرب سری n-۳ در پاروپایان معمولا بالاست و بنظر می رسد پاروپایان قادر به تجمع اسیدهای چرب بویژه دکوزاهگزانوئیک اسید(DHA) می باشند. در مقابل، مقدار اسیدهای چرب ضروری، همچنین نسبت دکوزهگزانوئیک اسید به ایکوزاپنتانوئیک اسید (DHA/EPA) در روتیفرها و آرتمیاها پایین است.

برخی محققان بر این باورند که اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع(HUFAs) پاروپایان دریایی مستقیما از فیتوپلانکتون های مصرف شده، منشا می گیرند. توان بالای برخی گونه های پاروپایان در طویل کردن زنجیره و کاهش اشباعیت اسیدهای چرب n-۳ به اثبات رسیده، اما این توانایی در روتیفر و آرتمیا بسیار پایین است.

روتیفرهایی که صرفا با مخمر نان تغذیه می شوند از نظر اسیدهای چرب بسیار غیراشباع کمبود داشته و ارزش غذایی آنها پایین است. در این حالت، روش های غنی سازی ضروری است. امولسیون روغن غنی از اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ را نیز می توان به مخمر مورد استفاده در تغذیه روتیفرها افزود. علاوه براین، استفاده از برخی غذاهای تجاری امکان پرورش روتیفرها را با مقادیر مناسب اسیدهای چرب ضروری فراهم می سازد. در صورت استفاده از جلبک های دریایی، نوع گونه و شرایط پرورش دو عامل تعیین کننده در میزان اسیدهای چرب آنها و روتیفرهایی است که از آنها تغذیه می کنند.

ترکیب آرتمیا در هچری ها با توجه به ویژگی محصول (محل و تاریخ برداشت) متغیر است. بطوریکه به غذای طبیعی مصرفی توسط آنها بستگی دارد. با توجه به ترکیب اسیدهای چرب، دو نوع آرتمیا مشخص می شود (شکل۲-۱۳) . نوع دریایی که نسبتا غنی از ایکوزاپنتانوئیک اسید(EPA) (مورد نیاز لارو یا حیوانات دریایی) است و نوع آب شیرین که غنی از اسید لینولئیک n-۳، ۱۸:۳است (که در لارو ماهیان آب شیرین می تواند به عنوان پیش نیاز ایکوزاپنتانوئیک اسید یا دکوزاهگزانوئیک اسید مورد استفاده قرار گیرد). در عمل، می توان لارو برخی ماهیان دریایی را با استفاده از ناپلی آرتمیای دریایی به طور موفقیت‌آمیز پرورش داد. هرچند، در این حالت حتی با وجود استفاده از بهترین گروه از سیست ها، گونه دریایی مقدار اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع پایین تری جهت رفع نیازهای لارو دارد.

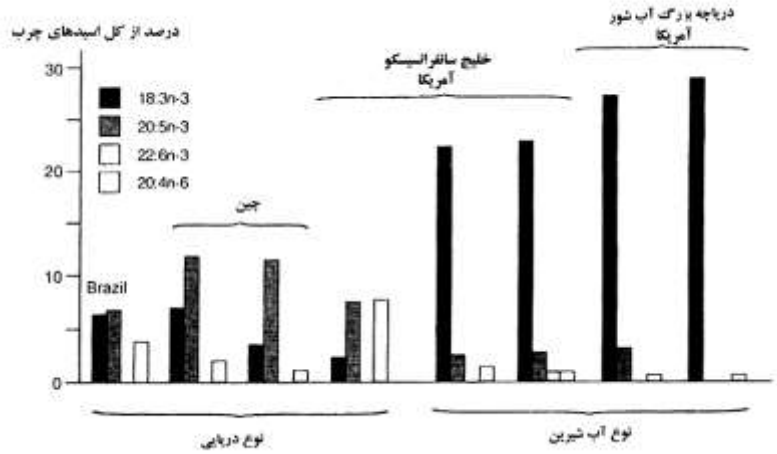
جدول۲-۱۳) ترکیب چربی (درصد ماده خشک) و اسیدهای چرب چند غیر اشباع مهم طعمه زنده

		روتیفرها (*Brachionus plicatilis*)				*Arrtemia sp.*		
		تغذیه شده با						
	کپه پودها (*Tisbe sp*)	مخمر	جلبک p.suecica	مخمر + Super Selco®	غنی شده با Super Selco®	ناپلئوس در مرحله هچ شدن	غنی شده به مدت ۲٤ساعت با Super Selco ®	تغذیه شده با مخمرو وغن کبد ماهی کاد طی ٤٨ ساعت
لیپیدها(درصد ماده خشک)	٥/١	١١/٨	٨/٥	٨/٥	١٨	١٨/١	٢١	١٨/٩
اسیدهای چرب (درصد ماده خشک)	٢/٤	٨	٥/٥	٦/٨	١٥	١٤/٤	١٥/١	١٤/٧
HUFA (درصد ماده خشک)	١/١	٠/٢	٠/٧	١/٤	٥/٧	٠/٥	٣/٣	٢/٥
FA (درصد ماده خشک)								
کل اسیدهای چرب اشباع شده	٢٠/٨	٢٠/٦	٢٣/٤	٨/٧	٩/٦	١٧/٧	١٣/٦	١٥/٢
کل ٧- n	١١/٢	١٥/٨	٥/٩	٢٦/٦	١١/٦	١٣/٤	١١	١٧/٨
کل٩ – n	٨/٥	٢٦/٨	٩/٤	٢٨/٨	١٩/٨	٢١/٩	١٨/٤	٢٩/٣
کل ٦- n	٥/٤	٢٢/٦	٢٩	٩/٩	٩/٣	٩/٨	٧/٦	٥
٦- n ٢: ١٨	١/٨	١٨/٦	١٨/٦	٧/٦	٧/٢	٨/٣	٥/٤	٣/٦
٦- n ٤: ٢٠	٢/٧	١/١	٥/١	١/١	١/٢	١/٤	١/٣	١/١
کل ٣- n	٤٤/٩	٦/٧	٢٥/٣	٢٤/٤	٤١/٧	٢٩/٤	٤٢/١	٢٤/٩
٣- n ٣: ١٨	٠/٤	٢/٩	٧/٢	١/٧	٢/٢	٢٢/٣	١٧/٨	٦
٣- n ٥: ٢٠	١٤/٧	١/١	٦/٢	١٠/٣	١٦	٢/٩	١٢/٧	١١/٧
٣- n ٥: ٢٢	tr	٠/٧	١/٩	٣/١	٣/٤	–	١/١	٠/٦
٣- n ٦: ٢٢	٢٩/٥	٠/٢	٠/١	٦/٦	١٦/٢	–	٧/٢	٤/٥

با وجودیکه دکوزاهگزانوئیک اسید از کارآمدترین اسیدهای چرب در لارو است، ولی باوجوداینکه در ناپلی تازه تفریخ شده وجود نداشته یا به مقدار خیلی کم وجود دارد. در نتیجه تامین مقادیر مورد نیاز از طریق غذادهی یا غنی سازی غذای زنده، ضروری است.

۵-۳-۱۳) ترکیب پروتئین

مقدار پروتئین غذای زنده بیش از ۶۰ درصد ماده خشک بوده که این میزان ممکن است از طریق غنی‌سازی با مقادیر بالای چربی کاهش یابد. نرخ رشد روتیفرها در محیط پرورش به شکلی قابل توجه با محتوای پروتئین آن رابطه مستقیم دارد.



شکل ۲-۱۳) اسیدهای چرب چند غیر اشباع مهم حاصل از نمونه های آرتمیا از منابع جغرافیایی مختلف

چنین تصور می شود که کیفیت پروتئین در غذای زنده رضایتبخش بوده و بخودی خود به مقدار جزئی قابل تغییر است. ترکیب اسیدهای‌آمینه گونه های مختلف مورد استفاده به عنوان غذای زنده تقریبا مشابه بوده و اسیدهای‌آمینه ضروری مورد نیاز ماهیان جوان را تامین می کند.

به دلیل جذب راحت تر اسیدهای‌آمینه آزاد،گاهی سهم آنها در زئوپلانکتونها به عنوان عامل کیفی برای لاروهای دارای دستگاه گوارش ناقص، در نظر گرفته می شود. مقدار اسیدهای‌آمینه آزاد در پاروپایان در محیطهای طبیعی یا پرورشی بیش از روتیفر و آرتمیاست و در ارتباط با آنها تکنیک های غنی سازی با پروتئین یا بصورت مخلوط (پروتئین و چربی) پیشنهاد شده است که از این طریق می توان مقدار اسیدهای‌آمینه آزاد را تعدیل نمود، البته اثر این غنی سازی بر عملکرد پرورش هنوز مشخص نشده است.

٦-۳-۱۳) مواد معدنی

اطلاعات کمی در رابطه با تاثیر مواد معدنی موجود در غذای زنده بر تغذیه لارو وجود دارد. اغلب تصور می شود که آب دریا از نظر ذخیره مواد معدنی غنی باشد. اما در پرورش متراکم، ذخیره مواد معدنی محدود بوده و به همین دلیل مزیت غنی سازی در این نوع پرورش به اثبات رسیده است. برخی اطلاعات در زمینه ترکیب آرتمیا از نظر مواد معدنی اصلی (ماکرو) و عناصر کمیاب وجود دارد که نشان‌دهنده تغییر این مقادیر با توجه به نوع ذخیره سازی است. پرورش روتیفرها اغلب وابسته به پرورش جلبکهاست که این جلبک ها نیز از طریق پرورش متراکم با تامین مواد معدنی ضروری، تولید می شوند (جدول۳-۱۳). محیط مورد استفاده تولید جلبک از یک هچری به هچری دیگر فرق می کند، بطوریکه برخی از آنها تامین کننده عناصر الیگو بوده و برخی علاوه بر اینکه این منابع را فراهم نمی کنند، حتی شرایطی را ایجاد می کنند که گنجاندن عناصر کمیاب را محدود می سازند. این عوامل ترکیب مواد معدنی موجود در روتیفرها را تحت تاثیر قرار می دهند.

جدول۳-۱۳) عناصر الیگو در غذاهای زنده گوناگون. روتیفرهای تولید شده با استفاده از جلبک یا مخمر و ناپلی آرتمیای تازه تفریخ شده(متوسط ذخائر مختلف بر حسب میلی گرم به ازای هر گرم از ماده خشک)

عناصر الیگو	جلبک/ مخمر	مخمر/ روتیفر	ناپلی آرتمیا
آهن	۲۱٦ ± ۵۲	۱۳۵ ± ٦۸	۲٦۵ ± ۹٤
روی	۳۸ ± ۲	۹۸ ± ۲۸	۲۱۸± ۵٦
منگنز	۱۹ ± ۲	۱۷ ± ۸	۱۵ ± ۵
مس	۱٤ ± ۳	۱۸ ± ۸	۱۲ ± ۷

۷-۳-۱۳) ویتامین ها

اطلاعات اندکی در مورد محتوای ویتامین غذاهای زنده مورد مصرف در آبزی پروری، وجود دارد. روتیفرها به ویتامین ها نیاز دارند که عمدتاً از طریق باکتری های مرتبط با محیط پرورش تامین می شوند. شرایط پرورش به همراه سطوح مطلوب اکسیژن بر سنتز ویتامین ها توسط باکتری های مربوطه اثر میگذارد. گرچه بنظر می رسد ورود مستقیم ویتامین های محلول در آب بی فایده است، غنی سازی غذای زنده با ویتامین های محلول در چربی و از طریق غذا، امکان پذیر است. به این ترتیب، به رغم اینکه انواع محلول در آب ارزش غنی سازی ندارند، ویتامین C را می‌توان به شکل پالمیتات آسکوربیل تامین نمود.

۸-۳-۱۳) آلوده‌کننده‌ها و مواد سمی

مطالعات مختلف نشان داده اند که ناپلی آرتمیای مورد استفاده در آبزی پروری حاوی ارگانوکلریدهای حاصل از حشره کش های مورد استفاده در محیط اطراف است. گمان می رود که این ترکیبات کیفیت لارو را تحت تاثیر قرار می دهند. بطورکلی، آزمایش های مقایسه ای تاثیر ذخائر آرتمیا در عملکرد پرورش لارو، عمدتاً مشابه سایر ویژگی ها از جمله ترکیب اسیدهای چرب ضروری است.

٤-۱۳- غذادهی عملی

۱-٤-۱۳) رفتار تغذیه ای لاروها

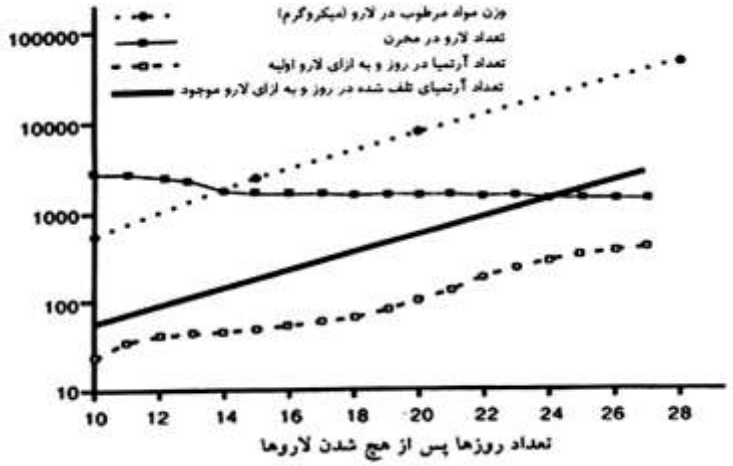
لارو به عنوان یک شکارچی، برای صید طعمه خود انرژی مصرف می کند و هر گونه تلاش بی‌نتیجه در صید میزان مصرف انرژی را افزایش می دهد. مطالعات بیشتری پیرامون این رفتار بخصوص با هدف بهینه‌سازی شرایط غذادهی لارو، صورت گرفته است. عوامل زیست محیطی حاکم بر مخازن پرورشی (از قبیل رنگ دیواره ها، نوردهی، جریان آب) میزان موفقیت لارو در صید و به دنبال آن موفقیت در پرورش را تحت تاثیر قرار می دهد. روش های توزیع غذای زنده در واحدهای پرورش عواقب مهمی بر کیفیت آن در لحظه مصرف شدن، بویژه مقدار انرژی، همچنین سطوح موثر غذادهی بهمراه دارد. نوع، تراکم و اندازه طعمه نسبت بین انرژی ذخیره شده توسط لارو و انرژی صرف شده برای صید آنها را تحت تاثیر قرار می دهد.

۲-٤-۱۳) اندازه و نوع طعمه

از نظر عملی، ترتیب غذادهی شامل جایگزین کردن انواع غـذا در طـول دوره رشـد اسـت، بطوریکـه طـی دوره رشد بین اندازه غذا و اندازه دهان هماهنگی ایجاد می شود. ورود زودهنگام ناپلی آرتمیـا (بزرگتـر از روتیفرها) زمانیکه لارو قادر به خوردن آنها است موجب افزایش سرعت رشد در لارو می شـود. بـه همـین ترتیب، مصرف نهایی آرتمیای نابالغ و غنی شده امکان ایجـاد نـوعی سـازگاری از نظـر انـدازه آرتمیـا بـا اندازه لارو را فراهم می سازد. مطالعه لارو کپور تغذیه شده با نژادهای مختلف آرتمیا نشان داده اسـت کـه نتایج رشد متناسب با اندازه و وزن ناپلی نژادهای مورد استفاده بوده و مشـخص شـده کـه بـرای ایـن گونـه ماهی ها، وجود اختلافات در ترکیب اسیدهای چرب آرتمیا اهمیتی ندارد.

۳-٤-۱۳) جنبه های کمّی

در پرورش متراکم، توزیع غذای زنده باید با دقت زیاد اعمال شود تا نیازهای روزانه لارو به طـور کامـل و دقیق برآورده شود. اما به علت سرعت نسبتا بالای مرگ ومیر در آغاز پرورش و عدم امکان شمارش دقیـق تلفات به علت ریز بودن لاروها، تعداد لارو در یک لحظه خاص را نمی توان دقیقا ارزیابی نمود. عـلاوه بـراین، در این مرحله رشد سریع بوده و میزان غذای توزیع شده باید متناسب با آن افزایش یابد(شکل۳-۱۳).



شکل۳-۱۳) مقدار آرتمیای غنی شده قابل مصرف توسط لارو کفشک در یک واحد پرورشی (مقیاس لگاریتمی)

رفع نیازهای کمی روزانه مطابق با دو اصل ذیل صورت می گیرد:

- ایجاد تراکم بهینه غذای زنده به منظور میسر ساختن امکان صید آنها توسط لارو
- جلوگیری از باقی ماندن غذای زنده پیش از مصرف شدن بصورت طولانی مدت در مخازن و در نتیجه کاهش ارزش غذایی آنها

روش توزیع غذای زنده به تکنیک های پرورش اعم از روش آب سبز یا شفاف، بستگی دارد:

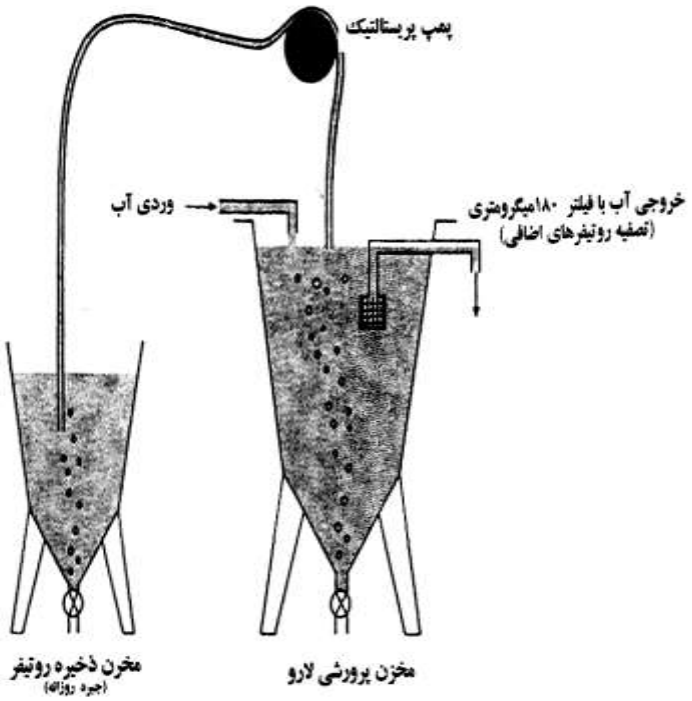
- در روش آب سبز[1](حاوی جلبک های فیتوپلانکتونی)، تراکم غذای زنده بواسطه ورود طعمه جدیدی که کمبود طعمه های خورده شده توسط لارو را جبران می کند، تقریبا ثابت نگه داشته می شود.

-در روش آب شفاف(تمیز)[2]، از روش تجربی بطور گسترده استفاده می شود. این روش شامل تعیین تعداد غذای زنده باقی مانده درمخازن پرورشی و پس از آن تنظیم توزیع بعدی با توجه به تعداد طعمه باقی مانده است که مطابق با یک برنامه از پیش تعیین شده صورت می گیرد. هدف از این روش به حداقل رساندن طعمه مصرف نشده در واحد پرورشی تا روز بعد است.

٤-٤- ١٣) مدیریت کیفیت غذای زنده در مخازن پرورش لارو

در واحدهای پرورشی با آب شفاف، طعمه در مخازن پرورش لارو به صورت مصرف نشده باقی می ماند. از روش های مختلفی می توان به منظور جلوگیری از افت ارزش غذایی استفاده کرد که از طریق توزیع چندین وعده در روز یا بواسطه توزیع مداوم طعمه با استفاده از پمپ از مخزن ذخیره طعمه، بهترین شرایط پرورش را ایجاد نمود(شکل۴-۱۳). طعمه هایی که قرار است توزیع شوند، در محیط غنی سازی یا سرد (در مورد ناپلی آرتمیا) نگهداری می شوند. در رابطه با توزیع مداوم، طعمه های اضافی به سمت جریان خروجی مخزن پرورشی انتقال داده میشود توسط یک فیلتر که تنها طعمه قادر به عبور از بین آنهاست، درحالیکه لاروها خارج نشده و در مخزن باقی می‌مانند.

[1] Green water technique
[2] Clean water technique



شکل٤-۱۳) نمایی از روش توزیع مداوم غذای زنده به مخازن پرورش لارو (در مورد روتیفر)

در روش آب سبز، چون طعمه ها قادر به تغذیه در مخازن هستند، امکان حفظ ارزش غذایی غذای زنده در سطح رضایتبخشی فراهم می شود و درهرحال، ترکیب بدن آنها تحت تاثیر جلبک های مصرفی بهبود می یابد. این پدیده در مورد روتیفر و پاروپایان موثر است، اما در رابطه با ناپلی آرتمیا حفظ کیفیت آن از طریق توزیع پیوسته یا جزئی (بصورت وعده های غذایی بیشتر) قابل تضمین است.

۵-۱۳ - کیفیت باکتریایی غذای زنده

۱-۵-۱۳) اهمیت باکتری ها در چرخه مواد غذایی

همه ارگانیسم های زنده موجود در یک زنجیره غذایی ساختنی به صورت ارادی به این زنجیره معرفی نمی شوند. باکتری ها بصورت اجتناب ناپذیر در داخل این زنجیره بوجود می آیند، مگر اینکه با روشهای

دقیق و تنها در شرایط آزمایشگاهی شرایط فاقد میکروب فراهم شود. در این کتاب نقش فلور میکروبی روده در تغذیه ماهی مورد مطالعه قرار نگرفته است، زیرا میزان آنها با توجه به رژیم غذایی و منطقه اقلیمی گونه های مورد بررسی از $۱۰^{۳}$ تا $۱۰^{۸}$ سلول در هر گرم از محتوای گوارشی، متغیر است. ملاحظه میشود که برای تمرکز آنزیم های باکتریایی حداقل $۱۰^{۷}$ سلول در هر گرم مورد نیاز است تا اثر قابل توجهی بر فرآیند گوارش داشته باشند. این تراز معمولا در واحدهای پرورش روتیفر بدست می‌آید که بین $۱۰^{۷}$ تا $۱۰^{۸}$سلول در هر میلی لیتر از محیط و حدود $۱۰^{۹}$ سلول در هر گرم از روتیفر یافت می شود. بنابراین، این امکان وجود دارد که باکتریها در تغذیه لارو نقش داشته باشند. این حالت یقینا در تغذیه شکارچیان فیلترکننده وجود دارد. برای مثال، باکتری سودوموناس غذای خوبی برای روتیفرهاست، بویژه این باکتری منبعی از ویتامین B_{12} را تشکیل می دهد.

۲-۵-۱۳) عملکرد پیچیده ویبریوها

ویبریوها عموما فلور غالب ماهیان دریایی را تشکیل می دهند، همچنین جنس سودوموناس نیز ممکن است به تعداد زیاد وجود داشته باشد. این باکتری ها همچنین فلور غالب موجودات زنده فیلترکننده را نیز تشکیل می دهند. ممکن است چنین تصور شود که اغلب این سویه‌ها بی ضرر یا حتی مفید باشند. اما ماهیت بیماریزایی برخی سویه ها از طریق ایجاد عفونت آزمایشگاهی به اثبات رسیده است. این وضعیت در مورد نوعی ویبریو فرصت طلب (*vibrio splendidus*)وجود دارد که ممکن است به سطوح بیش از $۱۰^{۹}$ سلول در هر گرم از لارو کفشک رسیده و منجر به تلفات سریع آنها حدود ۳۰ ساعت پس از شروع عفونت شود. این سویه ها در صورت عدم عفونت زایی در شرایط آزمایشگاهی تنها زمانی قدرت بیماریزایی خود را نشان می دهند که لاروها به علت شرایط نامساعد پرورش ضعیف شده باشند.

۳-۵-۱۳) پیشگیری

به منظور جلوگیری از تکثیر ویبریوهای نامطلوب، اعمال اقدام پیشگیرانه اولیه ضروری است که از جمله این اقدامات شامل جلوگیری از پرورش لاروهایی است که از تخم های با کیفیت نامطمئن تولید شده اند بنابراین، استاندارهای تعیین شده برای پرورش گونه ها باید با جدیت دنبال شوند.

اقدام پیشگیرانه دوم، بطورکلی محدود کردن تکثیر باکتری هاست. با وجود تراکم نگهداری در سطح بالا(۳۰۰ تا ۴۰۰ عدد در هر میلی لیتر) و انتقال منظم آنها به مخازن کاملا تمیز همراه با محیط کشت جدید، اعمال توجه خاص جهت تمیز نگهداشتن محیط پرورش روتیفر ضروری است.

غنی سازی غذای زنده با اسیدهای چرب ضروری نباید با استفاده از مقادیر زیاد روغن ماهی یا در یک دوره خیلی طولانی انجام شود. امولسیون روغن حاوی لسیتین به عنوان یک عامل تکثیر ویبریو عمل میکند. توزیع پیوسته روتیفرها طی ۲۴ ساعت همراه با ۸ میلی گرم امولسیون روغن در هر لیتر از محلول غنی سازی، کافی است. روش دیگر که مدت غنی سازی را تا ۶ ساعت کاهش می دهد، استفاده از ۵۰ میلی گرم امولسیون روغن در هر لیتر است.

٤-٥-١٣) تیمارهای اختصاصی

امروزه از آنتی بیوتیک ها در هچری های نرم تنان و سخت پوستان استفاده می شود. اگرچه این مواد گاهی برای اهداف آزمایشگاهی بکار می روند، اما باید از مصرف آنها در واحدهای پرورش لارو ماهی جلوگیری کرد تا خطر پیدایش نژادهای بیماریزای مقاوم به حداقل برسد. در مزارع پرورش ماهی، استفاده از آنتی بیوتیک ها باید صرفا برای درمان بیماری های عفونی ماهیان پرواری اختصاص یابد. روش درمانی پیشنهاد شده دیگر، استفاده از پروبیوتیک هاست. این مواد حاوی سلول های قابل رویش، معمولا اسپورهای باکتری های اسید لاکتیک یا باسیلوس است(فصل ۱۸). این باکتری ها قادر به رشد در محیط پرورش نبوده و باید دائما یا مستقیما به محیط تولید یا از طریق محلول غنی سازی (در حدود $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی در هر میلی لیتر آب در روز) اضافه شوند. تا به حال استفاده از آنها هنوز به صورت آزمایشی بوده و در این رابطه نتایج مثبتی مشاهده شده که با توجه به نوع تولیدات متفاوت است. از جمله آنها بهبود در تولید روتیفر یا افزایش سرعت رشد لارو کفشک، همچنین محدودیتهایی در تکثیر ویبریوها می باشد. در موارد بروز عفونت آزمایشگاهی، پروبیوتیک ها می توانند باعث بهبود بقای لارو کفشک شوند.

باکتری های اسید لاکتیک به طور طبیعی در فلور روده ماهی وجود دارند. بیش از $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی را در هر گرم از دستگاه گوارش گونه ای از ماهی سیم می توان شمارش کرد و بطور طبیعی بیش از $۱۰^{۴}$ سلول لاکتیکی در هر گرم از لارو کفشک یافت می شود.

برخی سویه‌های جداسازی شده که به عنوان پروبیوتیک و به صورت روزانه به تعداد 10^7 سلول در هر میلی لیتر از محلول غنی سازی وارد شده اند، موجب ایجاد تراکم 10^7 تا 10^8 سلول در هر گرم از لارو می شوند. فلور اسید لاکتیک می تواند بصورت سد موثری از تلفات لاروهای بیمار بکاهد. برخی سویه های باکتری های اسید لاکتیک جدا شده از فلور ماهی، قادر به ترشح موادی هستند که از رشد ویبریوها جلوگیری می کنند. به منظور تعمیم مطالعات آزمایشگاهی به آبزی پروری عملی هنوز تلاشهای بیشتری مورد نیاز است و باید آنها را از نظر عملی بررسی نمود، البته بنظر می رسد که این ذخائر امتیاز بزرگی برای کنترل توازن باکتریایی در واحد های پرورشی باشند.

۶-۱۳ - نتایج

در حال حاضر روش های بهبود ارزش غذایی روتیفر و آرتمیا، امکان غذادهی موثرتر لارو ماهی و تولید ماهیان جوان با کیفیت مطلوب تر را فراهم می کند. اختلافات زیادی بین گونه ها وجود دارد. یک ماهی مقاوم نظیر سیم دریایی، از بازماندگی بیش از ۹۰ درصد در پایان ماه اول برخوردار است. در حالیکه در مورد گونه های حساس تر نظیر کفشک، بازماندگی ۲۰ تا ۳۰ درصد، در حد مطلوب در نظر گرفته میشود. برای اکثر گونه هایی که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند، سهم ماهیان جوان برای رشد در مراکز پرورشی زیاد است. هزینه های تولید هنوز بالا است و باید کاهش یابد. علاوه بر این، روش های امروزی امکان تولید گونه های جدید را با حداقل بررسی پیرامون سازگاری آنها از طریق پرورش فراهم می کند. با این وجود رسیدگی به دو مسئله ضروری است:

- غذادهی و تولید ماهیان جوان بشدت به تامین سیست آرتمیای تولیدی از محیط طبیعی برای هچریها وابسته است. در حال حاضر با وجود کمبود سیست در شرایط اقتصادی خاص کنونی همراه با افزایش آبزی پروری در سطح جهانی، در صورت عدم جایگزینی آن با غذایی دیگر، مسئله کمبود سیست به یک مسئله مهم و اساسی تبدیل خواهد شد.
- ماهیان جوان تولید شده از طریق پرورش متراکم اغلب معایبی دارند که ظاهراً ناشی از شرایط غذادهی یا پرورش در دوره لاروی است، البته عوامل تعیین کننده هنوز شناسایی نشده اند. به منظور بهبود کیفیت همراه با افزایش نیاز، تعداد این نارسایی ها نیز بایستی کاهش یابد.

۷-۱۳ - خلاصه

در حال حاضر، به رغم تعداد اندک گونه های پلانکتونی مورد استفاده برای ساماندهی مجدد سطوح اولیه زنجیره غذایی، امکان تولید غذای زنده در تمامی اندازه های مورد نیاز وجود دارد. ارزش غذایی آنها اندکی متفاوت بوده و اغلب برای شروع کافی نیست اما می توان آن را بویژه از نظر محتوا تا حد زیادی اصلاح نمود. استفاده از این تکنیک ها عملکرد هچری ها را از لحاظ عملی تضمین می کند. اما با توجه به رشد بی‌وقفه آبزی پروری، استفاده از این تکنیک ها حتی در مقیاس متوسط، حداقل در مورد گونه‌هایی با لارو کوچک ، امکان پذیر نیست و بنظر می رسد استفاده از روش های کاملا متفاوت اجتناب‌ناپذیر باشد که مستلزم افزایش استفاده از غذاهای غیر زنده است.

«فصل ۱۴»

خوراک ساختنی برای تغذیه لارو

در پرورش متراکم ماهی آزاد، چرخه کامل تولید بچه ماهی تا ماهی مولد بر مبنای توزیع غذاهای خشک به شکل خرد شده یا پلت استوار است بطوریکه تمام نیاز غذایی ماهی برای رشد و تولید مثل را فراهم می کنند. به علت ذخیره سازی و توزیع راحت، این غذاها جایگزین غذای زنده و غذاهای تازه یا مرطوب مورد مصرف در گذشته شده اند. در این رابطه آنچه در مورد آزاد ماهیان وجود دارد، یک قاعده کلی نیست. در مورد بسیاری از گونه ها و بویژه گونه های دریایی، تنها ماهیان جوان یا بالغ را می توان با غذای خشک پرورش داد. لارو این گونه ها که وزن بدنشان در حدود یک میلی گرم است، نه صد میلی گرم مثل لارو ماهی قزل آلا ، باید با غذاهای زنده نظیر روتیفر و ناپلی آرتمیا تغذیه شوند(فصل۱۳). به علت مشکلاتی که پیش از این تشریح شد (فصل ۱۲)، این لارو را پس از چند هفته می توان از غذای زنده به سمت جیره غذایی دستی تغییر رژیم داد. وضعیت در سایر مراحل پرورش، مشابه پرورش آزادماهیان است.

طی ۲۰ سال گذشته مطالعاتی به منظور کاهش دوره تغذیه لاروها با غذای زنده، درک بهتر رفتار و فیزیولوژی لارو و بهبود در تنظیم فرمول ذرات ریز غذایی، صورت گرفته است. در این فصل امکان بالقوه و محدودیت های موجود در زمینه استفاده از جیره های غذایی دستی در تغذیه لارو ماهیان آب شیرین و دریایی به تفصیل بیان شده است.

۱-۱٤ شرایط استفاده از غذاهای دستی

۱-۱-۱٤) روش های تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای ساختنی

سن تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای ساختنی به میزان قابل توجهی به نوع گونه بستگی دارد. همچنین بنظر می رسد که این زمان بیشتر به اندازه لارو و روش های پرورش نسبت به مرحله فیزیولوژیک خاص، وابسته باشد. در مورد کپور در مدت چند سال اندازه لارو در اولین مرحله غذادهی با غذای ساختنی از ۵۰ میلی گرم به حدود ۲ میلی گرم تغییر یافته است. اگرچه این دسته از غذاها هنوز هم نرخ رشد پایین تری را موجب می شوند، اما مشابه غذای زنده، بازماندگی مناسبی (بیش از ۹۰ درصد) را بهمراه دارند. این حالت همچنین در سایر گونه های آب شیرین برقرار می‌باشد که وزن بدن لارو هنگام اولین گشایش دهان بین ۵ تا ۱۰ میلی گرم (ماهی سفید، ماهی اسبله) یا بیشتر (نوعی آزاد ماهی به نام gray ling) است. در این گونه ها، ناپلی آرتمیا در طی دوره یک یا دو هفته ای نرخ رشد ویژه بالاتری را نسبت به غذای مصنوعی فراهم می کند، اما پس از آن هر دو نتایج مشابهی در پی دارند.

در ۱۰ سال گذشته پیشرفت چشمگیری در زمینه تغذیه برخی ماهیان دریایی نظیر باس دریایی و کفشک ماهی صورت گرفته که لاروهای آنها در وزن ۰/۲تا ۰/۵ میلی گرم شروع به تغذیه می‌نمایند و کاهش سن تغییر رژیم غذایی از ۶۰ روز به ۳۰ تا ۴۰ روز تحت تاثیر شرایط پرورش امکان‌پذیر بوده است. افزایش چشمگیر در بقا بویژه رشد بر اثر استفاده از غذاهای مخصوص نیز مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، متوسط وزن ۲ گرم در باس دریایی یک ماه زودتر (۳ ماه به جای ۴ ماه) حاصل می شود که این موضوع اثر قابل توجهی بر جنبه های اقتصادی مرحله نگهداری ماهیان در هچری دارد. مشخص شده که در گونه‌های مشابه و در شرایط آزمایشگاهی می توان غذای دستی را حتی زودتر از ۲۰ روزگی لاروها مورد استفاده قرار داد، بدون اینکه بازماندگی کاهش یابد، اما تاخیر ناچیز قابل قبولی در رشد ایجاد می شود که بیش از یک هفته در یک دوره ۳ ماهه نخواهد بود. امروزه تغییر رژیم غذایی لارو با وزن ۲ تا ۳ میلی گرم حداقل تحت شرایط آزمایشگاهی امکان‌پذیر است. این وزن در سنین متفاوت با توجه به گونه و شرایط متفاوت ایجاد می شود (جدول۱-۱۴).

جدول ۱-۱٤) تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای دستی در برخی از ماهیان دریایی

نتایج	غذای ساختنی	سن پس از هچ	وزن بدن	طول کل	گونه
خوب	۱۰۰	۵	۰/۲	٤	باس دریایی
خوب	۱۰۰	۲۰	۳	۹	سیم دریایی سرطلایی
خوب	۵۰	۳	۰/۱	۳	
خوب	۵۰	۲۵	۱	۷	
خوب	۸۰	۲۰	–	–	
متوسط	۱۰۰	۲	۰/٤	٤	نوعی کفشک ماهی(Sole)
خوب	۱۰۰	۱۰	۳	۷	
خوب	۱۰۰	۱۰	۳	–	
متوسط	۱۰۰	٤	۰/٦	٤	کاد
خوب	۹۰	۱۰	–	٤	شانک دریایی قرمز
خوب	نسبی	۵	۰/۲	۳	باس کانالی
متوسط	۱۰۰	۲	–	۲	باس دریایی مناطق گرمسیری
خوب	نسبی	–	–	–	

تغییر رژیم غذایی را با استفاده از چند روش می توان انجام داد:

-از طریق اعمال یک مرحله غذادهی حدواسط با استفاده از زئوپلانکتون های منجمد یا منجمد خشک که حدواسط بین ناپلی آرتمیا و غذای دستی خواهند بود. زئوپلانکتون های منجمد در قالب هایی از یخ نگهداری شده و مستقیما در مخازن پرورش قرار داده می شوند و به محض ذوب شدن یخ، طعمه آزاد می گردد. به این منظور اغلب پاروپایان ساکن در مرداب ها یا استخرها جمع آوری می شوند. همچنین آرتمیای بالغ نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

-توزیع همزمان غذای زنده و غذای خشک در یک دوره یک تا چندهفته ای . غذادهی مخلوط را می توان خیلی زود و پیش از رسیدن وزن لارو به چند میلی گرم آغاز نمود. غذاهای زنده ای شامل براکیونوس و آرتمیا ممکن است ۱۰ تا ۵۰ درصد از جیره روزانه را تشکیل دهند.

-روش دیگر شامل استفاده از روش هایی مشابه موارد مذکور است اما همپوشانی غذای زنده و غذای خشک به دو یا حتی یک روزکاهش می یابد. این روش همگنی مطلوب تر اندازه لاروها را در داخل جمعیت تضمین می کند.

۲-۱-۱٤) روش های توزیع

تغذیه بیش از حد لاروها و آلوده کردن محیط پرورش، از مسائلی است که باید از وقوع آنها جلوگیری نمود.

همانند غذای زنده، ذرات غذایی را باید به میزان زیادی در محیط لارو عرضه کرد. ذرات کوچک در ابتدا شناور بوده و سپس به دنبال مسیری که به جریان آب بستگی دارد به کف استخر سقوط می کنند. معمولا لاروها علاقه ای به ذرات غوطه ور یا ذرات قرار گرفته در کف ندارند بلکه تنها به سمت ذراتی جذب می شوند که در اطراف آنها شناورند. به منظور حفظ تراکم کافی ذرات معلق، باید تعداد وعده‌های غذایی افزایش و دوره غذادهی روزانه گسترش یابد بنحویکه کل روز را در بر گیرد. لاروها تنها بخش کوچکی از ذخائر بدن خود را مورد استفاده قرار داده و نسبت به گرسنگی و تغذیه بسیار حساسند. توانایی رشد بالاتر آنها نسبت به ماهیان جوان فقط در شرایطی آشکار می شود که میزان مصرف نیز بر حسب درصدی از وزن بدن بسیار بالاتر از ماهیان جوان باشد. این در حالیست که لاروها بر خلاف ماهیان بزرگ، نمی توانند جیره روزانه خود را تنها در دو یا سه وعده مصرف کنند. زمان باقی ماندن غذا در دستگاه گوارش بسیار کوتاه و نظیر ماهیان بزرگ ۱۰ساعت طول نمی کشد و معمولا حدود یک ساعت است.

بنابراین، در شرایط عملی و با در نظر گرفتن ضایعات اجتناب ناپذیر، افزایش غذادهی مستمر توصیه می‌شود. استفاده از غذاده چرخان یا نوار نقاله تقریبا ضروری است. همچنین غذادهی تکمیلی توسط دست، بویژه در چند روز اول پس از تغییر نوع غذا مفید است زیرا رفتار لارو نسبت به غذا را می توان مشاهده نمود.

۳-۱-۱٤) انطباق دستگاههای پرورشی

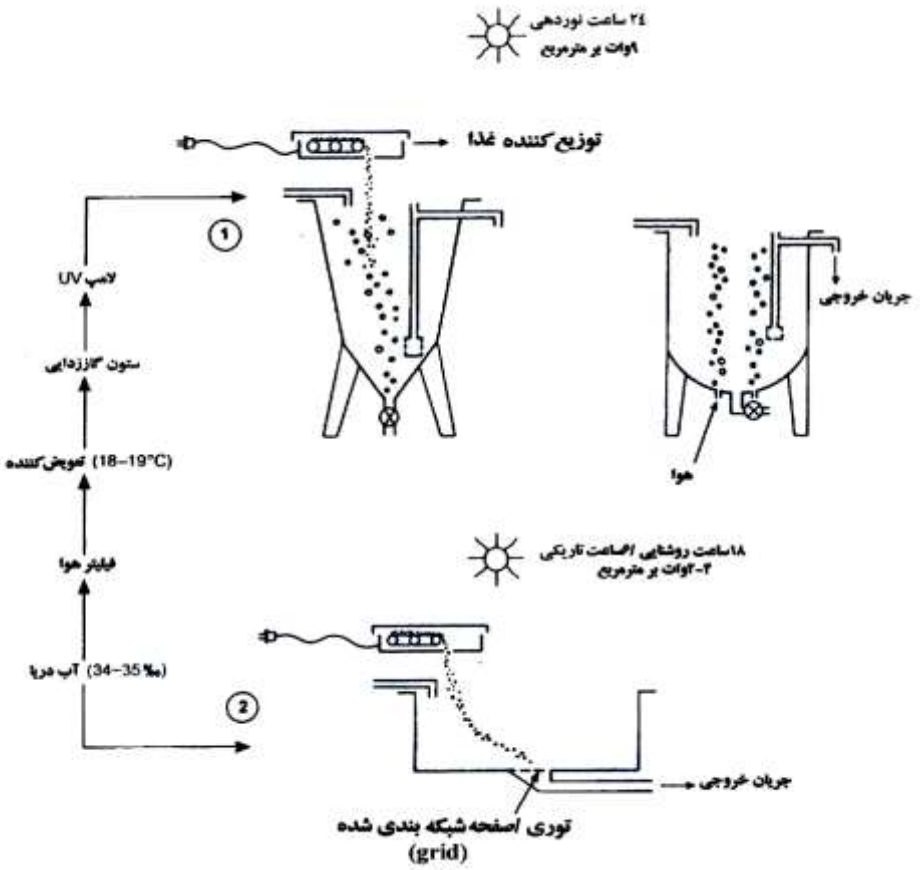
خطر آلوده کردن محیط در رابطه با غذاهای خشک یا مرطوب بیش از غذای زنده است. این خطر بخصوص هنگام استفاده از ذرات خرد شده، به علت انحلال سریعتر در آب در زمان بالا بودن دما، افزایش می یابد. از جمله خطرات شامل تکثیر میکروارگانیسم ها، مسدود کردن فیلترها و از دست رفتن کیفیت آب است. حساسیت لاروها نسبت به حضور آمونیاک، نیتریت و کمبود اکسیژن بیشتر از ماهیان جوان است.

اغلب مخازن سنتی پرورش ماهی که برای پرورش ماهیان جوان مورد استفاده قرار می گیرند کم عمق و دارای کف مسطح بوده و یک خروجی مرکزی دارند که برای پرورش لارو مناسب نیست. ساختار مخازن مورد استفاده در تغییر رژم غذایی باید متناسب با توزیع غذای دستی و با در نظر گرفتن رفتار لاروی باشد که نسبت به حرکات آب بسیار حساسند. غذادهی اولیه لارو ماهیان دریایی، اغلب در تانکهای عمیق با کف نیم دایره ای یا مخروطی شکلی صورت می‌گیرد که تجمع و جمع آوری بهتر مواد دفعی را ممکن می سازد(شکل۱-۱۴). متناسب با نیاز هر گونه در هر مرحله رشد راهکارهای متفاوتی پیشنهاد شده است. انتقال دوره ای لاروها از یک مخزن کثیف به مخزن تمیز، محیط پرورشی دوار، فیلترهای خروجی با قابلیت جابجایی و مکان هایی برای جمع‌آوری مواد دفعی، از جمله این موارد است. هر دستگاه از مخازن پرورش دوتایی تشکیل شده که برای پرورش لارو کپور مورد استفاده قرار گرفته و امکان انتقال اتوماتیک لاروها را از مخزنی به مخزن دیگر فراهم می کنند(شکل۲-۱۴).

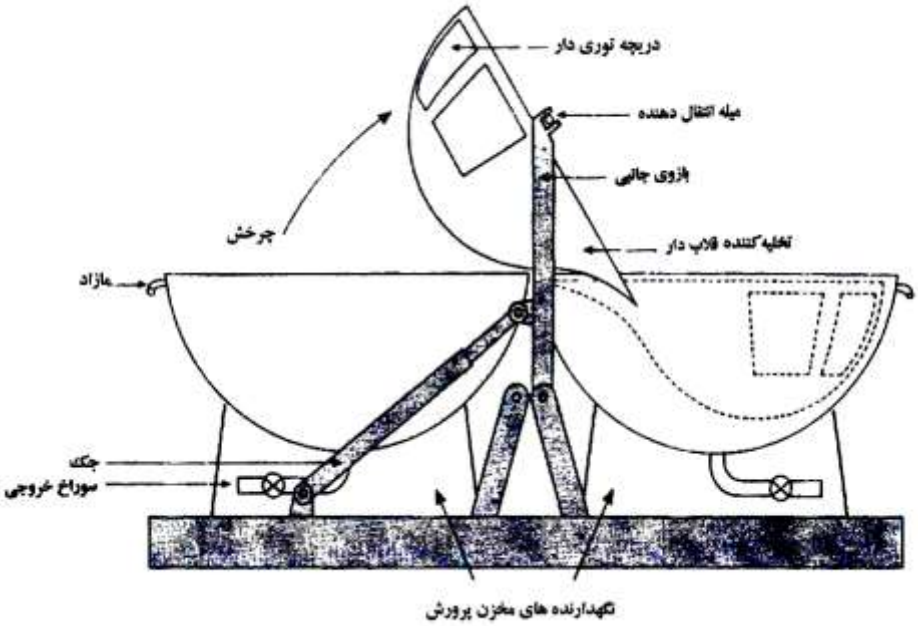
۲-۱٤ - ویژگی های غذای ساختنی در مرحله تغذیه لاروی

۱-۲-۱٤) اهداف و محدودیت ها

هدف، وادار نمودن لارو به گرفتن ذرات غذایی در کوتاهترین زمان ممکن است. هر چه حیوان جوان تر باشد، باید این زمان کوتاهتر شود. همچنین در شرایط پرورشی لازم است که شناسایی، گرفتن و خوردن ذرات فراهم گردد. محرک های بینایی و شیمیایی نیز با اهمیت‌اند زیرا میزان جذب غذای ساختنی را تحت تاثیر قرار می دهند. ذرات غذایی بایستی در اندازه مناسب تنظیم شده و پایداری آنها در آب بگونه‌ای باشد که در داخل روده تجزیه شوند اما در آب حل یا متلاشی نشوند.



شکل ۱-۱٤) نحوه تغییر رژیم غذایی در ۱- لاروها ۲- ماهیان جوان دریایی



شکل۲-۱٤) نحوه پرورش لارو کپور با مکانیسم انتقال اتوماتیک(Charlon, 1990)

بنظر می رسد که لاروها بیشتر از طریق بینایی محل ذرات غذایی را پیدا می کنند. در اغلب گونه‌ها از قبیل باس دریایی، کفشک ماهی پیش از مرحله دگردیسی، سوف رودخانه ای و اردک ماهی زرد، لارو از طریق نمایش حالت ویژه ای که شامل پیچاندن بدن خود به شکل S قبل از جهیدن به سمت طعمه است به طرف ذرات مورد علاقه خود حرکت می کند. دهان خیلی سریع باز شده که موجب مکیده شدن حجم قابل توجهی از آب که در برابر حیوان وجود دارد به داخل دهان وارد شده و طعمه به این طریق توسط حفره دهان از محیط دریافت می شود. لاروها می توانند طعمه را قورت داده یا بیرون بیندازند. شرایط نوری (از قبیل شدت، طول موج، موقعیت منابع روشنایی و مشخصات فیزیکی داخل مخازن) در گرفتن ذرات غذایی توسط لارو مهم می‌باشند. لاروها نسبت به تفاوت بین غذا و محیط حساسند. برای شبیه‌سازی برخی ذرات غذایی غذاها به صورت ناپلی آرتمیا، می توان با کاربرد کانتاگزانتین آنها را به رنگ قرمز تغییر رنگ داد.

جاذب ها بویژه اسیدهای‌آمینه اغلب به غذا افزوده می شوند. حضور این مواد با تراکم پایین در آب تحریک اشتهای لارو را بدنبال دارد. این مواد بخصوص هنگام استفاده از غذای نیمه خالص اهمیت می یابند. از آن جمله، گلایسین،آلانین،آرژنین و بتائین مصرف ذرات غذا توسط لارو شانک دریایی را افزایش می دهند. عوامل موثر بر پذیرش یا عدم پذیرش غذاهای وارد شده به دهان بخوبی شناخته نشده اند. استحکام(سختی یا سستی)، بافت سطحی(نرمی یا زبری) و مزه احتمالا در این رابطه موثرند. هرچند، گاهی اوقات وجود حباب های هوا یا سیست های آرتمیا در محیط پرورش نشان می دهد که بعضی مواقع خوراک خیلی دقیق انتخاب نشده است.

۲-۲-۱٤) مشخصات فیزیکی

اندازه ذرات غذا باید با اندازه دهان لارو متناسب بوده وهمراه با رشد لارو افزایش یابد. بطورکلی، اندازه غذاهای مصنوعی باید کوچکتر از اندازه غذای زنده ای(آرتمیا، براکیونوس) باشد که جایگزین آن شده‌اند. این ذرات غذایی کمتر از غذای زنده در دهان و مری لارو تغییر شکل می دهند علاوه براین، در آب متورم شده وبا توجه به این مسئله اندازه آنها به هنگام خوردن باید مد نظر قرار گیرد. ذرات باید خیلی خوب و در حد اندازه بهینه تنظیم شوند. ذرات غذایی خیلی بزرگ و توده های غذایی چسبناک، مورد مصرف قرار نمی گیرند و منشا آلودگی محیط زیست می باشند. ذرات خیلی کوچک خاک ناشی از غذاهای پودر شده توسط لارو خورده نشده و آلودگی را تشدید می کنند. این حالت همچنین در مورد ذرات غذایی خرد شده ای که در آب متلاشی می شوند صدق می کند. ویژگی این سه نوع غذا در جدول ۲-۱۴ ارائه شده است.

ذرات از نظر ترکیب باید تا حد امکان همگن باشند تا کیفیت غذای داده شده در هر وعده از نظر تغذیه‌ای متعادل شود. این موضوع از دشوارترین نکات در تغذیه لاروها، بخصوص زمانی می‌باشدکه خیلی کوچکند. ذرات اجزا سازنده غذای دستی باید کوچکتر از ذرات غذا باشد. تفکیک اجزای غنی از پروتئین یا چربی به ذرات مجزا موجب بروز تغییراتی در چگالی و متعاقب آن تفاوت در رفتار این ذرات در آب می شود. استفاده از یک جیره غذایی نا متعادل، تغذیه لاروهایی که فقط ذرات خاصی را می بلعند را با خطراتی مواجه می سازد.

جدول۲-۱٤) ترکیب برخی غذاها هنگام تغییر رژیم غذایی به تغذیه دستی

شروع مصرف (تعداد روز پس از هچ شدن)					
غذادهی مخلوط	خوراک به تنهایی	مقدار چربی (درصد ماده خشک)	مقدار پروتئین (درصد ماده خشک)	اندازه (میکرومتر)	
۱۰-۱۵	-	۲۰-۲۵	٦۰-٦۵	۵-۱۰۰	جایگزینی با روتیفر
۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۲۰-۲۵	٦۰-٦۵	۱۰۰-۲۰۰	جایگزینی با آرتمیا
-	۳۰-٤۰	۱۲-۱۵	۵۲-۵۵	۲۰۰-٤۰۰	غذای خرد شده

۳-۲-۱٤) روش های ساخت

ذرات غذایی بزرگتر از ۱۰ میکرون که در پرورش آزادماهیان نیز استفاده می شوند برای لاروهایی توزیع می شوند که وزن آنها بیش از ۳۰ تا ۱۰۰ میلی گرم باشد. این ذرات از طریق خرد کردن یا الک کردن پلت های درشت تر تولید شده توسط دستگاه پلت زن یا اکسترود، حاصل می شوند و با استفاده از ذرات معمولی تهیه می‌شوند که قبلا توسط یک الک ۱۵۰ میکرونی الک شده و احتمالا با جاذب ها غنی شده‌اند.

ذرات بین ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون که ذرات ریز نامیده می شوند و به کوچکترین لاروها اختصاص می یابند، به روش های ساخت ویژه ای نیاز دارند. ذرات معمولی بواسطه کیفیت غذایی و اندازه خود مناسب نیستند، زیرا این ذرات در ابعاد کوچک به اندازه کافی همگن نبوده و در آب دوام کافی ندارند. حداقل سه روش ساخت به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار می گیرد(شکل ۳-۱۴):

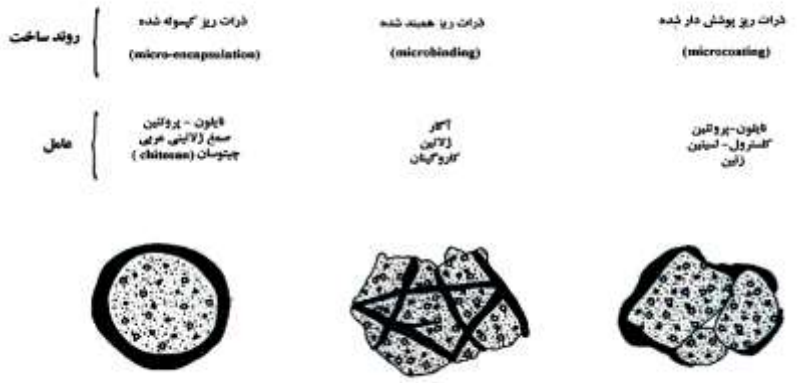
- **ذرات ریز همبند شده**[1]**:** اجزا سازنده، بصورت محلول یا به صورت ریز الک شده و در یک محیط آبدار با یک عامل همبند هیدرات‌کربنی (کاراگینان[2] و آلژینات[3]) یا پروتئینه (ژلاتین و زئین) مخلوط می شوند.

[1] Microbinding
[2] caragheenan
[3] Alginate

این عوامل مواد محلول را در خود نگه داشته و مواد غیر محلول را به یکدیگر می چسبانند. ماده حاصله خشک یا لیوفیلز شده، سپس خرد و الک می شود. این نوع ذرات معمولا براحتی جذب می شوند، ولی در آب دوام زیادی ندارند.

- **ذرات ریز پوشش دار شده**[1] : ذرات ریز درجه بندی شده با یک پوشش خارجی پوشیده میشوند. این پوشش ممکن است از طریق خیس کردن در یک محلول پروتئینی(کازئین و زئین) که سپس رسوب داده می شود یا از طریق گذراندن یک ماده چرب بر ذرات با استفاده از جریان هوای داغ، حاصل شود.

- **ذرات ریز کپسوله شده**[2] : این روش از نحوه عرضه داروها الهام گرفته و در اشکال بسیار متفاوتی وجود دارد. یک فاز مایع که عناصر غذایی محلول یا معلق در آن وجود دارد با یک فاز مایع امتزاج ناپذیر مخلوط می شود. یک لایه نازک غیر قابل حل بواسطه یک واکنش پلیمریزاسیون (برای مثال نایلون) یا بواسطه تفکیک دو فاز در حد فاصل آنها تشکیل می شود. ذرات حاصله معمولا پس از خشک شدن سطوح خیلی نرم و منظمی دارند. ضخامت و پیوستگی لایه نازک اطراف آنها بر مصرف آنها توسط لارو اثر می گذارد. پوشش ضخیم باعث می شود این ذرات در آب بصورت بادوام باقی بمانند، ولیکن گاهی غیر قابل هضم شوند.



شکل ۳-۱٤) ذرات ریز غذایی تولید شده با روش های مختلف جهت تغذیه لارو ماهیان

[1] Micro-coating
[2] Micro-enacapsulation

۳-۱٤ ترکیب ذرات غذایی

۱-۳-۱٤) نیازهای غذایی

نیاز غذایی لاروهای با وزن بدن کمتر از یک میلی گرم بطورکامل شناسایی نشده است. بر اساس ترکیب زرده، غذای زنده و لاشه لاروها، چنین فرض می شود که نیازهای پروتئینی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین ها در لاروها بالاتر از ماهیان جوان باشد. از سویی اثبات این فرضیه با استفاده از غذای زنده به علت عدم دسترسی راحت، دشوار است. مطالعات آزمایشگاهی موجود عمدتا نیازهای اسیدهای چرب ضروری n-۳ را مورد توجه قرار داده است (فصول۷ و۱۳) . این نیازها را می توان با انجام آزمایشهایی با افزودن سطوح متفاوتی از اسیدهای چرب چند غیر اشباع با زنجیره طولانی (HUFAs) سری n-۳ به غذای زنده مورد بررسی قرار داد که دچار کمبود این اسیدهای چرب است (براکیونوس پرورش یافته روی مخمر نان، آرتمیای آب شیرین با ترکیب اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع). نیازهای تعیین شده از این طریق و بر حسب ماده خشک غذا برای چندین گونه از ماهیان دریایی بالاتر(۱/۵ تا بیش از ۳ درصد) از نیاز ماهیان جوان (۰/۵ تا ۱ درصد) است.

در مورد لارو کپور با وزن ۱/۵ تا ۲ میلی گرم می توان تنها از جیره های نیمه خالص دارای منابع پروتئینی از قبیل کازئین، کازئینات سدیم و کازئین هیدرولیزات به عنوان اولین وعده استفاده نمود. این جیره های غذایی موجب رشد کمتر(رسیدن به وزن ۱۰۰ میلی گرم از ۲۱ روزگی به جای ۲۰۰ میلی گرم در صورت استفاده از جیره های غذایی ترکیبی)، ولی بازماندگی بیشتر (بیش از ۹۰ درصد) پس از سه هفته، میشوند. هنوز اصلاحاتی در جیره غذایی بخصوص در زمینه پروفیل اسیدهای‌آمینه مورد نیاز است که این امر در رابطه با لارو ماهیان دور از دسترس است، اما رویکردی در زمینه مطالعه نیازهای اسیدهای چرب ضروری و فسفولیپیدها ایجاد شده است.

لارو کپور ماهیان بر خلاف لارو ماهیان دریایی، نیاز کمی به اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ (کمتر از یک درصد وزن خشک غذا) دارند و نیازهای اسیدهای چرب ضروری سری n-۶ در آنها مشابه ماهیان جوان است(یک درصد وزن خشک بدن).

ظاهراً در تامین نیاز لارو کپورماهیان به فسفولیپیدهایی که با جیره غذایی حاوی ۲ درصد فسفولیپید میشود، فسفاتیدیل اینوزیتول نسبت به فسفاتیدیل کولین خالص نتایج بهتری در بازماندگی زمینه در پی داشته باشد. در این رابطه نحوه تامین نیتروژن نیز اهمیت دارد، مخلوطی از کازئین و کازئین هیدرولیزات از نتایج

بهتری در زمینه رشد و بازماندگی لارو نست به سایر اشکال آنها برخوردارند. مستقل از محتوای اسیدهای آمینه، معیارهایی نظیر حلالیت و درجه هیدرولیز پروتئین‌های جیره نیز باید هنگام تنظیم جیره غذایی مورد توجه قرار گیرند.

در مورد لاروهای چند میلی گرمی که قبلا با غذای زنده تغذیه شده اند، مطالعه نیازهای اختصاصی با استفاده از جیره های مصنوعی امکان پذیر است. نیازهای اسیدهای‌آمینه ضروری با پروفیل اسیدهای‌آمینه موجود در بدن برابرند (فصل۶). همچنین استفاده از غذای دستی پس از تغییر رژیم غذایی، امکان تشخیص نیازهای فسفولیپیدها را فراهم کرده است. در حال حاضراین نیاز تنها نیاز کمّی شناخته شده است که بین لارو و ماهیان جوان متفاوت است. ماهیان جوان دارای توانایی کافی برای سنتز فسفولیپیدها هستند، درحالیکه ظاهراً این توانایی در لاروها ضعیف است. اثر فسفولیپیدها بر بقا و رشد به معنی نیازی مطلق به کولین یا اینوزیتول و اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ یا n-۶ نیست. چنین بنظر می رسد که رفع این نیازها با ۲ تا ۳ درصد فسفولیپیدهای خالص همراه با فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اینوزیتول موثرتر از فسفاتیدیل اتانول آمین خواهد بود.

۲-۳-۱٤) رفع نیازها و انتخاب اجزای اصلی

در حال حاضر در مورد لاروهایی که از زمان تفریخ هنوز قادر به تغذیه با غذا های دستی نیستند، دانستن این نکته که آیا عوامل محدود کننده مقدار غذای خورده شده ناشی از قابلیت هضم غذا، اثرات کمبود مواد غذایی یا نبود تعادل بین اجزای غذایی است، کار دشواری است. هنگام تغییر رژیم غذایی از غذای زنده به غذای غیر زنده، چنانچه این تغییر بصورت زودهنگام صورت بگیرد، تلاش می شود تا به منظور جلوگیری از محدودیت های احتمالی از مواد خام گوناگون استفاده شود. از فرآورده های حیوانی خاصی نظیر آرد میگو، اسکوئید یا کبد گاو در غذای لارو مورد استفاده قرار می گیرد که بندرت در تغذیه ماهیان بزرگتر بکارمی رود (ضمیمه C ، جدول C.13). از تخمدان های ماهی که غنی از فسفولیپیدها و اسیدهای چرب ضروری سری n-۳ هستند نیز استفاده می شود. اغلب به منظور حفظ بهتر کیفیت اولیه، این فراورده ها لئوفیلزه می شوند. همانطور که در بالا اشاره شد، این مواد پیش از اضافه شدن به ذرات ریز باید کاملا خرد شوند. مواد خام ارزان تر نظیر پروتئین های تک سلولی (پودرهای مخمر یا باکتریهای

رشد یافته در محیط کشت های مختلف) و فرآوردهای هیدرولیزات ماهی نیز مورد استفاده قرار می گیرند(جدول C.1).

غذای لاروها همچنین حاوی رنگدانه ها(کانتاگزانتین)، جاذب ها (اسیدهای آمینه) و آنتی اکسیدان ها (بویژه ویتامین E وC که در مقادیر بالا اضافه می شوند تا ذرات ریزی که نسبت سطح به حجم بالایی در مقابل فعالیت اکسیژن هوا دارند طی مدت ذخیره سازی محافظت کنند) است. افزودنی های مختلف دیگری شامل آنزیم های پانکراس پستانداران مورد بررسی قرار گرفته، ولی اثرات قابل توجهی بر نتایج پرورش نداشته است.

٤-١٤- خلاصه

استفاده از غذای دستی در هچری ها اهمیت روزافزونی در پی خواهند داشت. با افزایش آگاهی پیرامون فیزیولوژی دستگاه گوارش لارو و بهبود روش های ساخت ذرات ریز می توان سازگاری بهتر غذای داده شده با ویژگی های گوارشی و متابولیک لارو را فراهم نمود. استفاده از غذاهای مناسب تر در تغذیه لاروها می توانند مصرف غذای زنده را کاهش داده یا حتی با حذف تدریجی غذای زنده زودتر جایگزین آن شوند. این بهبود به احتمال زیاد مستلزم اصلاح تاسیسات هچری با در نظر گرفتن محدودیتهای منحصر به غذاهای دستی خواهد بود.

((فصل ۱۵))

فیزیولوژی هضم میگوها

طی قرون گذشته توصیفات آناتومیک زیادی پیرامون دستگاه گوارش سخت پوستان انتشار یافته که در این مطالعات به پیچیدگی عملکرد ارگان‌های تخصصی مرتبط با فرآیند هضم گونه‌های سخت پوستان کمتر پرداخته شده است. بعلاوه، این دسته از جانوران جز در موارد اندک نظیر بزرگی و تنوع زیر شاخه های سخت پوستان، مورد ملاحظه قرار نگرفته اند. مطالعات اولیه در زمینه فیزیولوژی گوارش سخت‌پوستان، پایه واساس شناخت و درک امروزی را تشکیل می‌دهند. با این وجود، تا سال های اخیر دسترسی به این مطالعات به صورت جهانی امکان پذیر نبود. با وجودیکه تحقیقات پیرامون نیازهای تغذیه‌ای سخت‌پوستان از طریق مطالعه و بررسی گونه های اقتصادی بخصوص میگوهای پنئیده در چند دهه اخیر افزایش یافته است، اما تحقیقات پایه ای انجام نگرفته و فیزیولوژی مقایسه ای همچنان به عنوان خط مشی اصلی بیولوژیست ها و جانورشناسان مدنظر است. در آبزی پروری این بررسی ها تنها به پاره ای از مطالعات در زمینه آنزیم شناسی و فیزیولوژی هضم محدود شده است. در این فصل، اصطلاح میگو (shrimp) شامل تمام سخت پوستان دکاپود خواهد بود که معمولا با عنوان shrimp یا prawn معرفی میشوند. این فصل به دکاپودها اختصاص یافته و بر میگوی خانواده پنئیده تاکید دارد. سخت پوستان پست‌تر شامل آبشش پایان، به رغم اهمیت قابل ملاحظه آرتمیا سالینا در آبزی پروری (فصل۱۳)، در این فصل مورد توجه قرار نمی گیرند.

در اکثر مطالعات جنبه های آناتومی و فیزیولوژی مخالف یکدیگرند. در مقایسه با حیوانات عالی لازم است تا متخصصان میگو، میگوی بزرگ آب شیرین و خرچنگ آب شیرین خصوصیات منحصر بفرد سخت پوستان را به منظور امکان شناخت بهتر مکانیسم های اصلی تغذیه مورد توجه قرار دهند. این خصوصیات به شرح ذیل می‌باشند:

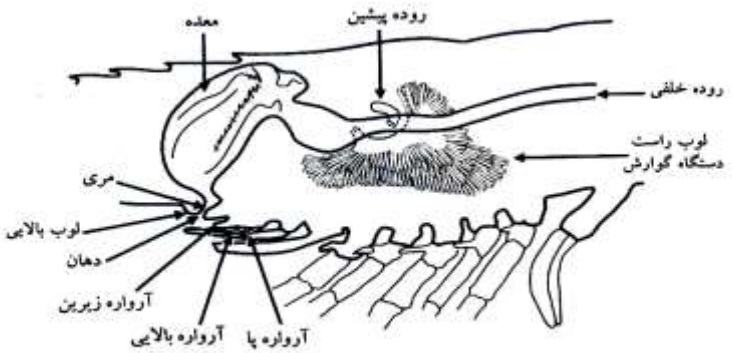
- انجام پوست اندازی که امکان مصرف مجدد مواد غذایی ذخیره شده را فراهم می کند.
- وجود دوره های گرسنگی فیزیولوژیک طی پوست اندازی
- ساخت مجدد دیواره های داخلی دستگاه گوارش
- آناتومی منحصربفرد اعضاء مخصوص جویدن و جذب
- مکانیسم های خاص هضم و جذب
- وجود آنزیم های منحصربفرد در طول دستگاه گوارش که بسیار مشابه آنزیم هایی است که در مهره داران وجود دارند.
- دخالت غدد گوارشی در کارکردهای مختلف بخصوص در ذخیره مواد غذایی

۱- ۱۵ - آناتومی و بافت شناسی دستگاه گوارش

این دستگاه (شکل ۱-۱۵) به ۵ بخش: دهان، مری، معده، هپاتوپانکراس، روده میانی و روده انتهایی قابل تقسیم است. با وجود آنکه این دسته بندی کاملا مورد تایید است، اما نامگذاری بخش های مختلف با توجه به آنچه در مورد مهره داران عالی وجود دارد کمتر مورد قبول واقع شده و گاهی منجر به ایجاد ابهاماتی می شود. معده در سخت پوستان هیچ شباهتی به معده مهره داران ندارد و غدد گوارشی، غدد روده میانی یا هپاتوپانکراسکه نه کبد است و نه پانکراس، مشابه و معادل اندام های برخی ماهیان نیستند که کبد آنها توسط بافت غده ای پانکراتیک نفوذپذیر شده‌اند.

۱-۱-۱۵) دهان

نظیر سایر آرتروپودها، دهان با چند جفت ضمائم احاطه شده که برای دریافت مواد شیمیایی، صید و فریب طعمه تخصص یافته اند. این ضمائم شامل آرواره بالایی، ماکسیلال، آرواره های پایینی و آرواره پاها بوده و این امکان را برای حیوان فراهم می کنند تا غذا را به دهان نزدیکتر نموده و خرده های غذایی را جمع آوری کند.



شکل ۱-۱۵) نمایی از معده و روده میانی میگوی پنئیده (Ceccaldi, 1994)

بخصوص در دکاپودها، آرواره پاها برای جور کردن و جدا نمودن ذرات غذایی مناسب برای حفره دهانی و در نهایت هضم آنها بکار می روند. دهان خود نیز دیواره سختی داشته و دارای عملکردی بارز است. شایان ذکر است که لاروهای جوان برای شنای اولیه از آنتن ها، آنتنول و آرواره زیرین استفاده میکنند.

۲-۱-۱۵) مری

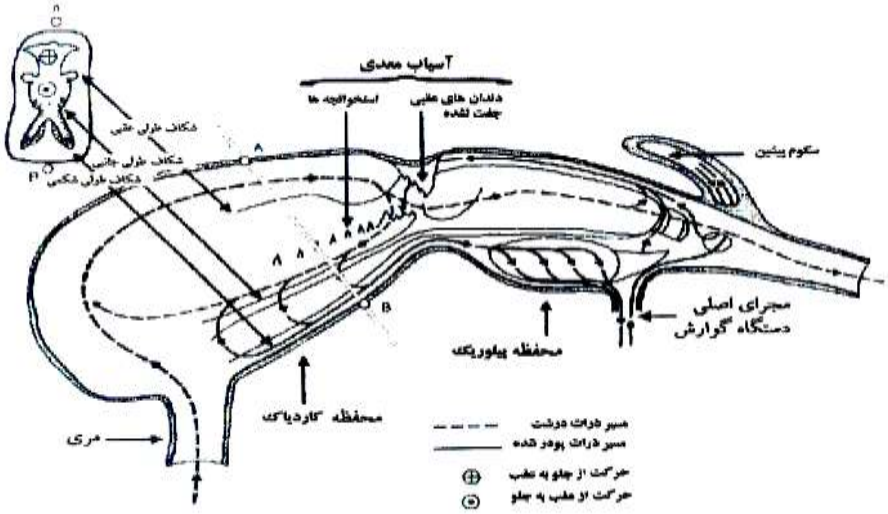
همانند سایر حیوانات، مری بخشی از محیط خارجی دستگاه گوارش است و دیواره های آن اپیدرم یکدستی را تشکیل می دهند. این بخش در سخت پوستان بسیار قابل توجه است زیرا دیواره های بخش جلویی و عقبی دستگاه گوارش توسط لایه نازک کیتینی به عنوان جزء سازنده اسکلت خارجی، پوشیده می شود. این پوسته در هر پوست اندازی تعویض می شود. بنابراین چنین بنظر می رسد که مری مجرایی با دیواره های ساخته شده از ترکیبات پروتئین- کیتین، انعطاف پذیر و نرم باشد. در گونه های مهم در آبزی پروری مری نسبتا کوتاه و صاف است. برش عرضی آن X شکل بوده و امواج انقباضی که در طول آن بوجود می آیند کاملا شبیه مری مهره‌داران، هرچند ساده تر از آن می باشد.

۳-۱-۱۵) معده

در مفهوم گسترده معده در سخت پوستان نظیر مری بخشی از روده پیشین را تشکیل می دهد (شکل۲-۱۵) که ساختار خارجی آن نسبتا ساده و انعطاف ناپذیر است. طی رشد لاروی، ساختارهای سخت (ریشک ها، تیغه ها و خارها) روی دیواره داخلی معده بوجود آمده که شیوه کار آنها مشابه دندان در مهره داران می باشد. توسعه این ساختارها آسیاب معدی را بوجود می آورند. در دکاپودها، معده توسط یک عضله با یک دریچه به دو قسمت تقسیم شده است. میزان پیچیدگی آن در گروههای مختلف متفاوت است. به علت گسترش کاربرد اصطلاحات مربوط به مهره داران عالی، این دو بخش با عناوین محفظه کاردیاک و محفظه پیلوریک شناخته می شوند. برش عرضی محفظه کاردیاک نیز نظیر مری به علت وجود چین خوردگی هایی به شکل شیارهای طولی و نیز ضخیم شدگی دیواره ها، X شکل است. بخش قدامی این محفظه دارای یک لبه با یک ردیف برجستگی های نقطه‌ای سخت به نام استخوانچه ها یا دندان های بزرگ است(شکل ۲-۱۵).

این ساختارهای آهکی و مفصلی توسط تعدادی از ماهیچه های موجود در دیواره خارجی معده حرکت می کنند. تعداد و پیچیدگی این ساختارها از خصوصیات گونه ها بوده و تعداد آنها در پنئیدها ۱۱ عدد است.

مطالعات فیزیولوژیک اعصاب، توزیع پیچیده ای از یک ساختار عصبی داخلی(شش گروه از اعصاب مختلف) را اثبات نموده اند که امکان حرکت قسمت های مختلف آسیاب معدی، انقباضات دریچه کاردیو- پیلوریک و همچنین استحکام بخش اصلی معده پیلوریک را فراهم می کنند. گیرنده های شیمیایی و مکانیکی نیز در این فرآیندها نقش خود را ایفا می کنند. تمامی این بخش ها به همراه عضلات تخصصی شده، آسیاب معدی را به عنوان یک عضو خرد کننده بوجود می‌آورند که دارای یک دندان عقبی منفرد قوی نیز می باشد. در هر بار پوست اندازی دندان ها و استخوانچه ها، اسکلت خارجی، دیواره‌های مری و روده خلفی نیز می افتند. پیچیدگی آسیاب معدی در بین خانواده ها متغیر بوده و چنین بنظر می رسد که با پیچیدگی آرواره ها رابطه عکس دارد. هرچه این اعضا غذا را بیشتر خرد کنند، علاوه بر ساده تر شدن صید طعمه و جابجایی آن، آسیاب معدی نیز ساده تر می شود.



شکل ۲-۱۵) نمایی از مسیرهای احتمالی گردش ذرات غذایی و مایعات داخل معده (Dall and Moriarity, 1983) شکل گوشه چپ بالا، برش عرضی عضو از نقطه A تا B می باشد.

عکس این حالت نیز وجود دارد. این عضو بنحوی در براکیوریدها (خرچنگ ها) بطور متوسط در پنثیده‌ها و به میزان اندک در کاریدها شامل میگوی آب شیرین معمولی و میگوی بزرگ آب شیرین[1] توسعه یافته است.

ساختارهای آهکی در داخل محفظه پیلوریک گسترش می‌یابند که ابتدای روده میانی[2]را بوجود می آورد. ساختارهای سخت همچنین به شکل دندان های شانه ای و ریشک هایی موجودند که گاهی اوقات بسیار پیچیده و غده ای هستند. خود کیسه شامل چین های بهم فشرده و نازکی است. چین خوردگی ها، سبیل‌ها و تیغ ها صرفا امکان عبور ذرات غذایی بسیار ریز غذایی را فراهم می‌کنند. به عبارت دیگر، خرد کردن مواد غذایی توسط دندان ها، فشرده شدن آنها توسط حرکات معده و فیلتر کردن آنها از طریق شانه ها صورت می گیرد. معده پیلوریک این ذرات را فشرده، جدا و تصفیه می کند.

---

[1] *Macrobrachium*
[2] mescuteron

به این ترتیب، ذرات بسیار ریز غذایی از یک فیلتر شکمی عقبی به نام « صافی- فشرده کننده » عبور میکنند. ذرات مستقیما به هپاتوپانکراس به عنوان یک عضو جذب کننده هدایت می شوند. ازینرو، برخی جانورشناسان سخت پوستان را به عنوان فیلترکننده‌های غذا و تحت عنوان هایی مشابه سایر بی مهرگان نظیر دوکفه‌ای ها در نظر می گیرند. در صورتیکه عمل جویدن و فیلتر کردن توسط آرواره ها انجام شود، بخش وسیعی از غذا از طریق حل شدن در محیط اطراف از دست می رود.

مسیر عبور ذرات غذایی به بخش جلویی معده بسیار پیچیده بوده و سلسله مراتب آن ساده نیست. این مراحل شامل خرد کردن، فشرده سازی و فیلتر کردن می باشد. به رغم دشواری های موجود، مطالعات بسیار دقیق قادرند تا بخشی از مسیر ذرات غذایی را تشریح نمایند. مسیرهایی که بیشترین احتمال در مورد آنها وجود دارد، در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است. غذا در شیار بالایی مری با حرکت جلو به عقب حرکت کرده تا به آسیاب معدی برسد. پس از خرد شدن و مخلوط شدن اولیه با آنزیم های گوارشی، کیموس به بخش جلویی باز می گردد، اما در جریان این جابجایی ذرات خرد شده وارد مجرای شکمی می شوند تا مسیر فیلتراسیون و فشرده سازی کامل شود. ذرات خردشده که صرفا شامل ذرات میکرومتری می شوند از این مسیر عبور کرده و به ترشحات غدد ترشحی یا هپاتوپانکراس در محفظه پیلوریک می‌رسند و در آنجا، ذرات هضم شده و از طریق حفره داخلی لوله ها جذب می شوند. ذراتی که به اندازه کافی خرد شده اند، به جای قرار گرفتن در این مسیر وارد چرخه دیگری می شوند بنحویکه به بخش جلویی محفظه کاردیاک وارد شده، سپس به سمت عقب در جهت رسیدن مجدد به آسیاب معدی حرکت می کنند. تکرار این روند هنگام خرد شدن کامل غذا ادامه می یابد، اما ذراتی که خیلی سفت و سخت یا غیر قابل‌هضم هستند در نهایت به محفظه پیلوریک وارد می شوند ولی از فیلترها عبور نمی کنند و وارد روده میانی می شوند. این مواد فضولات را تشکیل می دهند.

از خصوصیات منحصر بفرد دیگر معده سخت پوستان، وجود یک ساختار داخلی عصبی نیمه‌مختار، یک ساختار عضلانی بیرونی و یک پوشش مخصوص است. در اکثر گونه ها pH معده خنثی یا کمی قلیایی است که با توجه به pH آب شور دریا که ۸/۳ است، غیر قابل انتظار نمی باشد. این عضو حاوی هیچ نوع غده یا سلولی ترشح کننده اسید یا آنزیم، نیست. اما pH های اندک اسیدی درمعده صدف خوراکی قابل مشاهده است. به رغم این موضوع، معده سخت‌پوستان با تعاریف معمولی فیزیولوژیست ها از معده مهره‌داران، همخوانی ندارد.

٤-١-١٥) غدد گوارشی

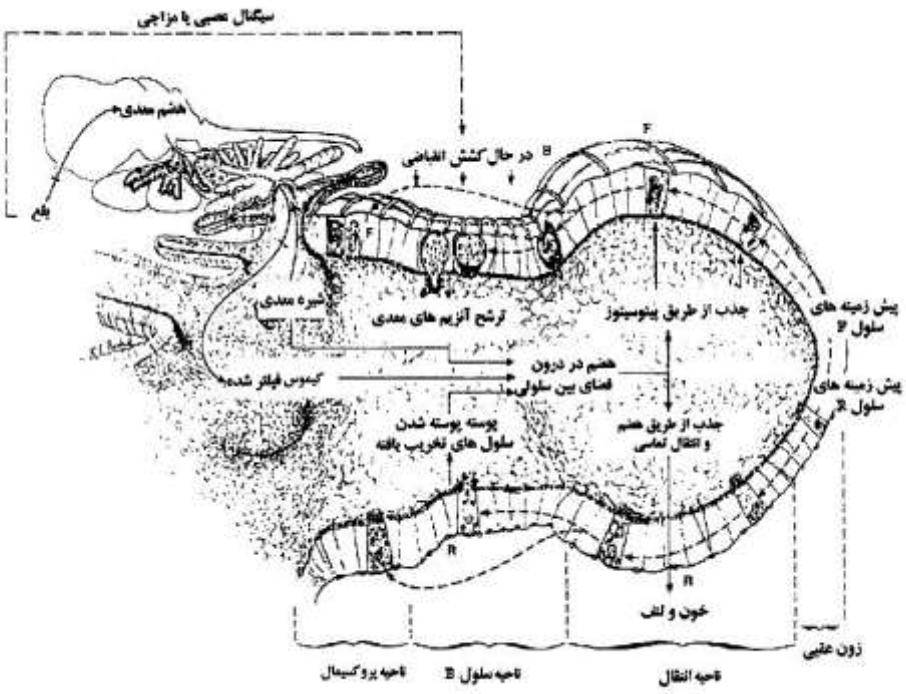
هپاتوپانکراس یک عضو غیرفعال و منفعل است که از دو لوب متقارن تشکیل شده است. این عضو در بخش عقبی بدن و زیر قلب قرار دارد. هپاتوپانکراس ۲ تا ۶ درصد وزن بدن را تشکیل می دهد و در انواع بزرگ، از صدها لوله با انتهای بسته تشکیل یافته که به داخل دو محفظه متقارن باز می شود که این دو محفظه به محفظه پیلوریک معده راه دارند. هر لوله حاوی یک شبکه دوتایی از ماهیچه های طولی و مدور است که امکان حرکات دودی شکل و انقباضی را ایجاد می کنند و از این طریق زمینه را برای حرکت فازهای مایع در داخل لوله ها فراهم می سازند.

در لارو هپاتوپانکراس به شکل دیورتیکول[1] (کیسه ته بسته) متمایز شده که از قسمت جانبی معده ابتدایی بوجود آمده و به شکل یک کیسه ساده می باشد. در جریان رشد و توسعه لاروی، این لوله‌ها دراز و چندین برابر می شوند. بافت پیوندی کل این ساختار را احاطه کرده و یک شبکه از ماهیچه های رشته ای غده ای شکل متمایز را ایجاد می کنند. ساختار اصلی لوله ها بندرت از تشکیلات ابتدایی متفاوت است و غده به عنوان مجموعه ای از لوله هایی با انتهای بسته است که در قسمت میان روده با یکدیگر تلاقی پیدا می کنند و از طریق یک کیسه جمع آوری با هم ارتباط دارند(شکل ۳-۱۵).

داخل لوله ها نظیر داخل بافت غده ای غدد ترشحی یا در پرز روده مهره داران، یک منطقه خلفی قابل تشخیص وجود دارد که از سلول های جنینی متمایز شده است. پس از آن مناطقی با کارکرد ترشحی و جذبی و در آخر در نزدیکی لوله ها منطقه ای وجود دارد که سلول ها در آن تجزیه شده و به فضای بین سلولی دستگاه گوارش برگشت داده می شوند. نامگذاری، طبقه بندی و کارکرد سلول های سازنده لوله‌ها هنوز به صورت یکپارچه مورد پذیرش قرار نگرفته است. با این وجود، در رابطه با تفاسیر ارائه شده در این بخش، اتفاق نظر وجود دارد.

سلول های E (جنینی) ناحیه های اختصاصی، در سه دسته عمده شامل سلول های F (رشته ای)، سلولهای B که ترشح کننده‌اند (سلول های موجود در برجستگی ها) و سلول های R (سلول های ذخیره ای) طبقه‌بندی می شوند. سایر سلول ها بویژه سلول های نوع M (سلول های کوتوله) در لوله ها تشریح شده‌اند.

[1] Diverticuli



شکل ۳-۱۵) نمایی از برش عرضی لوله های دستگاه گوارش(Dall and Moriarity, 1983)

مطابق با جدید ترین نظریه پذیرفته شده، ممکن است تنها دو نوع خانواده سلولی از ناحیه تکثیر بوجود آمده باشند که شامل سلول های F و B و نوع دیگر سلول های M و R هستند. سلول های F می توانند حدواسط بین سلولهای B و E و سلولهای M حدواسط بین سلول های E و R باشند . بنظر می رسد سلول‌های F ترشح کننده آنزیم اند. در مرحله بعد، سلول های جوان نوع B بوجود می آیند که این سلول‌ها محل اندوسیتوز می باشند. این سلول ها پس از بلوغ توسط یک واکوئل بیضوی بسیار بزرگ مرکزی که بیشتر فضای سلولی را اشغال کرده، تشخیص داده می شوند. سپس این سلول ها شکسته شده و محتوای آنها در فضای بین سلولی پخش می شود. بنابراین، سلول های B ترشح کننده می باشند.

سلول‌های R حاوی مقدار معینی از لیپیدها، گلیکوژن، کلسیم، روی و مس بوده و از اینرو نقش ویژه ای در ذخیره مواد غذایی با منشأ غذایی یا حاصل از تخریب بافت های سلولی در جریان چرخه های بیولوژیک قبل از پوست اندازی دارند. چنین بنظر می رسد که این سلول ها نظیر پیش سازهای سلول های M، از قابلیت جذب بالایی برخوردار باشند. انرژی متابولیسم سخت پوستان به جای متکی بودن بر چرخه گلیکوژنیک بیشتر بر مصرف لیپیدها استوار است.

حرکات ذرات در قسمت جلویی هر لوله از طریق انقباض و استراحت عضو فراهم می شود. این مکانیسم‌ها هنوز کاملاً در میگو شناخته نشده اند، چون بخشی از مایعات موجود در لوله ها داخل معده تخلیه شده تا امکان شروع هضم آنزیمی را فراهم کند، در حالیکه اغلب به طور همزمان، کیموس آماده شده برای هضم به منظور هضم آنزیمی به داخل لوله ها تخلیه و سپس با جذب مواد حاصل از هضم بیوشیمیایی ادامه می یابد. بررسی های اخیر در مورد لاروها نشان دهنده عبور سریع ذرات غذایی از تعدادی از لوله ها در طی گوارش می باشد که به سبب عملکرد دریچه های موجود در کنار منطقه فیلتر-پرس به شکلی موثر به سمت لوله هایی در جهت مخالف رانده می‌شوند.

۵-۱-۱۵) روده میانی

این بخش دستگاه گوارش از پیلوروس تا رکتوم بصورت خطی گسترش می یابد. هر چند منطقه سطحی آن به علت وجود کیسه بسیار بزرگ یا دیورتیکولی افزایش یافته و راس آن با میکروپرزهای انبوهی پوشیده می شود ولی با روده مهره داران با چین خوردگی ها و پرزهایش، قابل مقایسه نمی باشد. سلولهای عصبی، هموسیت ها و احتمالا سلول های غدد درون ریز در اپیتلیوم قابل تشخیص هستند. از ویژگیهای قابل توجه اپیتیلیوم در این منطقه در مرحله اول قابلیت ترشح موکوس است که مواد زائد جامد حاصله از معده را احاطه و سپس از طریق یک ساختار حلقوی با جداره ای از جنس کیتین، توده استوانه‌ای از فضولات را بوجود آورده و غشای پریتروفیک مواد دفعی را تشکیل می دهد. این غشای تراوا گرچه مانع از جذب مواد غذایی باقی مانده از مواد دفعی نمی شود اما نقش آن هنوز مشخص نشده و ممکن است مشابه عملکرد گلیکوکالیکس در مهره داران باشد.

٦-۱-۱۵) روده خلفی

این بخش دستگاه گوارش کوتاه، کشیده و مستقیم است و احتمالا نقش رکتوم را ایفا می کند. با این وجود، سلول های قشر سطحی آن حاوی تعداد زیادی میتوکندری هستند که تعداد آنها برابر با بخش خلفی روده ماهی می باشد و گمان می رود که در تنظیم یونی نقش داشته باشند. وجود بافت ماهیچه ای در آن حاکی از این مطلب است که دکاپودها نظیر ایزوپودهای خشک زی قادر به نوشیدن آب از طریق مخرج می باشند.

۲-۱۵ - عملکرد دستگاه گوارش

۱-۲-۱۵) عادات تغذیه ای و گیرنده های شیمیایی

آناتومی ضمائم دهانی و دهان، تنوع تغذیه ای را بوجود می آورند. سخت پوستان دکاپود جوندگانی هستند که صرفا تحت شرایط استثنایی قادرند طعمه خود را به طور کامل ببلعند. برای مثال، هنگامی که طعمه آنها به شکل کپسول های بسیار ریز حاوی غذا باشد، بلع کامل طعمه برای آنها امکان پذیراست. در سایر موارد، زمان لازم برای جویدن طعمه های سخت با قطعات بزرگ طولانی ترین زمان است اگرچه طعمه از طریق ضمائم پیش دهانی بلعیده شود یا هضم آن از طریق معده به اتمام برسد، این مرحله مکانیکی کسب غذا برای هضم موثر غذا لازم است.

روشی که سخت پوستان برای جذب طعمه و بلع آن استفاده می کنند تا حدودی به گیرنده های شیمیایی موجود در ضمائم بستگی دارد. ماهیت شیمیایی موادی که نقش جاذب ها، تحریک‌کننده‌های بلع[1] یا برعکس نقش رانشی یا دفعی را ایفا می کنند جز در موارد بسیار جزئی (مشخص شده که اسیدهای‌آمینه ، چند باز آلی، نوکلئوتیدها و نوکلئوزیدها همانند هگزوزها همگی یک نقش را ایفا می‌کنند)، هنوز شناخته نشده است. مکانیسم تغذیه سخت پوستان گوشتخوار، دیتریت خوار و همه‌چیزخوار قطعا تفاوت های زیادی با یکدیگر دارند، هر چند این شکل معمول طبقه بندی بسیار مبهم است.

[1] phagostimulants

۲-۲-۱۵) انتقال هضم

مراحل مختلف انتقال هضم با توصیفات آناتومیک بخش های مختلف دستگاه گوارش بیان می شوند. چهار مرحله مهم شامل جویدن مکرر ذرات ریز تا خرد شدن کامل، فیلتر کردن کیموس، حرکت جلو و عقب در لوله های غدد هضمی و در نهایت پوشاندن فضولات توسط غشا پریتروفیک می باشد.

بررسی های کیفی اندکی در رابطه با زمان های هضم انجام شده و هنوز این امکان وجود ندارد که بتوان قوانین ثابت تعیین شده برای ماهیان را در مورد سخت پوستان نیز اعمال کرد. با این وجود، واضح است که کل زمان هضم به شکل قابل توجهی سریع صورت گیرد. در میگوهای پنئیده حاره ای ۲۰ گرمی در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، دفع مدفوع در حدود ۹۰ دقیقه پس از جذب غذا از محیط شروع و در حدود ۴ ساعت بعد از بلع متوقف می شود. تنظیم هضم نیز بصورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته است. احتمال وجود پپتیدهایی با فعالیت هورمونی مشابه آنچه که در دستگاه گوارش مهره داران مشاهده می شود، وجود دارد اما هنوز به اثبات نرسیده است.

۳-۲-۱۵) جذب و هضم

در سخت پوستان تفکیک هضم آنزیمی مثل هیدرولیز ذرات بزرگ غذایی از فرآیند جذب (انتقال مواد غذایی در طول دیواره های دستگاه گوارش) بسیار دشوار است چون بخشی از هضم صرفاً در فضای داخلی روده انجام می شود. شایان ذکر است که کل فرآیند هضم، آنزیمی است بطوریکه هیچ نوع اسیدی به منظور هضم شیمیایی پروتئین ها، پپتیدها یا هیدراتهای کربن ناپایدار ترشح نمی شود.

٤-۲-۱۵) آنزیم های گوارشی

به رغم تحقیقات انجام شده و استفاده از تکنیک های پیشرفته، فهرست جامعی از آنزیم های گوارشی سخت پوستان حتی برای یک گونه ارائه نشده است. بنابراین در این قسمت به صورت کلی به این مطلب اشاره می شود.

در مطالعات گذشته، نحوه ترشح آنزیم در سخت پوستان بسیار متفاوت از مهره داران در نظر گرفته شده که در هیچ یک از آنها آنزیم ها به صورت زیموژن ترشح نمی شوند(فصل ۴). با این وجود، اخیرا وجود زیموژن ها بصورت واضح اثبات گردیده، هرچند نحوه فعال شدن آنها هنوز ناشناخته است.

احتمالاً معادلی از آنزیم های وابسته به غشاء در روده مهره داران (که ذرات ماکرومولکول ها را هیدرولیز می کنند) در سخت پوستان بویژه در سلولهای R وجود دارند. اما حتی زمانیکه عملکردهای مختلفی از این نوع آنزیم ها بروز می کند، بسختی شناسایی می شوند. نقش آنزیم های لیزوزومی در سخت پوستان که در جریان گوارش درون سلولی فعالیت می کنند قطعا بیشتر از حیوانات عالی می باشد اما تشخیص آنها از آنزیم های حاصل از تجزیه سلول های B دشوار است. عمده ترین آنزیم های شناخته شده در جدول ۱-۱۵ ارائه شده است. این آنزیم ها شبیه آنزیم های گوارشی ماهیان فاقد معده هستند.

در میان پروتئازها که همواره ظهور و بروز خوبی دارند، پپسین هرگز وجود ندارد. در مقابل، تریپسین به میزان زیادی سنتز شده و تا ۱/۳ پروتئین های قابل حل در دستگاه گوارش می رسد. مقادیر مولار با توجه به گونه فرق می کند (از ۲۵ تا ۳۶ گلیکودالتون) و خصوصیات عملکردی آن مشابه تریپسین مهره داران نیست. تریپسین سخت پوستان بر پروتئین های تغییر ماهیت نیافته نسبت به مولکول هائی که ماهیت آنها تغییر یافته، فعال تر می باشد. برخی از محققان حتی به وجود تریپسین کاذب یا آنزیم های مرتبط با تریپسین اشاره می کنند، هر چند تریپسین میگوی هندی به میزان ۵۰ درصد مشابه تریپسین گاوی است. این آنزیم عمده ترین پروتئازی است که در سخت‌پوستان یافت شده است. فعالیت کموتریپسین کمتر از حد واقعی آن برآورد شده چون اندازه گیری آن در یک ماده زمینه ای نامناسب صورت گرفته است. امروزه مشخص شده که این آنزیم به میزان زیادی در پنئیده ها وجود دارد. برخی از آنزیم های تجزیه‌کننده کلاژن ها در حقیقت کموتریپسین‌ها هستند. آستاسین آنزیم بسیار متفاوت دیگری است که در تعداد زیادی از سخت پوستان مشاهده شده در حالیکه هنوز در مهره داران ناشناخته است. این آنزیم متالو- پروتئاز بوده و سرین- پروتئاز نمی باشد و طیف آن بسیار گسترده است.

فعالیت اندوپروتئازها توسط فعالیت گروهی از اگزوپپتیدازها کامل می شود که بسیار شبیه به آنزیم های موجود در مهره داران شامل کربوکسی پپتیدازهای A و B، آمینوپپتیدازها و دی‌پپتیدازها می باشند. در لابستر، فعالیت اصلی آنزیم های تجزیه کننده پروتئین بواسطه کاتپسین‌ها و آنزیم های لیزوزومی است که از طریق تجزیه سلول های غدد گوارشی ترشح می‌شوند.

جدول ۱-۱۵) آنزیم های اصلی گوارشی سخت پوستان دکاپود

تفسیر	آنزیم	طبقه
فعالیت بسیار بالا	تریپسین	اندوپروتئازها
فعالیت بالا، طیف گسترده	کیموتریپسین	
طیف بسیار گسترده	آستاسین*	
	کربوکسی پپتیدازهای A وB	اگزوپروتئازها یا اگزوپپتیدازها
	آمینوپپیدازها، دی پپتیداز	
شناخت بسیار اندک	آمیلاز	گلوسیدازها
عدم قطعیت در مورد حضور اما محتمل	کیتیناز	
	لامینارینـاز	
	سلولاز	
	سایر گلوکورونیدازها	
محتمل	مالتاز	گلوکوسیدازها
محتمل	کیتوبیاز	
محتمل	لامیناریبیاز	
	سلوبیاز	
	ساکاراز	
	مانوسیداز	
بیشتر غیره ویژه	سایر گلوکوسیداز	
شناخت بسیار اندک	لیپاز (؟)	لیپازها
فراوان	استرازها	
	ریبونوکلئاز	مختلف
	دی اکسی ریبونوکلئاز	
	فسفاتاز	

* برای سالها این آنزیم، پروتئاز با وزن مولکولی پایین نامیده می شد، چون اشتباهاً وزن ملکولی آن Kd ۱۱ تصور می شد. نام آستاسین احتمالا قطعی نیست.

چهار دسته گلوکوکسیدازها وجود دارد: آمیلاز (آلفا۱ ← ۴گلوکاناز)، کیتیناز (بتا۱ ←۴ N استیل گلوکاناز)، لامینارینازها (بتا ۱← ۳ گلوکاناز) و سلولاز (بتا ۱ ← ۴ گلوکاناز). بنظر می‌رسد دو دسته اول همواره وجود دارند اما فعالیت کیتیناز کمتر است. هضم جزئی کیتین صرفا در میگوهایی وجود دارد که پوسته های حاصل از پوست اندازی سخت پوستان دارای آشیان اکولوژیک مشابه آنها یا قطعات پوششی سایر سخت پوستان زنده یا مرده را می بلعند. همچنین لامینارینازها که لامینارین جلبک و تعدادی از ارگانیسم های آبزی را هیدرولیز می کنند به اندازه کمی شناخته شده اند(آنزیم های مختلفی ممکن است با این نام اشتباه شوند)، اما اغلب بیش از سلولازها که فعالیت آنها صرفا در یک سخت پوست چوب‌خوار و چند گونه اولیه دیگر مشخص شده، ظاهر می شوند. با این وجود، فعالیت مشخص سلولاز را میتوان در میگوی بزرگ آب شیرین مشاهده نمود که گونه ای نسبتا علفخوار است.

فعالیت هیدرولیز توسط آنزیم های هیدرولیرکننده دایمرهای حاصله، کامل می شود که در این رابطه مالتوز توسط مالتاز(آلفا گلوکوسیداز)، کیتوبیوز توسط کیتوبیاز (بتا-N – استیل گلوکوسامینیداز) و سلوبیوز توسط سلوبیاز (بتا گلوکوسیداز) هیدرولیز می شوند. تا جاییکه مطالعات نشان می دهند، لامینارییازها بررسی نشده اند اما وجود سایر آنزیم هایی که و هیدراتهای کربنی با وزن مولکولی پایین را هیدرولیز می کنند به اثبات رسیده که ساکاراز، آلفا مانوسیداز، آلفا فوکوسیداز و غیره از جمله آنها هستند. گلوکارونیدازهایی که در هضم بقایای هیدرات‌کربنی حاصله از گیلکوپروتئین ها شرکت میکنند هنوز شناسایی نشده اند.

در مقایسه با آنزیم های مشروح فوق، لیپازهای سخت پوستان بصورت جزئی مورد بررسی قرار گرفته اند. بنظر نمی رسد که جفت لیپاز- کولیپاز که وجود آن در شاخه ای از بی مهرگان (نرمتنان) اثبات شده، به طور قطع در سخت پوستان وجود داشته باشد هرچند فعالیت های لیپازی مشابه فعالیت لیپازهای پانکراتیک در مهره داران مشخص و حتی اندازه گیری شده است. سخت‌پوستان فاقد هر نوع نمک صفراوی هستند اما دارای ترکیباتی با خصوصیات کششی می‌باشند. این ترکیبات معمولا از اسیدهای چرب دارای ۲۲ اتم کربن و یک دی پپتید (عمدتا تورین) تشکیل شده و مشابه ترکیب نمک های صفراوی مهره داران هستند. در سخت پوستان تعداد زیادی از استرازها یافت شده اند ولی موقعیت، خصوصیت و بویژه نقش آنها بروشنی مشخص نشده است.

درمیان آنزیم های مختلف معمولا فسفاتازها، دی اکسی ریبونوکلئازها و ریبونوکلئازها فعالیت بالایی در علفخواران همراه با فلور همزیست و در دیتریت خواران (حیواناتی که جیره غذایی آنها شامل باکتری ها و سایر میکروارگانیسم هاست) دارند.

اگرچه آنزیم های زیادی به صورت کیفی تشریح شده اند اما اطلاعات کمّی پیرامون آنها اندک است. بطورکلی چنین فرض می شود که ارتباط آشکاری بین نحوه تغذیه حیوان در حیات وحش و فعالیت آنزیم های مسئول هیدرولیز ترکیبات جیره غذایی وجود دارد. بنابراین، گونه های گوشتخوار نظیر میگوی ژاپنی فعالیت پروتئازی بالاتری نسبت به گونه های همه چیز خوار با فعالیت آمیلازی بیشتر، دارند. با این وجود، این ارتباط به ظاهر منطقی، بطور کامل اثبات نشده است. بنظر می رسد که در حقیقت فعالیت آنزیم ها در یک گونه مشخص با توجه به کیفیت و کمیت جیره غذایی تغییر کند بطوریکه این فعالیت در مورد جیره های غنی از مواد غذایی درشت بیشتر و در صورت عکس این حالت، کمتر می شود. به عبارت دیگر، فعالیت آنزیم های گوارشی مطابق با ترکیب غذای بلعیده شده است. با این وجود، نباید این گونه نتیجه‌گیری کرد که فعالیت آنزیم های گوارشی مطابق با نیازهای تغذیه ای است.

محدوده اپتیمم pH برای این گروه از آنزیم ها بین ۵/۵ تا ۹ و در مورد آنزیم های لیزوزومی حدود ۵/۵ می باشد. همانطور که در ماهی مشخص شده(فصل ۴) محدوده دمایی اپتیمم برای آنزیم ها، دمای میانگین این موجودات خونسرد نیست بلکه احتمالاً نزدیک به دمای داخلی حیوانات خونگرم است.

۵-۲-۱۵) فلور گوارشی

تنها مطالعات انجام شده پیرامون فلور گوارشی سخت پوستان در رابطه با گونه های اولیه با گرایشهای علفخواری است. در دکاپودها سویه هایی از *Vibrio*، *Moraxella* و بخصوص *Flavobacterium* مشاهده شده است. با این وجود، چنین بنظر می رسد که جمعیت باکتریایی نشان دهنده ویژگی یا پایداری گونه میزبان نیست. هیچ نوع همبستگی بین فراوانی یا ماهیت فلور گوارشی و غذای طبیعی در گونه های مورد بررسی مشاهده نشده است. تمامی شواهد مبتنی بر این است که نقش تغذیه ای فلور گوارشی حتی در سخت پوستان نسبت به ماهیان پرورشی (فصل ۴) کمرنگ تر شده است بطوریکه جای تعجبی در مورد کوتاهی زمان انتقال باقی نمی گذارد.

٦-۲-۱۵) مسیرهای جذب

مکانیسم های جذب مواد غذایی در دستگاه گوارش سخت پوستان مشابه سایر حیوانات است(فصل ۴) اما در سخت پوستان نسبت به سایر مهره داران یک تفاوت عمده قابل مشاهده است و آن اینکه فرآیندهای ترشح آنزیم و جذب در عضوی به نام غده گوارشی انجام می شود که شامل سلول هایی است که ظاهرا چندان تخصصی نیستند.

جذب ماکرومولکول ها از طریق اندوسیتوز(فصل ۴) به عنوان پدیده استاندارد در حیوانات ابتدایی، در سخت پوستان نیز وجود دارد. با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اولین مرحله از این فرآیند در سلول‌های B جوان اثبات شده که همان سلول های F قدیمی هستند. مرحله بعدی (هضم درون سلولی) قابل مشاهده است اما انتقال مواد غذایی به سمت دیواره سلول برجسته جانبی تشریح نشده و از بخشی از غذای برگشت داده شده به داخل فضای لوله ها در جریان متفرق شدن سلول های B، صرف نظر می‌شود. مفهوم کیفی این مسیر از جذب، ناشناخته باقی مانده است ولی برخی از محققان اظهار کرده اند که این مسیر جذب از مسیرهای جذبی استفاده‌کننده از مکانیسم‌های انتقالی، فراتر می رود.

ترشح آنزیم های گوارشی از طریق سلول های B و F منجر به هضم خارج سلولی قابل توجه می شود. ازا ینرو، مطابق با شواهد موجود، جذب مواد غذایی باید از طریق انتشار غیرفعال، انتقال فعال و انتشار تسهیل شده صورت گیرد. جذب در ابتدا از طریق سلول های اپیتلیال لوله ها به استثنای سلول های جنینی انجام میشود که میکروپرز ندارند. بنظر می رسد سلول های M و سلول‌های R جوان به علت دارا بودن میکروپرزهای رشد یافته در این رابطه بیشترین تاثیر را دارند. در جریان رشد سلول های R، مواد غذایی جذب شده منابع ذخیره ای را بوجود می آورند. مواد مغذی موجود در همولنف نیز بخشی از ذخایر را تشکیل می دهند. اما از آنجائیکه از طریق رشد ساختارهای موجود بین هسته ها و لبه های شانه ای نشان داده شده، مواد مغذی با منشأ غذایی قطعا اکثریت ذخائر را تشکیل می دهند.

بنظر می رسد که انتقال آب و یون های معدنی در سخت پوستان مشابه ماهیان در روده خلفی انجام شود. در ماهی این عمل تنها از طریق مسیر مواد غذایی نیست بلکه باید نقش تنظیم اسمزی را نیز در نظر گرفت.

۳-۱۵ - تنظیم و تعادل گوارشی

۱-۳-۱۵) قابلیت هضم‌پذیری مواد مغذی اصلی

مطالعات بسیار اندکی با استفاده از توزیع طعمه های حیوانی یا گیاهی پیرامون سخت پوستان انجام شده است. اخیرا با استفاده از جیره های غذایی ترکیبی یا اجزا سازنده این جیره ها، هضم پذیری در سخت‌پوستان مورد بررسی قرار گرفته که این مطالعات در ابتدا در مورد میگوهای پالمونید[1] و سپس میگوهای پنئیده انجام گردید و به استثنای برخی مطالعات قدیمی، قابلیت هضم پذیری با استفاده از روشهای غیر مستقیم نظیر استفاده از نشانگرهای بی اثر و جمع آوری بخشی از فضولات اندازه گیری شده است.

اگرچه دفع مدفوع پوشیده شده با غشا پریتروفیک غنی از نیتروژن از نظر تئوری هدررفت خارجی نیتروژن را افزایش می دهد اما معمولاً مقادیر بالایی از قابلیت هضم پذیری حاصل می شود. ضریب قابلیت هضم‌پذیری (ADC) پروتئین ها بیش از ۹۰ درصد و حتی گاهی تا ۹۵ درصد است. این مقدار در مورد چربیها حداقل در دو گونه میگوی ببری (*Penaeus monodon*) و میگوی آبی (*P.stylirostris*)، مشابه پروتئین هاست. این مقادیر با مقادیر بدست آمده در مورد ماهی قابل مقایسه‌اند. قابلیت هضم‌پذیری نشاسته که تحت شرایط سخت اندازه گیری شده، نسبتا بالا و مشابه مقادیر موجود در پستانداران است (۷۰ تا ۹۴ درصد) و حداقل در مورد نشاسته خام بیش از مقادیری است که در ماهی تعیین شده است.

تفاوتهای قابل توجهی در هضم پذیری سه نوع از ماده غذایی درشت مولکول حاصل شده، هرچند در این رابطه مشاهدات محدودی صورت گرفته است. با این وجود، در بین منابع مطالعاتی قدیمی، مقادیر هضم‌پذیری پروتئین ها، آردهای گیاهی یا کنجاله ها، آردهای حیوانی و محصولات خالص سازی شده در سخت پوستان اغلب مشابه ماهی و مهره داران عالی است. همچنین در رابطه با منابع نشاسته ای، استفاده از تیمارهای با منشا گیاهی و تکنولوژیک در سخت پوستان، قابلیت هضم پذیری یکسانی با مقادیر شناخته شده در پرندگان و پستانداران بهمراه دارد.

---

[1] palaemonid

با این وجود، در رابطه با تنظیم قابلیت هضم پذیری در سخت پوستان نسبت به ماهی (فصل ۴) و در مرحله بعد نسبت به مهره داران عالی، شناخت کمتری وجود دارد. پایداری قابلیت هضم پذیری یک ماده غذایی به رغم تأمین غذا از ماده غذایی یکسان، مورد بررسی اندک قرار گرفته است.

مشخص شده که حداقل در مورد پست لاروها، میزان هضم پذیری با سن افزایش می یابد. در این رابطه اثر عوامل زیستی به میزان بسیار کمی بررسی شده است. بنابراین، موضوع پایداری قابلیت هضم پذیری مواد غذایی در سخت پوستان مشابه مهره داران است، از قطعیت چندانی برخوردار نیست.

٤-١٥ - خلاصه

مطالعه آناتومی و فیزیولوژی هضم در سخت پوستان تفاوت های اساسی ساختار گوارشی آنها را نسبت به مهره داران آشکار ساخته و ویژگی های منحصربفرد و شگفت انگیزی را در مقایسه با آنها بیان می دارد. غده گوارشی آنها همراه با ساختار و کارکرد منحصربفردشان، هیچ تشابهی با مهره داران یا حتی ماهیهای دارای هپاتوپانکراس ندارد. در مقابل، همترازی جالبی بین این شاخه و لارو ماهی و حتی ماهیان فاقد معده وجود دارد. تمامی این مطالعات هماهنگی زیادی بین تحقیقات پایه ای و تخصصی بوجود آورده که بطور حتم امکان پیشرفت های زیاد در این زمینه را فراهم خواهد کرد.

بطورکلی، در اولین تحقیقات صورت گرفته پیرامون سیستم گوارش سخت پوستان در رابطه با هضم پروتئین ها، چربیها و بویژه هیدرات‌کربن‌ها، کارآیی قابل مقایسه ای با سیستم گوارش مهره‌داران مشاهده شد. با این وجود، بیان این تفسیر اولیه باید با احتیاط همراه باشد زیرا اندازه‌گیری های کمی تحت شرایط سخت انجام شده و حتی به آن دسته از مواد غذایی که سخت‌پوستان نیاز ویژه ای به آنها دارند نظیر کیتین، فسفولیپید ها یا کلسترول ها کمتر پرداخته شده، ضمن آنکه اختلافات بین گونه ای احتمالی نیز اغلب ناشناخته باقی مانده اند.

«فصل ١٦»

تغذیه و غذادهی در لارو میگوهای پنئیده

مراحل توسعه لاروی میگوی پنئیده توسط هودیناگا (۱۹۴۲)، که صرفا به پرورش آزمایشگاهی میگوی ژاپنی پرداخته، تشریح شده است. این تنها مطالعه تا سال ۱۹۷۵ بود و پس از آن مطالعات زیادی در جهت حمایت از توسعه چشمگیر هچری ها در سرتاسر جهان در زمینه نیازهای تغذیه ای و هضم لاروی صورت گرفت. این مطالعات نشان دادند که میگوها طی دوره لاروی به عنوان یک ارگانیسم پلاژیک، از نظر عادات تغذیه ای و احتیاجات غذایی تفاوت فاحشی با میگوهای جوان و پست لاروهای عموما کف‌زی، دارند.

۱-۱٦ - تکامل لاروی و انتوژنی دستگاه گوارش

۱-۱-۱٦) مرحله اندوتروفیک

مدت زمان رشد جنین پس از تخم ریزی و تا زمان تفریخ حدود ۱۵ ساعت طول می کشد و ناپلئوس، ارگانسیمی با اندازه حدود ۳۰۰ میکرومتر، در مرحله تفریخ ظاهر می شود. در مقایسه با سایر دکاپودها، تمام دوره رشد لاروی میگوهای پنئیده در خارج از تخم صورت می گیرد که این ویژگی، این گروه از جانوران را به مدلی ایده آل جهت مطالعه پیرامون نحوه کارکردهای مختلف گوارشی در جریان انتوژنی تبدیل نموده است.

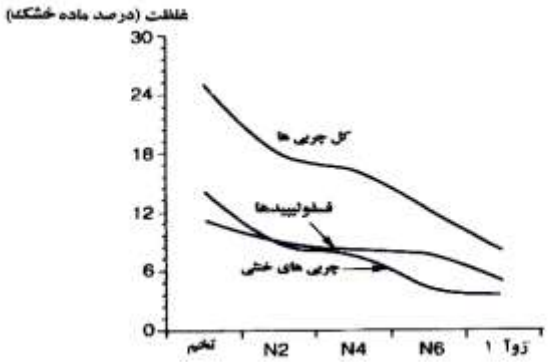
رشد شش مرحله ای ناپلئوس (N1-N6) طی ۴۸ ساعت رخ می دهد که در این مدت لارو هنوز فاقد دستگاه گوارش بوده و رشد از طریق ذخیره کیسه زرده انجام می شود. چربی ها ۲۰ درصد ماده خشک مرحله N1 و ۸ درصد مرحله N6 را تامین می کنند. در مرحله اندوتروفیک، چربی ها به عنوان عمده ماده انرژی زا محسوب می شوند(شکل۱- ۱۶). ترکیب بیوشیمیایی تخم (جدول ۱- ۱۶) که به نوع غذادهی مولدین بستگی دارد، ظرفیت ارگانسیم برای رشد را به شکلی صحیح برآورد می کند. به منظور رشد سریع و پایدار در دو مرحله جنینی و پس از آن به مقدار بالایی از اسیدهای چرب اشباع نشده زنجیره بلند سری های n-3 (HUFAs) نیاز است که تشکیل‌دهنده ترکیبات مهمی از غشاهای بیولوژیک هستند. این مقدار معادل ۴۰ درصد ماده خشک موجود در تخم است. لازم است که ویتامین های C (آسکوربیک اسید) و E (آلفا توکوفرول) به اندازه کافی در تخم وجود داشته باشند تا چربی های غشایی و داخلی را از پراکسیده شدن حفظ کنند.

جدول ۱-۱٦) مقادیر برخی ترکیبات تخم میگوی پنئیده
در ارتباط با ماده خشک (Cahu *et al*., 1988)

ترکیبات	مقدار
پروتئین ها	۵۵- ۵۰ درصد
کل چربی ها	۲٦- ۲۲ درصد
درصد فسفولیپیدها	۱۲- ۸ درصد
چربی های خنثی	۱٤-۱۰ درصد
چربی غیر اشباع سری n-3 (HUFA)	٤- ۳/۵ درصد
آلفا توکوفرول	۰/٦-۰/۳ میلی گرم بر گرم
اسکوربیک اسید	۰/۸-۰/٤ میلی گرم بر گرم

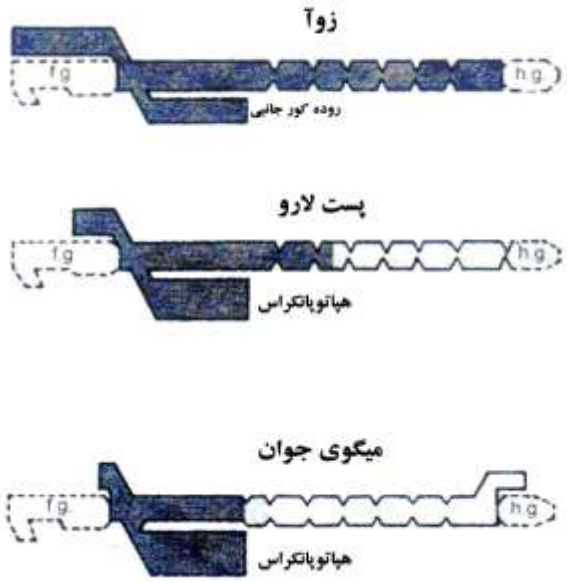
۲-۱-۱٦) مرحله اگزوتروفیک

در این مرحله ارگانیسم از طریق چند نوبت پوست اندازی رشد می‌کند که ممکن است با متامورفیسم همراه باشد. با شروع مرحله زوآ که شامل سه مرحله (Z1-Z3) است یک دستگاه گوارش کارآمد خطی ایجاد می شود.



شکل ۱-۱۶) تنوع در کل چربی ها، مقدار فسفولیپید و چربی خنثی
طی مرحله اندوتروفیک در *Penaeus indicus* (Cahu *et al*., 1988)

بنابراین ارگانیسم در این مرحله یک فیلترکننده غذاست و عمدتا رژیم علفخواری دارد. در طبیعت، زوآ از گونه های مختلف فیتوپلانکتون ها عمدتا دیاتومه‌ها تغذیه می کند. مرحله بعدی، مایسیس (M1-M3) است و قبل از مرحله پست لارو(PL)، متامورفیسم رخ می دهد.رژیم غذایی در مرحله مایسیس به سمت گوشتخواری و صید طعمه های مختلف کپه پودها تغییر می کند. از زمان تفریخ تا اولین مرحله پست لاروی و کف زی شدن حیوان، با توجه به دمای محیط بین ۲۵ تا ۳۲ درجه سانتیگراد، ۱۰ تا ۱۳ روز طول می کشد. این تغییر رفتاری و مرفولوژیکی با تشکیل ساختار مجدد آناتومیکی و کارآمد دستگاه گوارش همراه است. این پدیده در مورد گونه *Penaeus setiferus* تشریح شده است Lovett and Felder, (1990). در این لاروها ساخت و ترشح آنزیم های پانکراتیک توسط زوائد گوارشی جلویی و عقبی موجود در قسمت پروکسیمال دستگاه گوارش انجام می شود. در لحظه متامورفیسم، بین مراحل M3 و PL4 (پست لارو ۴ روزه)، زوائد جلویی تجزیه و متلاشی می شوند. پس از این مرحله، لوب های هپاتوپانکراس یا غدد گوارشی از زوائد عقبی منشعب شده و به شکل قابل توجهی افزایش حجم می یابند تا غده کاملی ایجاد شود. تنها ۳ تا ۴ هفته بعد از رشد پست لاروی، دستگاه گوارش متمایز شده و فرم کامل و بالغ آن بوجود می آید و شروع به فعالیتی کاملا متفاوت از مهره داران می کند (فصل ۱۵ و شکل ۲-۱۶). بعد از متامورفیسم افزایش قابل توجهی در مدت زمان انتقال غذا در دستگاه گوارش بوجود می‌آید.



شکل ۲-۱۶) توزیع فعالیت فسفات قلیایی در دستگاه گوارش *Penaeus setiferus* **در جریان رشـد لاروی. این آنزیم نشان دهنده محل های جذب و هضم غشایی است. سایه سیاه رنگ: فعالیت بالا، سایه کم رنگ: فعالیت پایین، سایه سفید رنگ: بدون فعالیت.** F.g**: روده جلویی،** h.g **: روده خلفی. روده میانی در وسط است. توجه به این نکته ضروری است که طی انتوژنی، روده کور جانبی به هپاتوپانکراس تبدیل می شود** (Lovett and Felder, 1990)

۲-۱۶ - ظهور آنزیم های گوارشی و میزان فعالیت آنها در طول رشد

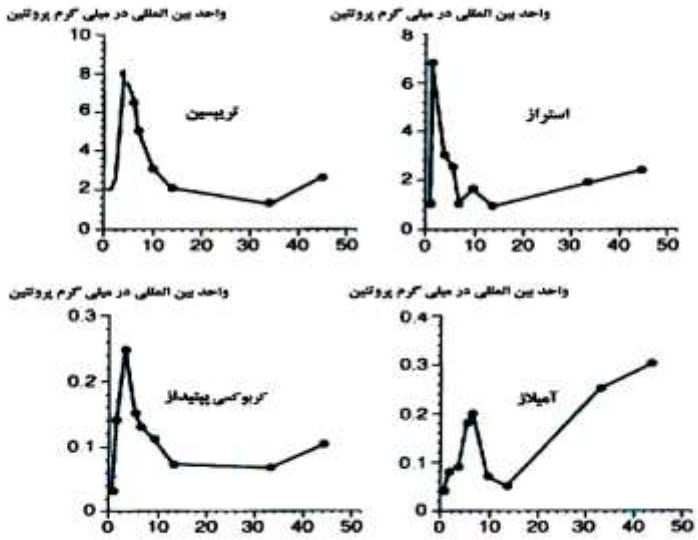
۱-۲-۱۶) شمای کلی فعالیت آنزیمی در طول رشد

پیش از باز شدن دهان، آنزیم های گوارشی وجود دارند بطوریکه وجود آنزیم هـای تریپسـین و آمـیلاز از مرحله ناپلئوس و حتی در تخم مشاهده شده است. طی دوره رشد، پروفیل آنزیم های مـورد مطالعـه شـامل تریپسین، آمیلاز، کربوکسی پپتیداز و استراز بسـیار مشـابه یکدیگرنـد. در مرحلـه زوآ افـزایش سـریعی در فعالیت ویژه آنزیم ها رخ می دهد، سپس در مرحله مایسیس افت شدیدی ظاهر می شود که چند روز پـس از متامورفیسم به حداقل می رسد(شکل ۳-۱۶).

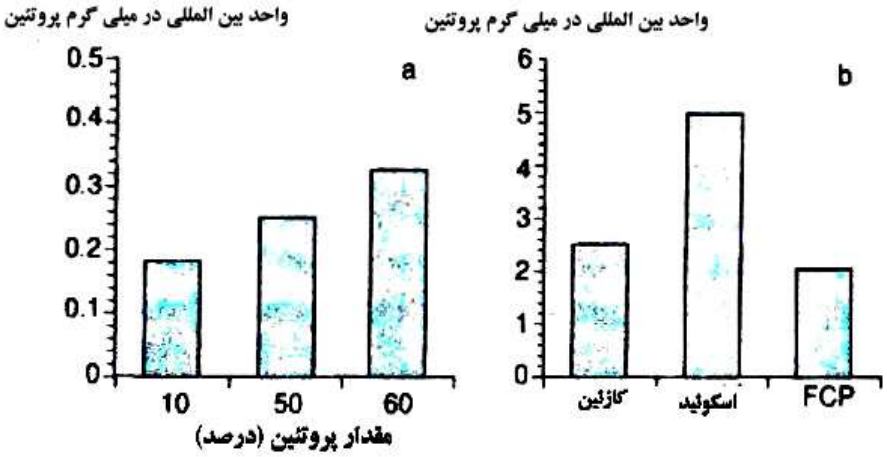
پس از آن، فعالیت آنزیم ها در مرحله پست لاروی افزایش قابل توجهی می یابد. همزمان با تحلیل بخش قدامی روده های کور گوارشی بر اثر متامورفیسم فعالیت آنزیمی کاهش می یابد. افزایش نهایی در فعالیت آنزیم ها همزمان با تشکیل تعداد زیادی لوله های هپاتوپانکراس رخ می دهد. پروفیل فعالیت آنزیمهای گوارشی در لارو میگوهای پنئیده مشابه پروفیلی است که در بیشتر گروههای فیلوژنتیک مربوطه طی دوره تکامل پست لاروی تشریح شده است. در ماهی و حتی پستانداران در اولین روزهای رشد پس از تولد فعالیت آنزیم های گوارشی افزایش چشمگیری می یابد. به دنبال آن با گذشت فاصله زمانی معینی، سیر نزولی پیدا می کند که همزمان با تکامل دستگاه گوارش در انواع بالغ می باشد(فصل ۱۲).

۲-۲-۱٦) سازگاری فعالیت آنزیمی با غذا

آزمایشهای انجام شده در زمینه غذادهی لارو میگوی *penaeus vannamei* با استفاده از جیره های غذایی مصنوعی بصورت ذرات خیلی ریز، همبستگی مثبتی بین میزان تریپسین سنتز شده و مقدار پروتئین غذا (کازئین) نشان داده اند (شکل ۴a-۱۶). علاوه بر این، ماهیت و فرم مولکولی نیتروژن مصرفی، میزان سنتز پروتئازهای مختلف را تحت تاثیر قرار می دهد. آرد اسکوئید بصورت ویژه ای صرفا فعالیت کموتریپسین را تحریک کرده، در حالیکه پروتئین مایع تغلیظ شده ماهی(FCP)به عنوان یک منبع پروتئین های هیدرولیز شده موجب کاهش مقدار کموتریپسین و تریپسین می شود(شکل ۴ b-۱۶). همچنین بنظر می رسد که سنتز آمیلاز بیشتر از طریق نشاسته ذرات طبیعی نسبت به نشاسته محلول تحریک می شود. بر اساس مراحل قبلی(زوآ) لارو قادر به تنظیم سنتز آنزیم ها با توجه به غلظت و ماهیت مواد غذایی است. همچنین، طی پرورش لاروها از طریق سلسله مراحل غذادهی شامل میکروجلبک در طول مرحله زوآ و سپس افزودن ناپلی آرتمیا در مرحله مایسیس، در ابتدا مقدار زیادی آمیلاز و سپس پروتئاز ترشح می شود. در حد فاصل مراحل زوآ و مایسیس، نسبت آمیلاز به پروتئاز که اغلب برای توصیف ماده غذایی تحت عنوان علفخواری یا گوشتخواری بکار می رود، به میزان ده برابر کاهش می یابد. همچنین در مرحله مایسیس فعالیت کیتیناز همراه با تغذیه از زئوپلانکتون ها افزایش می یابد.



شکل ۳-۱۶) تنوع فعالیتهای ویـژه برخـی آنـزیم هـای گوارشـی طـی رشـد لاروی *Penaeus setiferus* (Lovett and Felder, 1990). IU : واحد بین المللی اندازه گیری فعالیت آنزیمی



شکل ٤-١٦) پاسخ فعالیت ویژه تریپسین به مقدار پروتئین (a) و کموتریپسین به انواع پروتئین ها در جیره غـذایی مراحـل زوآ در *Penaeus vannamei* (Le Moullac *et al.*, 1994). IU : واحـد بـین‌المللـی اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی

در لاروهایی که با ذرات ریز غذایی تغذیه می شوند نسبت به آنهایی که بصورت مداوم با جلبک و آرتمیا مورد تغذیه قرار می گیرند، سطوح پایین تری از آنـزیم تولیـد مـی شـود. امـا افـزودن غلظـت هـای پـایین (۱۰۰۰۰ سـلول در میلـی لیتـر) از جلبـک *Chaetoceros gracilis* بـه محـیط پـرورش منجـر بـه افـزایش فعالیتهای آنزیمی در لاروهای تغذیه شده با ذرات ریز غذایی می شود. این مکمل جلبکـی تولیـد آنـزیم را تحریک نموده و بر اساس نظر برخی، بهبود در رشد را هنگام تغذیه لارو با جیره ای مرکـب از ذرات ریـز غذایی و جلبک توجیه می کند. این پدیده منجر به ایجاد آبهای سبز رنگ در واحدهای پرورش مـاهی بـه عنوان یک پدیده مفید می شود. اما هنوز هیچ رابطه ساده ای بین میزان آنزیم اندازه گیـری شـده در لارو و رشد آنها بدست نیامده است. فرضیات متعددی برای تشریح اثر مفید آبهای سبز ارائه شده است.

ترکیب غذا صرفا فعالیت آنزیم هایی که نحوه عملکرد آنها در جریـان انتـوژنی توسـعه مـی یابـد را تحـت تاثیر قرار می دهد. برای مثال، فعالیت ویژه آمیلاز و نسبت آمیلاز به پروتئاز در مرحله مایسیس سیر نزولـی دارد و مجدداً در مرحله پست لاروی حتی زمانی که حیوان فقط با آرتمیا تغذیـه مـی شـود، افـزایش قابـل توجهی می یابد. ورود نشاسته در این مرحله تنها این پدیده را تشدید می کند.

۳-۱۶- نیازهای تغذیه ای

به منظور تامین نیازهای تغذیه ای لارو، آزمایشهای متعددی با استفاده از جیره های ترکیبی یا خالص انجـام شده است که امروزه امکان ایجاد نرخ بالایی از بازماندگی را فـراهم مـی سـازند. بـا ایـن وجـود، دانـش و آگاهی کافی در این زمینه وجود ندارد.

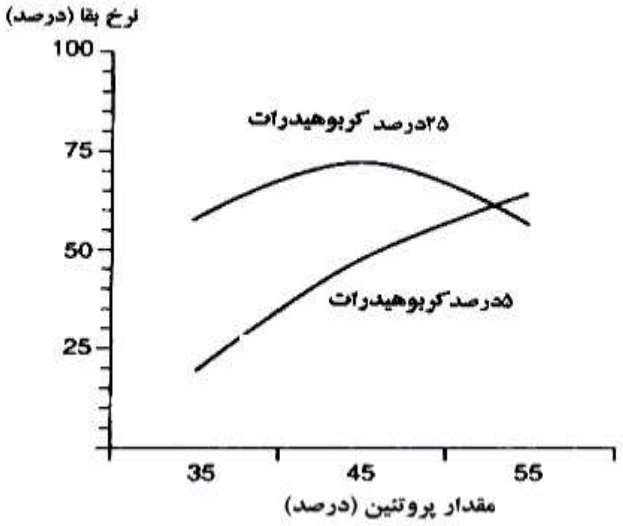
۱-۳-۱۶) پروتئین

نیازهای پروتئینی بسیار متنوعی برای سخت پوستان ثبت شده اند. به عقیده کانازاوا این نیازها بسته بـه گونـه های مورد مطالعه و منبع پروتئنی مصرفی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است. به طـورکلی لازم اسـت جیـره غـذایی سخت پوستان جوان حاوی ۳۵ تا ۵۰ درصد پروتئین باشد.

منابع پروتئینی که معمولا برای تغذیه میگوهـای بـزرگ مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیرنـد شـامل آردمـاهی، اسکوئید، خرچنگ ها، صدف ها، کنجاله سویا، مخمر لاکتیک، کـازئین و غیـره بـرای تغذیـه لاروهـا نیـز مناسب می باشند.

آردماهی بهترین منبع پروتئینی برای لارو میگو محسوب می شود و عملا می تواند به عنوان منبع اولیه ذرات ریز غذایی مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، مقدار برخی آمینواسیدهای ضروری در کنسانتره پروتئین خرچنگ، آرد اسکوئید یا کازئین محدود بوده و بنابراین باید آنها را با سایر پروتئین ها ترکیب کرد تا رشد و بقای مطلوبی را برای لاروها فراهم شود.

همچنین، غلظت بهینه پروتئین یک جیره غذایی با مقدار هیدرات‌کربن آن مرتبط بوده که امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین ها را فراهم می کند. برای لارو میگوی ژاپنی، در صورت استفاده از جیره‌حاوی فقط ۵ درصد هیدرات‌کربن، مقدار بهینه پروتئین حدود ۵۵ درصد است. درحالیکه وجود ۲۵ درصد هیدرات‌کربن در جیره، امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین را تا ۴۵ درصد فراهم می کند (شکل ۵-۱۶). افزایش مقدار هیدرات‌کربن جیره غذایی با در نظر گرفتن سطح پایین پروتئین (۳۵ درصد) بقای لارو را ۵ تا ۲۵ درصد بهبود می بخشد اما چنین تاثیری در مورد جیره حاوی ۵۵ درصد پروتئین وجود ندارد. بنابراین، لارو سخت پوستان نسبت به انواع جوان از هیدراتهای‌کربن به عنوان منبع انرژی زا، بهتر استفاده می کنند و این امر امکان صرفه جویی در مصرف پروتئین را فراهم می سازد.



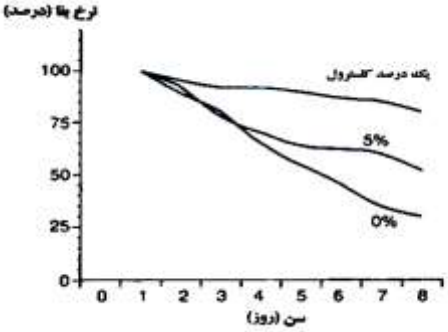
شکل ۵-۱۶) اثر مقدار پروتئین جیره بر میزان بازماندگی لارو میگوی ژاپنی (*Penaeus japanicus*). تاثیر هیدراتهای‌کربن بر صرفه جویی در مصرف پروتئین(Teshima and Kanazawa, 1984).

از سوی دیگر، چنین بنظر می رسد که لاروها ظرفیت خوبی برای بهره برداری از اسیدهای‌آمینه خالص(کریستاله شده) دارند. اضافه کردن اسیدهای‌آمینه ضروری بویژه آرژنین به جیره ای که بر پایه کازئین تعریف شده، بقای لارو را افزایش می دهد. همچنین پپتیدهایی نظیر آلانیل ـ گلایسیل ـ گلایسین یا آلانین ـ والین تاثیر چشمگیری بر رشد دارند با این وجود، هنوز معلوم نیست که آیا این پپتیدها از طریق اثر یک جذب کننده ارزش غذایی جیره را بهبود می بخشند یا از عوامل اصلی رشد محسوب می شوند.

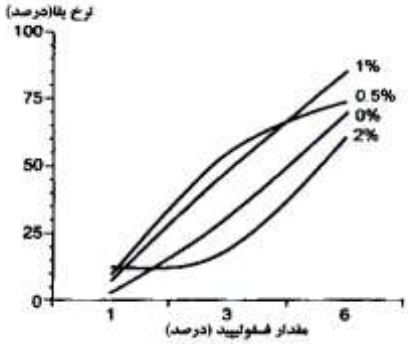
۲-۳-۱۶) چربی

از بین چربی ها کلسترول، فسفولیپیدها (PL) و اسیدهای چرب ضروری (EFA) از جمله ترکیبات ضروری شناخته شده در تغذیه سخت پوستان هستند. لاروها نیز همچون انواع جوان قادر به سنتز استرولهای *de novo* نیستند اما احتمالا قادرند تبدیل زیستی ارگواسترول و بتا ـ سیتو استرول را به کلسترول، ترکیبی که از این طریق می تواند جایگزین سایر استرول ها شود، تحت تاثیر قرار دهند. این ترکیبات دارای یک ظرفیت احیاء برای افزایش طول و غیر اشباع نمودن اسیدهای چرب و اسیدهای چرب ضروری هستند بطوریکه در سخت پوستان جوان شامل اسیدهای چرب پلی اشباع نشده سری n-۳ (HUFAs) بخصوص n-۳ ۵ : ۲۰ (EPA) و n-۳ ۶ : ۲۲ (DHA)می باشند (فصل ۷). چون ظرفیت کافی به منظور سنتز فسفولیپیدها از اسیدهای چرب یا تری آسیل گلیسیرول ها (TAC) وجود ندارد بنابراین، فسفولیپیدها مولکول هایی ضروری می باشند.

غلظت بهینه کلسترول نزدیک به یک درصد است. فقدان استرول ها و وجود مقادیر اضافی کلسترول (۵ درصد) منجر به بروز مرگ و میر بالا می شود(شکل ۶-۱۶). غلظت های بهینه اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع سری n-۳ و فسفولیپیدها به یکدیگر وابسته اند. در میگوی ژاپنی بهترین ترکیب با استفاده از جیره‌ای حاوی ۰/۵ تا یک درصد اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع سری n- ۳ (EPA+DHA) و ۳ تا ۶ درصد فسفولیپید حاصل می شود (شکل ۷-۱۶). فسفولیپید غذایی به صورت امولسیونی که با استفاده از چربی‌های خنثی مصرف شده شامل تری آسیل گلیسیرول ها و کلسترول ها حاصل می شود، وارد دستگاه گوارش می شوند. موثرترین آنها در لاروها فسفاتیدیل کولین و فسفاتیدیل اینوسیتول هستند که در لسیتین سویای تجاری وجود دارند.



شکل ٦-١٦) تاثیر مقدار کلسترول در بقای لاروی میگوی ژاپنی (*P.japanicus*). **آزمایش با استفاده از جیره خالص شامل ٥ ، ١ و صفر درصد کلسترول انجام شده است**(Teshima *et al*., 1983)



شکل٧-١٦) اثر اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند و فسفولیپیدها بر بقای لارو در میگوی ژاپنی(*P.japanicus*) **آزمایش با استفاده از جیره خالص شامل ٢ ، ١، ٠/٥ و صفر درصد اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند**(HUFAs) انجام شده است (Kanazawa *et al*., 1985)

بخشی از چربی ها از طریق منابع پروتئینی و بخشی از طریق سایر روغن ها (شامل روغن کبد ماهی که غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع است) و نیز لسیتین سویا تامین می شوند. معمولاً سطح چربی ٨ درصد برای تضمین رشد مطلوب لاروها کافی است. افزایش این غلظت تا ١٦/٥ درصد در رشد و بقای لارو هیچ تاثیری ندارد.

۳-۳-۱٦) ویتامین ها

همچون مهره داران، ویتامین های محلول در آب و محلول در چربی برای لارو سخت پوستان ضروری‌اند وکمبود آنها منجر به مرگ و میر سریع لارو می شود. با این وجود، تعیین مقدار نیازها در این زمینه بسیار پیچیده بوده و لازم است ویتامین ها به میزان زیاد به غذا اضافه شوند تا هدررفت آنها از طریق آبشویی به حداقل برسد. بر این اساس غلظت یک درصد ویتامین C در جیره غذایی توصیه شده است. اما این برآورد بیش از حد ناشی از میزان بالای آبشویی آن است. مقدار مورد مصرف را می توان از طریق استفاده از اشکال مقاوم و پایدار (فسفات اسکوربیل) به میزان قابل توجهی کاهش داد. مطالعات اخیر نشان داده است که تامین ۱۰۰ میلی گرم از آسکوربیک اسید در فرمت L – اسکوربیل – ۲ – فسفات به ازای هر کیلوگرم غذا جهت تضمین بقا و رشد لارو کافی است. بطورکلی، استفاده از ۲۰۰۰ میلی گرم به ازای هرکیلوگرم غذا، مقاومت بیشتری نسبت به استرس زیست محیطی و عفونت های باکتریایی در پست لارو ایجاد می کند.

٤-۱٦ - غذادهی عملی

نیازهای غذایی میگوهای پنئیده از طریق غذادهی رایج شامل استفاده از جلبک تک سلولی در مرحله زوآ و سپس افزودن ناپلی آرتمیا در مرحله مایسیس بطور کامل تامین می شود. بیشترین جلبک های مورد استفاده شامل *Skeletonema castatum, Tetraselmis sp, Chaetoceros sp* و *Isochrisis galbana* می باشند که در غلظت ۵۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ سلول در هر میلی لیتر آب استفاده می شوند. برای تغذیه لارو در مرحله M1 تعداد ۱۰ ناپلی برای هر لارو در روز مورد نیاز است که این تعداد به طور روزانه تا رسیدن به ۱۰۰ ناپلی برای هر لارو در روز در مرحله PL4 افزایش می یابد. در حال حاضر این روش امکان بقای ۸۰ درصد لاروها را در واحدهای پرورش تحت شرایط کنترل شده، فراهم می کند. در پرورش متراکم به روش ژاپنی بر اساس نگهداری و پرورش فیتوپلانکتون ها و به دنبال آن شکوفایی زئوپلانکتونی در حجم خیلی زیاد (۲۰ تا ۵۰ مترمکعب)، می توان تولید بسیار متغیری را استحصال نمود. امروزه میکروکپسول ها یا ریز ذرات مختلفی در سرتاسر جهان موجود هستند و در هچری ها مصرف می شوند که در بسیاری موارد از آنها به عنوان جایگزین نسبی غذای طبیعی در سطح ۵۰ تا ۷۰ درصد استفاده می شود.

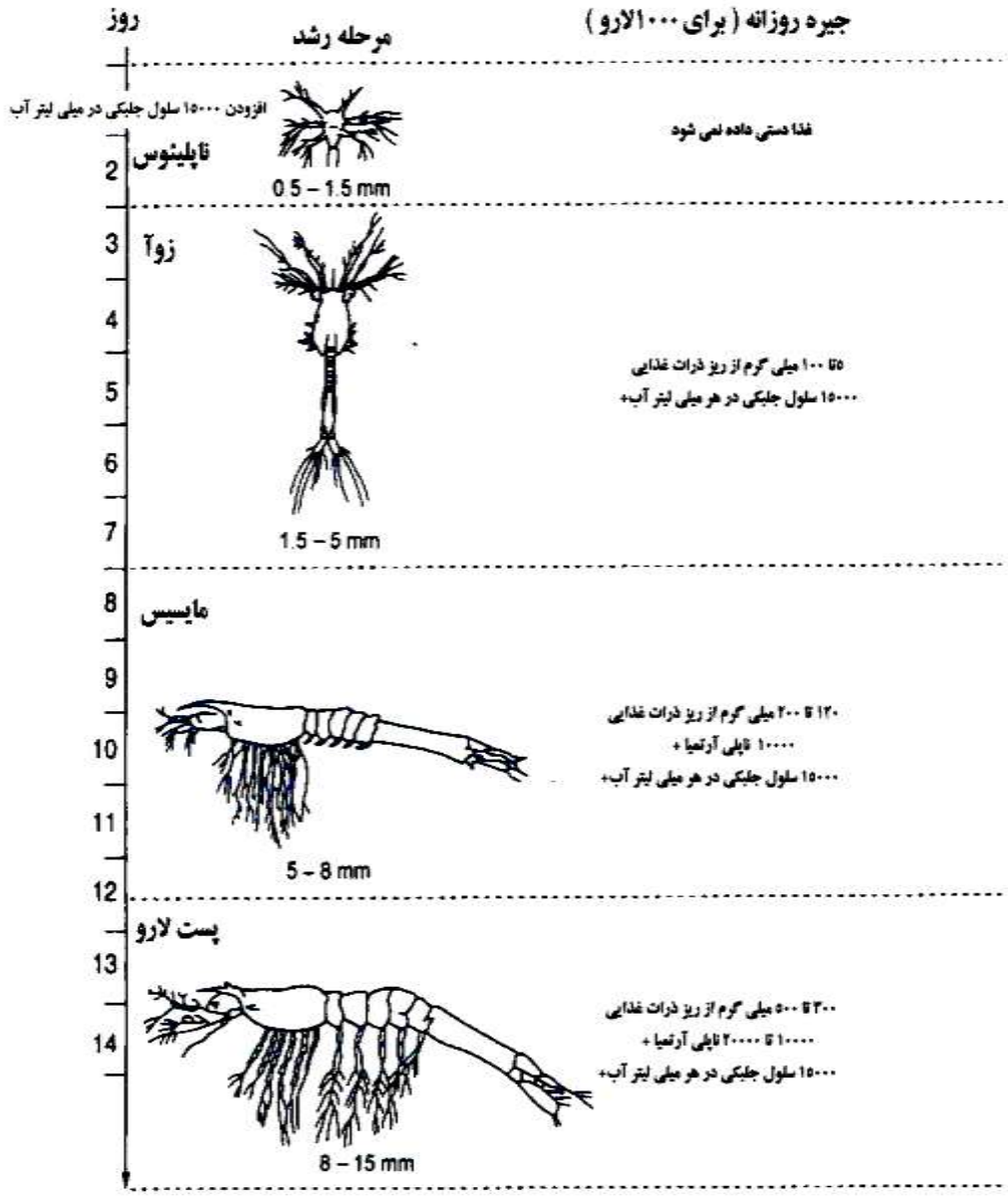
اما در تعدادی از هچری ها به عنوان تنها غذای مصرفی، مورد استفاده قرار می گیرند. صرف نظر از ارزش غذایی این میکروکپسول ها باید دارای خصوصیات ذیل باشند (Jones *et al*., 1993).

- قابلیت پذیرش : ریز ذرات ها باید تراکمی معادل غذای زنده داشته و از اندازه ای مناسب برای بلعیده شدن برخوردار باشند. لازم است تا قطر آنها برای مراحل اولیه در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ میکرومتر و برای مرحله مایسیس ۱۲۵ تا ۲۵۰ میکرومتر باشد.

- پایداری: ریز ذرات ها باید در آب پایدار بوده و قابلیت شکسته شدن آنها قبل از بلعیده شدن حداقل باشد. فرآیندهای مختلفی جهت کپسول دار کردن معرفی شده اند که از جمله آنها استفاده از عوامل همبند نظیر کاراگینین، زئین، ژلاتین یا آلژینات ها هستند. این روش باید ماندگاری ترکیبات مختلف ریز ذرات ها را تضمین و به این صورت آلودگی آب را محدود کند.

ـ حفاظت : باید امکان نگهداری و ذخیره ریزذرات ها برای چندین ماه بدون هیچ گونه تغییر وجود داشته باشد.

مقدار جیره روزانه توصیه شده متناسب با مرحله رشد در شکل ۸-۱۶ نشان داده شده است. جیره روزانه باید طی ۵ تا ۶ نوبت داده شود.



شکل ۸-۱٦) مراحل رشد لارو میگوی پنئیده و نمونه ای از نحوه غذادهی در یک مزرعه پرورش

۵-۱۶- خلاصه

طی ۲۰ سال گذشته علم و دانش بشر در ارتباط با فیزیولوژی هضم و نیازهای غذایی لارو میگوهای پنئیده به اندازه کافی پیشرفت کرده و امکان توسعه استفاده از غذاهای مصنوعی از اولین مراحل لاروی را فراهم ساخته است. این در حالی است که به رغم مطالعات زیاد صورت گرفته، هنوز هیچ نوع معادل غذایی برای لاروهای جوان ماهیان دریایی وجود ندارد.

به هر حال، امکان بهبود در بقا، رشد و کیفیت لارو درهچری هایی که منحصراً از جیره های غذایی تجاری استفاده می کنند، وجود دارد. پرورش دهندگان همچنان ترجیح می دهند تا از پست لارو وحشی که مقاومترند، استفاده کنند. احتمالاً غذادهی تا حدی این تفاوت را توجیه می کند. خوراک هایی با ترکیبات بیوشیمیایی یکسان برای مراحل مختلف لاروی استفاده می شوند در حالیکه تغییرات در رژیم غذایی مشاهده شده در لارو وحشی و همچنین تغییر شکل پیچیده دستگاه گوارش منجربه تغییر جزئی نیازهای غذایی در جریان رشد می شود. با استفاده از خوراک های سازگار با نیازهای ویژه هر مرحله، می‌توان میزان رشد، بقا و کیفیت پست لارو را افزایش داد.

«فصل ۱۷»

تغذیه و غذادهی میگو در پرورش متراکم و گسترده

بررسی نیازهای تغذیه ای میگو با مطالعات کانازاوا و همکاران در سال ۱۹۷۰ آغاز شد. آنها به منظور تحقیق روی میگوی ژاپنی، از ایده استفاده از جیره غذایی فرموله شده در تغذیه ماهی آزاد چینوک و دو نوع بندپا، به نام کرم ابریشم و آرتمیا الهام گرفتند. این جیره امکان رشد بسیار مطلوب را فراهم نمود و راهی برای انجام مطالعات منظم بعدی باز کرد که می توانست به سایر گونه ها تعمیم داده شود. پرورش میگوی ژاپنی از سال ۱۹۷۰ در کشور ژاپن شروع شد، اما بسرعت از رونق افتاد و اهلی سازی و پرورش میگو به سمت گونه های گرمسیری گسترش یافت بطوریکه امروزه تقریبا کل تقاضای بازار جهانی را تامین می کند. از نظر تئوری، نیازهای گونه های اصلی مورد استفاده در آبزی پروری نیز بایستی مورد تجدید نظر قرار گیرند. در واقع، اگرچه تولید جهانی عمدتاً شامل تولید میگوی ببری یا میگوی بزرگ(*Penaaeus monodon*) و در مقیاس کمتر میگوی سفید (*P.vannamei*) است اما ۲۰ درصد تولید بین ۱۰ گونه تقسیم میشود که از لحاظ پرورش در درجه دوم اهمیت قرار دارند و مهمترین آنها میگوی چینی (*P.orientalis = P.chinensis*)، میگوی آبی (*P.stylirostris*)، میگوی هندی و میگوی ژاپنی هستند. در عمل، نیازهای غذایی ویژه این میگوهای مختلف تنها در سطح محدودی شناسایی شده است(D'Abramo *et al*., 1997). در نظر گرفتن نوع روش پرورش نیز اهمیت دارد.

دامنه وسیعی از پرورش نیمه متراکم، از جنوب شرق آسیا تا آمریکای لاتین گسترش دارد که با توجه به تعداد میگوهای پرورش یافته در هر مترمربع از استخر از یکدیگر متمایز می شوند. تراکم بین ۱۰ تا ۱۵ و ۲۰ تا ۲۵ میگو در هر متر مربع از استخر متغیر است. تامین غذا به شکل پلت و گاهی به شکل اکسترود صورت می گیرد(فصل ۲۱). ضریب تبدیل غذایی معمولاً بین ۱/۵ تا ۲/۵ بوده و تولید نهایی از ۱/۵ تا ۳ تن در هکتار در سال متغیر است. شایان ذکر است که روش پرورش متراکم از معدود روش هایی است که در حال حاضر در مقیاس کوچک در تاهیتی مورد استفاده قرار گرفته و تولیدی معادل ۲۰ تا ۲۵ تن در هکتار را طی دو برداشت فراهم کرده است. در پرورش نیمه متراکم بسختی می توان نسبت غذایی را مشخص نمود که مستقیما توسط انسان تامین می شود. افزودن غذای تکمیلی به غذای طبیعی با توجه به شرایط موجود بصورت مستقیم یا غیر مستقیم (از طریق تحریک تولیدات طبیعی در استخر) ایفای نقش می کند که این نقش با افزایش سن حیوانات اهمیت بیشتری دارد. در این فصل اصول تغذیه و غذادهی میگو تشریح خواهد شد. هر چند اهمیت این اصول برای اهداف عملی پرورش منحصراً بر پایه بررسیهای آزمایشگاهی بوده که در آن میگو فقط با غذای فرموله شده مصنوعی تغذیه می شود.

۱-۱۷ - تغذیه میگوهای جوان تحت شرایط آزمایشگاهی

۱-۱-۱۷) نیازهای پروتئینی

۱-۱-۱-۱۷) سطح بهینه پروتئین برای گونه های اصلی

در بین تمام احتیاجات غذایی میگو، پروتئین ها بیشترین مطالعات را بخود اختصاص داده اند. حداقل سطح بهینه پروتئین برای حدود ۲۰ گونه از میگوها اندازه گیری یا برآورد شده است. نتایج حاصله در مورد ۹ گونه مهم اقتصادی در جدول ۱-۱۷ ارائه شده است.

با توجه به این داده ها چنین بنظر می رسد که تفاوت های فاحشی بین گونه های مختلف وجود دارد. بر اساس تجزیه و تحلیل برخی از محققین، گونه های گوشتخوار نسبت به گونه های همه چیز خوار یا به احتمال زیاد نسبت به گونه های علفخوار، نیاز پروتئینی بیشتری دارند. در نگاه اول این ادعا منطقی بنظر می رسد اما با این مسئله باید محتاطانه برخورد نمود. این اختلافات به واسطه عوامل مختلفی بوجود می‌آید.

نیازهای میگو با استفاده منابع پروتئینی مختلف از قبیل کازئین خالص یا کازئین همراه با مکمل اسید آمینه، آرد ماهی، آرد اسکوئید یا حتی مخلوط پروتئین های حیوانی و گیاهی اندازه گیری شده است. بسیاری از آزمایشها بدون آگاهی از قابلیت هضم پروتئین انجام گردیده و نهایتاً اینکه در روش های مختلف سطح انرژی بطور غیر قابل پیش بینی تغییر می کند.

جدول ۱-۱۷) مقدار پروتئین خام مورد نیاز برای رشد بهینه گونه های مختلف جنس *Penaeus* تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی

گونه ها	محتوا (درصد)	منبع پروتئین	مولف
P. aztecus	۳۰	پودر ماهی و ماهی مرکب	Shewbart & Mies, 1973
P. chinensis	٤۰	پودر ماهی	Liu *et al*., 1990
P. japonicus	٤۲	کازئین	Koshio *et al*., 1993
P. merguiensis	۵۰	مخلوط	Aquacop, 1978
P. monodon	٤۰	کازئین	Aquacop, 1977
P. schmitti	۲۰-۳۵	پودر ماهی	Galindo, 1983
P. selferus	۳۰	مخلوط	Andrews & Sick, 1972
P. stylirostris	۳۰-۳۵	مخلوط	Colvin & Brand, 1977
P.vannamie	۳۰	مخلوط	Cousin *et al*., 1993

۲-۱-۱-۱۷) اصلاحات مورد نیاز

به علت عدم اندازه گیری همزمان نیاز گونه های مختلف طی یک آزمایش مقایسه ای(دشواری ارائه یک پروتکل به منظور کارکردهای عملی)، لازم است تا سطح بهینه پروتئین برای هر گونه و در شرایط استاندارد مورد بازبینی مجدد قرار گیرد. مطالعات اخیر در رابطه با میگوی ژاپنی مشخص نمود که جیره غذایی محتوی ۴۰ درصد پروتئین، حداقل دفع مواد نیتروژنی و رشد بهینه را بهمراه دارد، در حالیکه در تحقیقات پیشین این مقدار، ۶۰ درصد برآورد شده بود. نتایج حاصله، میگوی ژاپنی را از نظر نیاز به پروتئین، مشابه سایر گونه ها قرار می دهد و موجب افزایش شک و تردید در مورد برخی مطالعات قدیمی می شود. در نظر گرفتن پروتئین بیش از حد نیاز میگو، بین سازندگان غذا بسیار متداول است و بنظر میرسد که این افراد بدون داشتن اطلاعات دقیق و صحیح علاقه مندند تا این مقادیر را در حدود ۴۰ درصد

یـا کمتـر در نظـر گیرنـد. ایـن مقـدار تقریبـاً بـا نیـاز گونـه هـایی نظیـر *P.monodon*، *P.stylirostris,P.vannamei* و *P.chinensis*، تحت شرایط پرورش نیمه متراکم مطابقت دارد.

۳-۱-۱-۱۷) سازگاری با سایر عوامل

بر خلاف نقش گونه ها، مراحل رشد یا عوامل زیست محیطی از سوی محققـان چنـدان مـورد توجـه قـرار نگرفته است. اکثر مطالعات روی میگوهای جوان یک گرمی و برخی روی پست لارو صورت گرفتـه و از تغییرات ممکن بین نیاز میگوهای یک گرمی و میگوهای ۲۵ گرمی صرف نظر شده اسـت. در اوایـل دهـه ۱۹۷۰ دانشمندان ژاپنی نوعی جیره غذایی را برای میگوی ژاپنی از مرحله جوانی یا حتـی مرحلـه لاروی تـا مرحله بلوغ پیشنهاد کردند. این غذا شامل غذای فرموله شده حاصل از مواد خام با کیفیت بـالا (اسـکوئید، کریل و آرد ماهی) و بر اساس استانداردهایی بود که محدوده خطا را در نظر می گرفت. ایـن غـذا مـدت زمان زیادی مورداستفاده قرار نگرفت و متخصصین تایوانی خـوراک هـای متنـوعی را بـرای *P.monodon* تولید نمودند که در جدول ۲-۱۷ ارائه شده است. سایر تولیدکنندگان غذا با در نظـر گـرفتن ایـن واقعیـت که در پرورش نیمه متراکم، میگوی جوان عمدتاً از تولید طبیعـی تغذیـه مـی کنـد، توصـیه نمودنـد کـه در ابتدای دوره پرورش به جای استفاده از غذاهای پرپروتئین که برای تغذیه میگوهای بزرگ استفاده میشـود، از غذایی با محتوای پروتئینی کمتراستفاده کنند. باید توجه داشت که در مورد میگو نیز همانند ماهی فرض بر این است که دما و شوری تاثیری در سطح بهینه پروتئین ندارند.

جدول ۲-۱۷) تغییر در مقدار پروتئین غذا متناسب با مراحل رشد میگو (سطوح پیشنهادی)

مقدار پروتئین (درصد از ماده خشک)	مرحله رشد یا وزن زنده انفرادی
٤۲	پست لارو تا یک گرمی
٤۱	۵- ۲ گرم
٤۰	۱۰-۵ گرم
۳۷	۲۰-۱۰ گرم
۳۵	۲۵-۲۰ گرم

۲-۱-۱۷) نیازهای اسیدهای آمینه ضروری

انجام مطالعات با استفاده از استات یا گلوکز حاوی C^{14} این امکان را فراهم نمود تا اسیدهای‌آمینه ضروری ۱۰ گونه از سخت پوستان، میگو و خرچنگ شناسایی شود. فهرست این اسیدهای‌آمینه مشابه اسیدهای‌آمینه ضروری در ماهی است (جدول۱-۶).

نحوه تنظیم اسیدهای‌آمینه ضروری به صورت جزئی مطالعه شده است. برخی محققان عضله میگو و برخی دیگر پروتئین صدف *Ruditapes philipinarum) Malina*) که نرم تنی با ارزش غذایی فوق العاده برای میگوست را به عنوان پروتئین های مرجع انتخاب نموده اند. به دلیل کمبود اطلاعات کافی در مورد مقدار نیاز به هر نوع اسید آمینه ضروری، فرمولاسیون بر پایه پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری عضله میگو پیشنهاد شده است. در این مورد پیشرفت های نسبتاً اندکی صورت گرفته که علت آن مشکلات تکنیکی موجود، بویژه آبشویی اسیدهای‌آمینه خالص ضروری از غذاهای آزمایشی به سبب کندی در مصرف (فصل۱۶) یا در تماس بودن با آب برای مدت طولانی می باشد. بتازگی روش های مکمل سازی با استفاده از آرژنین کپسوله شده (پوشش‌دار)، امکان دسترسی به روش های تعیین مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری در *P.monodon* را فراهم نموده است. انتظار می رود که این روش بزودی در مورد سایر اسیدهای‌آمینه ضروری مهم از نظر اقتصادی، بکار رود. بر این اساس فرمولاسیون باید نه بر اساس کل پروتئین مورد نیاز، بلکه بر اساس مجموع نیازهای مشتمل بر کل پروتئین و اسیدهای‌آمینه ضروری صورت گیرد.

اطلاعاتی در مورد قابلیت دسترسی اسیدهای‌آمینه ضروری در ذرات غذایی و همچنین سطوح پیشنهادی هر اسید آمینه ضروری بدست آمده است (Akiyama *et al*., 1989). در اینجا اشاره به دو نکته ضروری است: احتمالاً نیازهای پروتئین در سخت پوستان نسبت به مهره داران رابطه مستقیم کمتری با رسوب پروتئین دارد که علت آن سنتز کیتین به عنوان پلی هولوساید حاوی ۴۳ درصد پروتئین خام می باشد. علاوه براین، چنین تصور می شود که اهمیت فسفاژن (ساخته شده از آرژنین) در متابولیسم انرژی رابطه بین اسیدهای‌آمینه ضروری پروتئین های بدن و نیاز به این اسیدهای‌آمینه را کاهش می دهد. به عبارت دیگر، تعیین نیازهای واقعی اسیدهای‌آمینه ضروری و غیر ضروری در مورد میگوها دشوارتر از مهره داران است.

۳-۱-۱۷) انرژی و هیدراتهای کربن

۱-۳-۱-۱۷) انرژی

برآورد مصرف انرژی جیره غذایی در میگو تاکنون به صورت کامل انجام نگرفته است. در سطح آزمایشگاهی معمولا اصطلاح انرژی قابل هضم و با استفاده از ضرایبی که همواره مناسب نیستند، محاسبه می شود. تاکنون اندازه گیری قابلیت هضم پروتئین ها و بویژه چربی‌ها وهیدراتهای کربن انگشت شمار بوده است. ظاهراً میگو نیز مانند ماهی مقادیر قابل توجهی از چربی ها و هیدراتهای کربن را به عنوان انرژی مور د استفاده قرار می دهد، بنابراین استفاده معقولانه از این دو ماده مغذی درشت مولکول موجب صرفه‌جویی در مصرف پروتئین جیره غذایی می شود. از اینرو نیازهای روزانه انرژی برای هرگونه با تعیین مرحله رشد و دما به عنوان تنها عوامل اصلی بیان می شود (Cazon and Guillaume, 1997). با کسب این داده ها می توان نسبت پروتئین به انرژی را تعیین نمود که برای مثال برحسب گرم پروتئین بر مگاژول از انرژی قابل هضم بیان می شود (انرژی قابل هضم/ پروتئین قابل هضم، فصل۵).

۲-۳-۱-۱۷) هیدراتهای کربن قابل دسترس

چون تهیه جیره هایی با محتوای پروتئین خام کمتر، فضای بیشتری را برای استفاده از هیدراتهای کربن باقی می گذارند، این مواد مغذی اهمیت روزافزونی یافته اند. در برخی گونه ها قابلیت ذخیره برخی هیدراتهای کربن، قندهای ساده، دی ساکاریدها یا پلی ساکاریدها ثابت شده است. میگو نیز مانند ماهی پس از جذب هیدراتهای کربن مقدار مشخصی از افزایش قند خون را نشان می دهد و گاهی اثرات منفی این پدیده بر رشد چشمگیر است (هرچند رابطه بین علت و معلول هنوز دقیقا مشخص نشده است). در رابطه با هضم یا استفاده متابولیک از هیدراتهای کربن پیچیده مطالعات کمی صورت گرفته است.

امروزه نشاسته به میزان ۲۰ تا ۴۵ درصد در غذای میگوی *P.monodon* گنجانده می شود که از منابعی نظیر برنج، گندم، ذرت، سیب زمینی و ساگو(قابل استحصال از نوعی نخل در خاور دور) یا کاساد بدست می آید. مطالعات آزمایشگاهی جدید ثابت نموده اند که برخی میگوها بر خلاف ماهی، وجود سطح بالایی از نشاسته را در جیره غذایی خود بخصوص به صورت خام بخوبی تحمل می کنند.

در میگوی *P.vannamei* قابلیت هضم نشاسته خام ۷۰ تا ۹۰ درصد و نشاسته ژلاتینه ۹۳ تا ۹۶ درصد است بطوریکه گنجاندن مقادیر ۲۰ تا ۳۵ درصد نشاسته در جیره غذایی، حداقل در این گونه می تواند عملکرد خوبی را بهمراه داشته باشد. بنابراین، استفاده از نشاسته در جیره غذایی میگو به منظور صرفه جویی در مصرف پروتئین همانند استفاده از چربی در غذای ماهی، منطقی بنظر می رسد. هر چند به سبب بروز پاره‌ای از مشکلات مرتبط با افزایش قند خون در میگو باید میزان مصرف متابولیک گلوکز مشخص شود.

۲-۳-۱-۱۷) هیدراتهای کربن غیر قابل دسترس

کاراپاس سخت پوستان عمدتا از کیتین که پلی مری از ان-استیل-گلوکزآمین است تشکیل شده است. برخی مطالعات تاثیر مثبت افزودن گلوکوزآمین به جیره غذایی میگو را مورد توجه قرار داده اند، هرچند که میگو قادر به ساخت این ماده بوده و چنین بنظر می رسد که نیاز به گلوکوزآمین در میگو نیمه ضروری است. این موضوع می تواند بیانگر علت ارزش بالای آرد میگو باشد زیرا کیتین تا حدی قابل هضم است. به رغم وجود کیتاناز در میگو، ظاهراً قابلیت هضم کیتین پایین بوده و در میگوی *P.stylirostris* کمتر از ۱۰ درصد است. تغذیه مجدد میگوهای مجاور از مواد حاصل از پوست‌اندازی میگوها، بواسطه توزیع جیره های غذایی نامتعادل، شدیدتر می شود درحالیکه با استفاده از غذاهایی با کیفیت مناسب استفاده از این مواد کاهش می یابد. همچنین این پدیده نیاز به گلوکوزآمین را تحت تاثیر قرار می دهد. البته ماهیت نیمه ضروری بودن این ترکیب قندی- پروتئینی هنوز مورد تایید قرار نگرفته و ممکن است که تاثیر مثبت آرد میگو دلایل دیگری داشته باشد.

بنظر می رسد که سلولز در کاریدهای گرمسیری از قبیل میگوهای بزرگ آب شیرین که دارای سلولاز می باشند تا حدودی قابل هضم باشد. این در حالیست که در میگوهای پنئیده که فیبر در آنها تنها نقش پرکنندگی را دارد، این وضعیت وجود ندارد. برخی تولیدکنندگان غذایی میگو تلاش می کنند تا ذخیره فیبر خام را درسطح خیلی پایین نگه دارند (کمتر از یک درصد در خوراک های فیلیپینی مورد استفاده برای *P.monodon*) بسختی می توان گفت که این محدودیت واقعا چه مزیتی برای جیره بهمراه دارد.

٤-۱-۱۷) چربی ها

۱-٤-۱-۱۷) چربی ها به عنوان منبع انرژی

مطالعات مختلف نشان می دهند که میگوها در برابر میزان چربی جیره حساسند، زیرا در سطوح بالاتر از ۱۰ درصد و یقیناً در سطح ۱۵ درصد رشد آنها کاهش می یابد. در نتیجه، استفاده از این مواد مغذی به عنوان منبع انرژی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. تاثیر منفی سطوح بالای چربی در حالت فیزیکی پلت هایی که تحت فشار شکل گرفته اند، دلیل دیگری بر کاهش سهم این مواد مغذی درشت مولکول در جیره غذایی است. از سویی مطالعات اخیر نشان داده است که رشد میگوی چینی در صورت استفاده از جیره های حاوی ۱۵ درصد چربی، کاهش نمی یابد. این موضوع نیاز به تایید داشته تا در مورد سایر گونه‌ها نیز تعمیم داده شود. به موازات آن، تعیین قابلیت هضم ظاهری چربی ها در این شرایط جدید ضروری است چون مشخص شده که قابلیت هضم چربی ها به ازای گنجاندن ۴ تا ۱۰ درصد آنها در جیره غذایی در حدود ۸۵ درصد می باشد. بعلاوه، استفاده از چربی ها در یک دوره پرورشی باید با در نظر گرفتن اثرات ناشی از افزایش ذخیره چربی ها مطالعه عواقب احتمالی آن بر ترکیب عضله و هپاتوپانکراس همراه باشد.

۲-٤-۱-۱۷) نیازهای اسید های چرب ضروری

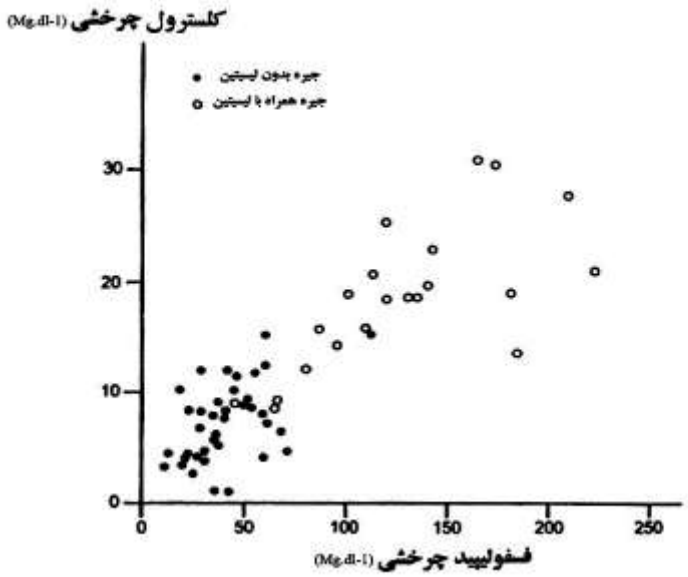
خانواده اسیدهای چرب ضروری درمیگوها مشابه مهره داران بوده و شامل سری۳-n یا ۶-n میشود (فصل۷). ضمن اینکه گونه هایی که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته اند(عمدتا میگوی ژاپنی) ظرفیت خیلی کمی برای استفاده از اسیدهای چرب غیر اشباعC۱۸ به منظور ساخت سایر اسیدهای چرب غیر اشباع مانند EPA,DHA و اسید آراشیدونیک دارند. چنین بنظر می رسد که توانایی تبدیل زیستی میگو حتی کمتر از ماهیان دریایی است و نیازهای سری ۳-n (شامل EPA,DHA) حداقل در مورد میگوی ژاپنی بالاتر است. البته میزان نیاز به اسید آراشیدونیک به درستی شناسایی نشده است.

این دسته از اسیدهای چرب در روغن و آرد حیوانات دریایی از جمله روغن کبد ماهی کاد به میزان زیاد وجود دارند. همچنین استفاده از منابع پروتئین حیوانی دریایی(به میزان ۵ تا ۸ درصد از جیره غذایی) موجب تامین نیازهای لارو و میگوهای جوان می شود.

۳-٤-۱-۱۷) کلسترول ها و فسفولیپیدها

یکی از جنبه های منحصربفرد تغذیه میگو نیاز به کلسترول است که ظاهراً در بندپایان به عنوان ویتامین عمل می کند. در عضلات سخت پوستان، مجموع استرول ها بیش از ۴۱/۵ درصد چربی ها را شامل شده و در میگو، کلسترول ۹۰ درصد کل استرول ها را تشکیل می دهد. در میگوهای دریایی و آب شیرین، کلسترول بخشی از دستگاه گردش خون یا لیپوپروتئین های غشا را شامل شده و به عنوان ماده اساسی برای سنتز ترکیبات مختلف مانند هورمون پوست اندازی، عمل می کند. اگر چه سخت پوستان قادر به ساخت هسته اصلی استرول نیستند، اما می توانند برخی از فیتواسترول ها (بویژه ارگوسترول و بتاسیتواسترول) را به کلسترول تبدیل نمایند. نقش تغذیه ای فیتواسترول ها تا اندازه ای کمتر از کلسترول است. با این وجود، اثرات مثبت ناشی از افزودن کلسترول با استفاده از جیره های غذایی آزمایشگاهی کم وبیش خالص، به اثبات رسیده است. استفاده از این جیره ها هنگام مصرف خوراک های مصنوعی که شامل ترکیبات مختلف بویژه آرد میگو، آرد جلبک و حتی کنجاله های روغنی (نارگیل و سویا) است و استرول های مورد استفاده سخت پوستان را فراهم می کنند، کاهش می‌یابد.

سایر جنبه های منحصربفرد استفاده از غذاهای چربی دار در تغذیه سخت پوستان، فسفولیپیدها هستند که تنها به عنوان منابع فسفر، اسیدهای چرب غیر اشباع، اینوزیتول یا کولین ایفای نقش نمی‌کنند. فسفولپیدها اولاً امولسیون ساز بوده و از عوامل مورد نیاز برای تشکیل میسل ها در دستگاه گوارش محسوب می شوند. این مواد همچنین سازنده لیپوپروتئین های مورد نیاز برای انتقال کلسترول بین سلول های جذب کننده و اندام های هدف می باشند. سنتز فسفولیپیدها توسط سخت پوستان بکندی صورت می گیرد از اینرو برخی مواقع به عنوان محرک رشد عمل می کنند. این مواد تاثیر یکسانی نداشته و در این رابطه معمولاً فسفاتیدیل کولین بیشترین نقش را ایفا می‌کند. تا زمانیکه محتوای کلسترول جیره غذایی پایین است نیاز به تمامی فسفولیپیدها بالاست. بین فسفولیپید- کلسترول در همولنف حیوانات بخصوص لابستر رابطه آشکاری وجود دارد و در این بین تغذیه یا عدم تغذیه با لسیتین تاثیر چندانی ندارد (شکل۱-۱۷). در رابطه با نقش فسفولیپیدها در لابستر اختلاف نظر وجود دارد، اما این مسئله در میگو کاملا به اثبات رسیده و این ترکیبات برای پست لارو میگوهای جوان و نیز برای مولدین ضروری می باشند. افزودن فسفولیپیدها به جیره‌های مصنوعی مولدین موجب افزایش تعداد تخم و میزان تفریخ می شود.



شکل ۱-۱۷) ارتباط بین کلسترول و فسفولیپید در لابستر(d'Abramo *et al.*, 1982)

در شرایط معمولی، فسفولیپیدها به شکل لسیتین و در مقادیر ۰/۵ تا ۳ درصد از جیره غذایی قابل تامین هستند. بنا به دلایل تکنولوژیک، فسفولیپیدها به صورت خالص در غذا گنجانده می شوند. به این ترتیب، استفاده از ۰/۵ درصد از لسیتین سویا که دارای حداقل ۶۵ درصد فسفولیپید است امولسیون چربی ها را تسهیل نموده و موجب همگن شدن مخلوط ذرات می شود.

۵-۱-۱۷) ویتامین ها

در مراکز پرورش میگو برخی بیماری ها و ناهنجاری ها از جمله بیماری مرگ سیاه، سندرم مرگ و میر ناشی از پوست اندازی، بیماری لکه آبی، کاهش رشد و غیره به کمبود ویتامین نسبت داده می شوند. در حال حاضر در رابطه با استفاده از مواد غذایی ویتامین دار در میگو بسیار کمیاب بوده و غالبا محدود به مطالعات کیفی است. در میگو مولکول های آلی مورد نیاز یا همان ویتامین ها مشابه نیازهای ماهی به

اضافه کلسترول است. نیاز به بازهای پورین که در مورد آرتمیا شناسایی شده، احتمالا در میگوهـای پنئیـده وجود ندارد.

به سبب بروز وضعیت ناپایداری پلت های غذایی ناشی از آبشویی آنها پس از قـرار گـرفتن در آب، میـزان نیاز به ویتامین ها بطور کامل شناسایی و تعیین نشده است. مطالعات انجام شده در مورد پلت های آبشـویی شده نشان می دهد که ویتامین های محلول در آب بخصوص دسته‌ای که بـه شـکل آزاد بـه ترکیـب اولیـه افزوده می شوند، بویژه ویتامین C، سریع تر در آب حل می شوند. ایـن وضـعیت بـه علـت تجزیـه ویتـامین های ناپایدار در محیط قلیایی آب دریا، تشدید می شود که در رابطه بـا ویتـامین C نیـز ایـن حالـت وجـود دارد. ازینرو محققان در ابتدا مقادیر بیش از حد نیـاز ایـن دسـته از مـواد را در ترکیـب جیـره غـذایی بکـار میبردند. با پیدایش اشکال پایدار ویتامین C مانند پلی سولفات آسـکوربیل وضـع بـه گونـه ای دیگـر تغییـر نمود. این ترکیب به آسانی هیدرولیز شده و سپس از روده میگـو جـذب مـی شـود و ایـن امکـان را ایجـاد میکند تا مطالعات دقیق تری در مورد نیازها آغاز گردد. به این ترتیب در تغذیـه میگوهـای *P.monodon* و *P.vannamei* استفاده از ویتامین C با دوز ۱۰۰ تا ۵۰۰ قسمت در میلیون جهت حداکثر رشد و بقا کفایـت کفایت می کند، درحالیکه برخی محققان آسکوربیک اسید را تا سطح ۲ تا ۳ درصد از جیره غـذایی بکـار می بردند. برآورد نیازهای سایر ویتامین ها طی آزمایشهای رشد و بقا، در جدول ۳-۱۷ ارائه شده است.

٦-۱-۱۷) مواد معدنی

مطالعات کمی در مورد نیاز به مواد معدنی در میگوها انجام شده است این در حالیست که سخت پوسـتان در هـر بـار پوسـت انـدازی مقـدار زیـادی از عناصـر غیـر آلـی، بـویژه کلسـیم را از دسـت مـی دهنـد. سخت‌پوستان همچون ماهی ها قادر به جذب کلسیم، فسفر و احتمالا بسیاری از عناصر محلول از آب دریـا می باشند. بنا به تصور برخی محققان، حضـور اسـکلت خـارجی کاراپـاس اثـری برکـاهش چشـمگیر ایـن توانایی ایجاد نمی کند.

جدول ۳-۱۷) مقدار نیاز به ویتامین ها در برخی از میگوها و استاندارهای پیشنهادی (میلی گرم بر کیلوگرم) (Conklin,1997)

ویتامین	*P.japanicus*	*P.monodon*	*P.vannamei*	*Macrobrachium*	سطوح توصیه شده
تیامین	٦۰	۱۵	–	–	٦۰
ریبوفلاوین	–	۲۲	–	–	۲۵
نیاسین	–	۷	–	–	٤۰
پیرودوکسین	٦۰	–	–	–	۵۰
پانتوتنیک اسید	–	–	–	–	۷۵
بیوتین	–	–	–	–	۱
فولیک اسید	–	–	–	–	۱۰
ویتامین B_{12}	–	۰/۲	–	–	۰/۲
کولین	٦۰۰	–	–	–	٦۰۰
میو- اینوسیتول	٤۰۰	–	–	–	٤۰۰
ویتامین C (فرم تثبیت شده)	۹۹	۲۰۹	۱۲۰	۱۰٤	۲۰۰
ویتامین A	۲/٤	–	–	–	۵۰۰۰ UI
ویتامین E	–	–	۱۰۰	–	۱۰۰
ویتامین D	۰/۲	۰/۱	–	–	۰/۱
ویتامین K (فرم حلال در چربی)	–	–	–	–	۵
ویتامین K (فرم حلال در آب)	–	۳۵	–	–	–

نیاز به استفاده از منبع غذایی حاوی کلسیم در سخت پوستان دریایی به اثبات نرسیده است درمقابل، با توجه به کم اهمیت بودن نسبت فسفر به کلسیم در این دسته از سخت پوستان، به منظور تعیین حداقل فسفر مورد نیاز میگو تلاش هایی صورت گرفته است و مشخص گردیده که اشکال مونوفسفات به سبب قابلیت حلالیت، بهتر مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجاییکه میگو از معده واقعی برخوردار نیست، فقط فسفاتهایی که در محیط کمی قلیایی تجزیه می شوند را به طور موثر مورد استفاده قرار می دهد که این حالت در مورد بی‌کلسیم فسفات وجود ندارد. با این استدلال امروزه جیره های غذایی میگو شامل

مونوفسفات سدیم یا پتاسیم است. بیان این نکته نیز حائز اهمیت است که میگوهای پنئیده ظرفیت کمی برای مصرف فیتیک فسفر دارند.

در رابطه با نیاز به عناصر کمیاب، برخی محققان افزودن مخلوط این عناصر را به میزان یک درصد به غذا پیشنهاد نموده اند. عده ای دیگر بر این اعتقادند که میگو این عناصر را از طریق آب دریا بدست آورده و تنها به افزودن مس (حداقل ۶۰ قسمت در میلیون در غذا) اکتفا می کنند، چون سخت پوستان نیاز ویژه ای به این فلز داشته و مس در ساختار هموسیانین که مشابه هموگلوبین در مهره داران است، شرکت دارد.

۷-۱-۱۷) سایر موارد

ورود مواد غذایی به بدن سخت پوستان بدون در نظر گرفتن نقش ویژه عوامل جذب کننده غذایی اهمیت ندارد. این در حالی است که ماهیت آنها تنها در تعداد اندکی از گونه ها مورد بررسی قرار گرفته است. در برخی مناطق، استفاده از عوامل رشد به ویژه آرد اسکوئید توصیه شده است، هرچند مولکول فعال آن جدا نشده است.

۲-۱۷ - غذادهی میگو در سیستم پرورش تجاری

۱-۲-۱۷) اهمیت فرآوری

میگو به سبب نوع زوائد دهانی و دهان خود بندرت قادر به بلعیدن تمام ذرات غذای توزیع شده درآب است. بنابراین، میگو غذا را تکه تکه کرده و آن را بتدریج می بلعد که این امر بطور اجتناب‌ناپذیری منجر به آبشویی ذرات غذایی می شود که پیش از این به آن اشاره شد. وعده های غذایی اغلب در شب، سپیده دم یا غروب داده می شوند و بنابراین، بدون استفاده از یک توزیع‌کننده خودکار، تامین غذا هماهنگ با ریتم تغذیه ای میگو کار دشواری است. هرچه غذا به مدت طولانی تری در آب باقی بماند، آبشویی تشدید شده و عواقب ناشی از آن وخیم تر می‌گردد. حتی اگر غذا ترکیب مطلوبی داشته باشد، درصورت غوطه وری در آب به صورت فعال تحت عمل آبشویی قرار گرفته و ارزش تغذیه ای آن نامشخص و متغیر خواهد بود. در موارد حاد ممکن است پلت ها پس از غوطه وری در آب مجدداً تجزیه شده و به شکل سوپ درآیند که در این صورت میگو قادر به خوردن آن نخواهد بود، هرچند این وضعیت تولید طبیعی را افزایش داده و بصورت غیر مستقیم در تغذیه میگو ایفای نقش می کند.

همه این موارد نقش پایداری پلت ها را در غذادهی میگو بیان کرده و اهمیت مطالعات کاربردی را با هدف بکارگیری تکنیک های موثر در حفظ پایداری خوراک نشان می دهد.

۲-۲-۱۷) انواع خوراک های اصلی

تکنیک های مختلف مورد استفاده توسط تولیدکنندگان غذای آبزیان همراه با جزئیات بیشتر در فصل ۲۱ تشریح خواهند شد. اما در اینجا لازم است تا به تعریف دو نوع از غذاهای میگو شامل خوراک های پلت شده و اکسترود شده پرداخته شود. پلت ها ممکن است به صورت خشک (فرآوری صنعتی) یا مرطوب ساخته شوند.

۱-۲-۲-۱۷) خوراک های پلت شده خشک

خوراک های مورد استفاده برای تغذیه میگو بواسطه فشردن مخلوطی از ذرات غذایی و سپس خروج آنها از طریق منافذ ریز به ضخامت ۲/۷ تا ۳/۵ میلی متر همراه با تزریق بخار تولید می شوند. پلت های تولید شده ۱/۷ تا ۲/۵ میلی متر قطر و ۵ میلی متر طول دارند. این پلت ها محکم بوده و شکل خود را در آب حفظ می کنند که بواسطه استفاده از ترکیبات چسباننده مانند خاک رس، پلیمرها، لیگنوسولفانات ها، نشاسته ژلاتینه، گلوتن گندم و غیره در ترکیب آنها می باشد. در این رابطه ترکیبات نوع فرمالدئید اوره بسیار موثر است، ولی براساس قوانین اروپا و آمریکا مصرف آنها ممنوع می باشد. دربرخی موارد هدف از کاربرد ترکیبات همبند در ساختار پلت ها بهبود عملکرد آنهاست و اغلب لازم است که عملیاتی حداقل در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و تحت فشار روی آنها انجام شود.

برخی کارخانجات تولید غذا دارای واحدهای رسیدگی غذا[1] هستند که شامل مخلوط کن هایی است که در آنها ذرات غذایی در اثر تماس با بخار به مدت چند دقیقه، مخلوط می شوند. این مرحله در مورد خوراک های دارای گلوتن گندم بسیار مفید است چون نسبت به پلت های تشکیل شده در فرآیندهای بدون واحدهای رسیدگی پایداری بیشتری دارند. از سویی باید توجه داشت که اغلب تولیدکنندگان روش‌های دقیق مورد استفاده را محرمانه نگه می دارند.

[1] maturation chambers

۲-۲-۲-۱۷) خوراک پلت شده مرطوب

این نوع پلت ها از طریق فشردن خمیر و خروج آنها از یک صفحه نازک با استفاده از دستگاههایی تولید میشوند که به طور وسیع در صنایع غذایی یا دارو سازی مورد استفاده قرار می گیرند. محصول ابتدایی به شکل اسپاگتی بوده و پس از خشک شدن و الک شدن، بر اساس دانه بندی مورد نظر تنظیم می شوند. از نظر متخصصان آبزی پروری این پلت ها دارای ارزش زیادی هستند و عمدتاً در طول مرحله نوزادی (پس از دگردیسی) مورد استفاده قرار می گیرند. در صورتیکه این پلت ها دارای گلوتن باشند پایداری آنها در آب نسبتا بالا می باشد، ضمن آنکه گلوتن شبکه ای را تشکیل داده و سایر ذرات غذایی را به دام می‌اندازد. در مجموع، طی این فرآیند اسپاگتی به قطر ۰/۸ میلی متر یا حتی ۰/۶ میلی متر مستقیماً تشکیل می شود که پس از خشک شدن براحتی می توان آن را خرد نموده و به این ترتیب، اندازه مورد نظر را تولید کرد تا میگو بتواند ذرات را مستقیما و بدون خرد کردن آن به قطعات ریز، ببلعد. تاکنون از این تکنولوژی در مقیاس صنعتی استفاده نشده است.

۳-۲-۲-۱۷)خوراک های اکسترود شده

تولید خوراک به روش اکستروژن در مقیاس صنعتی مورد استفاده است، هرچند گسترش آن کمتر از روش پلت زنی است. در این روش از نشاسته ژلاتینه شده اکسترودر به منظور چسباندن ذرات به یکدیگر استفاده می شود. همین اثر را می توان با استفاده از پروتئین های ترکیبی سویا بدست آورد.

کاربرد این فرآیند در تغذیه میگو به دلیل قابلیت حجیم شدن مواد در حین خارج شدن از منافذ، به برخی تنظیمات نیاز دارد تا توده هایی با قطر کمتر از ۳ میلی متر حاصل شود. اعمال دستاوردهای تکنولوژیک روی صفحه خروجی (ایجاد منافذی با قطر یک میلی متر) و همچنین روی لوله اکسترودر، موجب شده تا امروزه استفاده از این فرآیند به رغم هزینه بالای آن، بطور روز افزون افزایش یابد.

فرآیند پخت به روش اکستروژن راهکاری برای آینده است زیرا این فرآیند باعث می شود که ذرات بدست آمده، نرم و انعطاف پذیر باقی بمانند و ضمن حفظ پایداری از فشردگی بالایی برخوردار باشند. اگر اندازه غذای اکسترود شده مناسب باشد(حدوداً با قطر یک میلی متر)، میگو قادر خواهد بود تا همانند مصرف پلت های مرطوب، آن را به صورت کامل ببلعد.

۳-۲-۱۷) جیره های روزانه

جیره ها براساس بیومس متوسط انفرادی میگوها تنظیم شده و به این منظور حداقل از نظر تئوری، نوع گونه پرورشی و درجه حرارت مد نظر قرار می گیرد. نمونه هایی از تعیین جیره های روزانه در جدول ۴-۱۷ در مورد میگوهایی با وزن ۰/۲ تا ۵ گرم ارائه شده است.

جدول ٤-۱۷) نمونه ای از جدول غذادهی. این جیره غذایی دستیابی به ضریب تبدیل غذا به میزان حدود ۱/۸ در استخرهای ۲۰۰۰ مترمربعی را فراهم می کند.

سطح غذادهی به صورت درصد از بیوماس	میانگین وزن انفرادی میگو ها در استخر(گرم)
۲۰-۱۷	۱- ۰/۲
۱۷-۱٤	۲-۱
۱٤-۱۱	۳-۲
۱۱-۹	۵-۳

٤-۲-۱۷) روش های توزیع غذا

روش مورد استفاده برای توزیع غذا از عوامل اصلی و موثر در موفقیت یک مزرعه پرورشی است. میگو عادت به تغذیه تدریجی داشته و به محض توزیع غذا به سمت غذا حرکت نمی کند. از اینرو از نظر تئوری چندین وعده غذادهی در روز ضروری است.

در پرورش متراکم باید توزیع غذا ۴ بار در روز به صورت دستی و با قدم زدن در اطراف استخر صورت گیرد. با قرار دادن سینی های کنترل شده در کف استخر می توان به پرورش دهنده این امکان را داد تا میزان غذای خورده شده را تشخیص داده و بر این اساس مقدار غذای توزیع شده در وعده های مختلف غذایی را تنظیم کند. راه حل دیگر، استفاده از غذاده های اتوماتیک با قابلیت برنامه دهی است که میتوانند تا بیست وعده غذایی در روز را در یک استخر ۱۰۰ مترمربعی توزیع کنند. این روش توزیع، پایداری

ضعیف برخی از پلت ها را در آب جبران کرده و مصرف موثرتر آنها را بدنبال دارد. با این حال در پرورش نیمه متراکم با استفاده از استخرهای چندهکتاری، توزیع غذا معمولاً یک بار در روز آن هم در اواخر عصر بر اساس مقادیر تعیین شده از طریق مدل های رشد قابل انتظار انجام می شود.
غذادهی میگوی آب شیرین با مشکلات ویژه ای همراه است. بر خلاف خانواده هایی مانند پنئیده که در سرتاسر استخر حرکت می کنند، میگوهای آب شیرین رفتار قلمروطلبی شدیدی داشته و توزیع غذا باید در قلمروی هر حیوان به عبارت دیگر به طور هماهنگ در تمام سطح صورت گیرد.

۵-۲-۱۷) بازدهی غذا

اندازه گیری بازدهی غذادهی حتی در شرایط آزمایشگاهی به سبب خطاهای موجود در اندازه گیری میزان جذب و تغذیه مجدد از مواد حاصل از پوست اندازی و غیره کار ساده ای نیست. با این وجود، FCR اصطلاحی رایج در بین پرورش‌دهندگان است که معمولاً بر اساس غذای توزیع شده به ازای بیومس تولیدی در طول یک دوره ۳ تا ۶ماهه برآورد می شود. این معیار، شاخصی از بازدهی کلی تولید را نشان می دهد.
در میگوها FCR به نوع مزرعه پرورشی و به روش توزیع بستگی دارد. مقادیر بدست آمده از مزارع پرورشی آزمایشی (بدون استفاده از غذای طبیعی) و همچنین مزارع پرورش متراکم، معمولاً ۱/۸ تا ۲/۲ بوده که خیلی بیش از مقادیر اندازه گیری شده در ماهیهاست و احتمالاً به دلیل تولیدات ناشی از مواد پوست اندازی شده است که در نظر گرفته نشده است. در سیستم های پرورش نیمه متراکم، FCR بزرگتر است (۲/۲ تا ۲/۵)، اما در سیستم هایی با عملکرد بهتر می توان این مقادیر را به ۱/۴ تا ۱/۶ و یا حتی کمتر رساند. کاملا واضح است که دراین رابطه، تولیدات طبیعی استخر در تامین غذای حیوان نقش زیادی دارد. در برخی موارد، چنین می توان گفت که در پروش نیمه متراکم، در صورتیکه مدیریت استخر در جهت فراهم شدن شرایط مطلوب برای گونه های رقیب با میگو باشد، FCR بیشترخواهد شد. در حالیکه اگر شرایط برای افزایش ارگانیسم های مورد مصرف میگو مناسب باشد این مقدار پایین خواهد آمد. در شرایط آزمایشگاهی FCR با مقدار ۱/۳ نیز حاصل شده و انتظار می رود پیشرفت های بیشتری در آینده حاصل شود. روش توزیع، اهمیت اساسی در افزایش هر چه بیشتر مصرف غذا دارد. بنابراین، استخرهایی که سطح کمی دارند مدیریت آنها ساده تر است. از نظر تجربی، افزایش تعداد وعده ها بهبود قابل‌توجهی در مصرف غذا را بدنبال داشته و علت آن کاهش هدررفت غذا (با استفاده صحیح از سینی های غذادهی)

و افزایش قابلیت دسترسی به غذاست بطوریکه رقابت بین میگوها را کاهش می دهد. ارزش تغذیه ای و پایداری پلت ها، همراه با کنترل کیفیت آب در استخرهای پرورش میگوکه هدف آن تولید میگو تحت شرایط بهینه رشد است، در افزایش بازدهی غذا بسیار موثر است.

۳-۱۷ - خلاصه

دانش و اطلاعات در مورد تغذیه میگو جز در زمینه مصرف چربی ها، پیشرفت کمتری نسبت به تغذیه ماهی داشته است. علت آن تا حدودی مربوط به مشکلات انجام آزمایشها بر اثر رفتار تغذیه‌ای میگو و در نتیجه آبشویی غذا و همچنین پدیده پوست اندازی است. علاوه بر این، ممکن است تعیین بهینه غذا در شرایط آزمایشگاهی با آنچه که برای استخرهای پرورش مناسب است، تفاوت داشته باشد.

به رغم این موضوع، برخی اطلاعات پایه و اساسی که در بعضی موارد با نظریات متخصصان تغذیه پستانداران در تضاد است، بدست آمده است. قابلیت هضم اسید فیتیک یا کیتین، کارآیی بهتر نشاسته خام نسبت به نوع ژلاتینه آن و نیاز به کلسترول و فسفولیپیدها و غیره از جمله این موارد است. البته تعداد این ویژگی های منحصربفرد اندک است. در بسیاری از موارد (پروتئین ها، اسیدهای چرب ضروری، ویتامینها و غیره) نیازهای میگو مشابه ماهی است، اما این نیازها مشابه تمام مهره داران نمی باشد.

در حقیقت ویژگی های ناشناخته اغلب بیشتر از خصوصیات منحصربفرد میگوست. جالب اینکه تاکنون عملاً هیچ اطلاعاتی در مورد پیامدهای تغذیه ای یک پدیده ذاتی مانند پوست اندازی بدست نیامده است.

درحالیکه پرورش میگو طی چند دهه اخیر از یک فعالیت سنتی به یک فعالیت بسیار مهم با مقیاس صنعتی تبدیل شده، فرمولاسیون و ساختن غذاهای مورد نیاز نیز در مقیاس وسیع، به رغم برخی خصوصیات غیرعادی سخت پوستان، بدون ایجاد مشکل خاصی، توسعه یافته است.

شاید مهمترین دلیل این وضعیت، پرورش نیمه متراکم میگو باشد چون در این روش نیازی نیست که خوراک های مصرفی همانند سیستم های پرورش متراکم، کاملا متعادل و تامین کننده تمام نیازها باشند. با این حال نتایج در مجموع رضایت بخش بوده است. با توجه به افزایش سریع نگرانی های اقتصادی و اکولوژیک بایستی دستورالعمل های جدید را مدنظر قرار داد. مشکلات جدی ناشی از آلودگی، استفاده هر چه سریع تر از جیره هایی با آلودگی پایین را الزامی می کند. همچنین کاهش سوددهی در مزارع، ضرورت انجام مطالعات دقیق تر در مورد نیازها و ویژگی های تغذیه ای گونه های مهم پرورشی را ایجاب می کند.

«فصل ۱۸»

مواد خام و افزودنی‌های مجاز در خوراک ماهی

مواد خام واجزای سازنده مختلف مورد استفاده برای ساخت خوراک ماهی و سخت پوستان را می توان با توجه به عواملی نظیر منشاء، ترکیب، خصوصیات تغذیه ای یا فیزیکوشیمیایی خاص و یا شاخص های معیارهای اقتصادی به چندین روش تقسیم بندی نمود. در جداول مربوط به ترکیب غذا، طبقه بندی عمدتاً بر اساس منشا مواد تولیدی صورت می گیرد که در این فصل و در جداول ضمیمه B ارائه شده است. تنها مواد نیمه خالص مانند نشاسته، نمک ها و اسیدهای‌آمینه بر اساس خصوصیات شیمیایی تقسیم بندی میشوند.

معمولا یک ماده خام خود یک غذا یا به عبارت دیگر منبعی از مواد غذایی است. این مواد شامل ذرات غذایی هستند که همراه با ترکیبات غذایی سلولزی(فصل ۸) در جداول ترکیب غذا ارائه میشوند (ضمیمه B). از سوی دیگر، اجزا سازنده خاصی مورد استفاده قرار می گیرند که به جای ایجاد توازن بیشتر فرمول غذایی، ویژگی های خاصی از جمله خوش طعمی، جاذبیت رنگ یا افزایش پایداری در آب را به آن می‌بخشند. برای مثال در سایر موارد، اجزا تشکیل دهنده اولیه دارای خصوصیات منفی بوده و از نظرکاربردی، حاوی مقادیر معینی از ترکیباتی هستند که می توانند در درجات مختلف مضر باشند. ماهیت و ویژگی آنها در فصل ۱۹ تشریح خواهد شد و در این فصل تنها به وجود این مواد اشاره می شود.

در این فصل، ویژگی های اصلی مواد خام به عنوان منبع مواد مغذی، جاذب ها، کاروتنوئیدها، فیبر و عوامل ضد تغذیه ای و اهمیت آنها در آبزی پروری تشریح شده و افزودنی ها به عنوان اجزا سازنده، در مفهومی گسترده مورد توجه قرار می گیرند.

۱-۱۸ - مواد خام اصلی با منشا حیوانی

۱-۱-۱۸) مزایا و معایب

این مواد تنها بخش کوچکی از غذای حیوانات پرورشی خشکی را تشکیل می دهند، اما مقدار آنها در جیره غذایی حیوانات آبزی تقریبا همیشه بیش از ۵۰ درصد است. هرچند میزان اندکی از مواد تولیدی با منشا حیوانی در تغذیه حیوانات همه چیز خوار خشک زی بکار می رود، اما امروزه کاربرد آنها در تغذیه ماهی افزایش یافته است. در صورت دقت در تنظیم جیره های غذایی بر اساس مقادیر توصیه شده معمول، مواد خام با منشاء حیوانی در مقایسه با مواد خام گیاهی خالص، امکان عملکرد رشد بهتر گونه های گوشتخوار را فراهم می سازند. دلایل مختلفی در جهت تایید این موضوع وجود دارد که چندان آشکار نیست. این دلایل شامل قابلیت هضم، پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری، خوش طعمی، غنی بودن از نظر ویتامین های گروه A و میزان عوامل رشد یا اسیدهای چرب ضروری است که معمولاً در فرآورده هایی با منشا حیوانی و بویژه حیوانات دریایی به میزان زیادی وجود دارند. مواد خام حیوانی همچنین به علت عدم داشتن ترکیبات سلولزی (فیبر) و قابل صرف نظربودن فاکتورهای ضد تغذیه ای در آنها، حائز اهمیت‌اند.

موضوع مهم در خصوص استفاده از مواد خام حیوانی، احتمال وجود پاتوژن هایی نظیر عامل پریون[1]، مسئول بیماری جنون گاوی اسفنجی (BSE[2])، در اجزا سازنده با منشا حیوانات خشک زی نظیر آرد گوشت یا آرد گوشت و استخوان است که بتازگی کشف شده است، هر چند بنظر نمی رسد که ماهی نسبت به پریون آسیب پذیر باشد.

---

[1] prion
[2] bovine spongiform encephalopathy

۲-۱-۱۸) آرد ماهی و سایر فرآورده های با منشأ دریایی

۱-۲-۱-۱۸) کلیات

این آردها منابع پروتئینی را تشکیل می دهند و چون غنی از اسیدهای‌آمینه ضروری بوده و پروفیل آنها تا حد زیادی مطابق با نیازهای مهره داران و بویژه ماهیهاست، بخوبی توسط ماهی مصرف می‌شوند. روغنهای موجود در این مواد، منبع فوق العاده ای از انرژی بوده و غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع با زنجیره طولانی هستند که حضور این اسیدهای چرب ضروری برای ماهی بسیار مهم است. این مواد خام همچنین منبع خوبی از املاح معدنی ضروری (مانند کلسیم، فسفر، منیزیم و عناصر کمیاب) و ویتامین ها (شامل ویتامین های B_{12}، A، B_3، کولین، اینوزیتول و نیز حداقلی از تمام ویتامین ها بجز آسکوربیک اسید هستند. ضمن آنکه اغلب کاروتنوئیدها را شامل می شوند.

بواسطه این ویژگی هاست که آرد ماهی نسبت به سایر مواد خام نقش قابل توجه و انکار ناپذیری در تغذیه آبزیان پرورشی ایفا می کند. از سوی دیگر، این مواد تنها به میزان کم در دسترس بوده و قیمت بالایی دارند. علاوه براین، معمولا در بازار جهانی، آبزی پروری در رقابت با سایر صنایع پرورشی (از قبیل طیور، خوک و حتی حیوانات خانگی) می باشد.

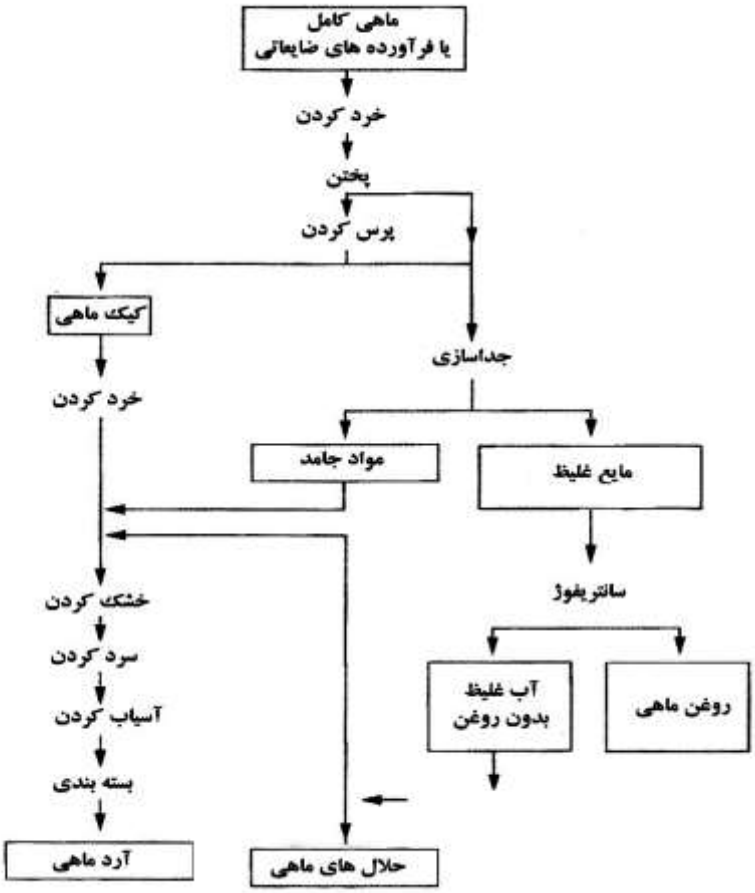
۲-۲-۱-۱۸) ساخت و کنترل کیفی آرد ماهی

مرحله اصلی در ساخت آرد ماهی، جدا کردن آب و روغن از ماده خشک (شکل ۱-۱۸) است. مواد خام ابتدا خرد شده، سپس به درون محفظه ای که دارای سیستم دوار گرم شونده است، انتقال می یابد (حدود ۲۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد). در این مرحله جداسازی اولیه بخش جامد (پروتئین های منعقد شده و قسمتهای استخوانی) و مایع (آب و روغن) صورت می گیرد.

با انتقال و سپس پرس کردن محصول، این فرآیند کامل شده و کیک (کنجاله) حاصله دارای بیش از ۵۰ درصد آب است. بخش مایع از محفظه لوله مانند تنگی عبور داده شده و سانتریفوژ می شود تا روغن آن گرفته شود. مایع باقیمانده غلیظ سازی و تبخیر شده و مجدداً به کیک حاصله اضافه می شود.

علاوه بر تازگی مواد خام، خشک کردن نیز عامل مهم دیگری است که کیفیت محصول نهایی را تحت تاثیر قرار می دهد. این فرآیند می تواند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم (بدون تماس مستقیم بین محصول و منبع حرارت) صورت گیرد.

حداکثر دمای ماده اولیه اهمیت زیادی در کیفیت آرد دارد. یک آرد خوب نباید در معرض دمای بیش از ۹۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد. آردهای ساخته شده در دمای پایین از چندین سال پیش به بازار ارائه شده اند و محصولاتی را شامل می شوند که حداکثر دمای پخت یا خشک نمودن آنها به بیش از ۷۰ درجه سانتیگراد نمی رسد. در مورد تمام این آردها، سطح رطوبت باقی مانده حداکثر ۱۰ درصد بوده که دوام کافی فرآورده جهت خرید و فروش را تضمین می کند.



شکل ۱-۱۸) نمایی از روند ساخت آرد ماهی

مهمترین مشخصه کیفیت آرد ماهی که تحت تاثیر دمای فرآیند فرآوری است، قابلیت هضم پروتئین می‌باشد. این شاخص را می توان در ماهی و سخت پوستانی اندازه‌گیری کرد که آرد ماهی از غذای آنها تشکیل می شود یا در سمورآبی که حیوانی گوشتخوار بوده و تحقیق در مورد آن نسبت به حیوانات آبزی بسیار ساده تر است. بررسی قابلیت هضم در محیط آزمایشگاهی نتایج قابل اعتمادی را مشابه بررسی های داخل بدن موجود زنده فراهم نمی کند. با این وجود، می توان از این نتایج برای ارزیابی اولیه کیفیت آرد استفاده نمود. این موضوع در مورد آزمایش Torry و آزمایشهای چند آنزیمی صدق می کند. در این آزمایشها اثرات متابولیک زیانبار احتمالی ترکیباتی که ممکن است در جریان فساد ماهی، قبل یا هنگام فرآوری ظاهر شوند، مورد توجه قرارنمی گیرد. آمین های بیوژنیک اثر مثبتی بر فساد ماهی قبل از تبدیل شدن به آرد دارند. بطورکلی، اندازه گیری آمین های بیوژنیک چهارگانه خسته کننده بوده و بندرت انجام می شود. گیزرولین یکی از ترکیبات شناسایی شده و از گروه هیستامین می باشد ولی بسیار سمی تر از آن است. این ترکیب باعث تخریب سنگدان و به دنبال آن استفراغ سیاه می شود. این ماده را می توان با یک آزمایش ساده داخل بدن جوجه ها یا بوقلمون های جوان اندازه گرفت. اندازه گیری بازهای پورینی فرار(TVBN[1]) اطلاعات مشابه ای را بدست می دهد، ولی استفاده از آن به تنهایی داده های چندان قابل اعتمادی را ارائه نمی کند. معیارهای دیگر پیشنهادی در محیط آزمایشگاه، اندازه گیری گروههای سولفیدریل و پیوندهای دی سولفید است. هیچیک از این موارد، اطلاعاتی را بدست نمی دهد که بتوان آن را به میزان خیلی زیادی با عملکرد داخل بدن موجود زنده مرتبط دانست.

تکنیک های ساخت مختلفی مشابه با شمای کلی ارائه شده وجود دارند. این تکنیک ها در جهت کاهش قابل توجه هزینه های فرآوری و بهینه سازی کیفیت محصول نهایی، در حال بهبود می باشند. افزایش قابلیت هضم موضوع مهمی است که امکان کاهش مواد دفعی را در آبزیان پرورشی فراهم می کند.

۳-۲-۱-۱۸) تقسیم بندی فرآورده های مختلف

آرد ماهی : تمامی انواع آردهایی که از ماهی کامل ساخته می شوند ترکیب شیمیایی مشابهی دارند (۶۶ تا ۷۱ درصد پروتئین، ۹ تا ۱۲درصد چربی، ۱۲ تا ۱۵درصد خاکستر، به ضمیمه B مراجعه شود).

[1] total volatile basic-nitrogen

اما به رغم این واقعیت، ممکن است از نظر قابلیت هضم یا قابلیت دسترسی به سایر مواد مغذی، متفاوت از یکدیگر باشند. کشورهای اصلی تولید کننده آرد ماهی، هر یک خط مشی کیفی مشخصی را بر اساس معیارهای مطابق با محصولات خود تعریف کرده اند. نمونه ای از کیفیت ها به شرح ذیل است:

– **کیفیت نروژی**: این دسته از آردها از ماهی هیک، مارماهی شنی، کاپلین، هرینگ، اسملت، ماهی روغنی یا کاد تولید شده و بترتیب افزایش کیفیت بر اساس استانداردهای Norseamink® و Norse LT94® طبقه بندی می شوند.

– **کیفیت دانمارکی:** این آردها عمدتا از مارماهی شنی، ساخته می شوند. اما ماهیهای دیگر نظیر sprat، pout، پیلچارد و ماکرل را نیز شامل می شوند. کیفیت مختلف با استانداردهای کیفی A، B، Aquaculture و LT مشخص می شوند.

– **کیفیت شیلی:** این آردها از ساردین و پیلچارد تهیه می شوند که بویژه از نظر نحوه کنترل کیفی که بعنوان یک فرآیند محسوب شده و جهت کسب حداکثر بازدهی بکار می رود، با انواع مذکور تفاوت دارند. بنابراین، آزمایش تخریب سنگدان (روی جوجه های جوان) به منظور تشخیص وجود یا فقدان هیستامین و گیزرولین انجام می شود. با توجه به نتایج حاصله، این دسته از آردها با استانداردهای کیفی Corpesca®، special، و LT طبقه بندی می شوند.

– **کیفیت ایسلندی:** عمدتاً از ماهی کاپلین تولید می شود که شامل آردهای استاندارد و LT هستند.

همچنین مقادیر قابل توجهی از تولیدات آرد ماهی به انواع آمریکایی(شامل منهدن)، کانادایی (شامل هرینگ)، پرویی(شامل آنچوی)، آفریقای جنوبی (شامل پیلچارد) و ژاپنی (شامل ساردین) اختصاص دارند.

– **آردهای حاصل از ضایعات ماهی(فرانسه، مراکش، سنگال) :** این آردها که با استفاده از امعاء و احشا حاصل از فیله و کنسرو ماهی و گاهی با استفاده از صید ضمنی تولید می شوند، خاکستر بیشتری داشته (۲۲ تا ۲۴ درصد) و تنها حاوی ۵۵ تا ۶۴ درصد پروتئین می باشند(ضمیمه B). علاوه بر این، ترکیب آنها کمتر قابل پیش بینی بوده و نسبت به آردهای حاصل از ماهی کامل از کیفیت پایین تری برخوردارند.

- آردهای تولیدی در کارخانجات مستقر بر روی عرشه کشتی ها (آمریکا، ژاپن، روسیه، لهستان): این آردها در کارخانه واقع در عرشه کشتی با استفاده از ضایعات حاصل از فیله ماهی سفید یا با استفاده از ماهیانی تولید میشوند که مصرف انسانی ندارند. به دلیل ناتوانی انتقال وسایل لازم برای تغلیظ روی عرشه، حلال های ماهی به آنها افزوده نمی شود. این محصول، آرد ماهی سفید نامیده شده که به منظور تغذیه مارماهی مورد مصرف قرار می گیرند. امروزه سعی می شود تا از این محصول در تغذیه میگو نیز استفاده شود. ترکیب شیمیایی آنها مشابه آردهای حاصل از امعاء و احشاست. این پودرها این مزیت را دارند که از ماهیها و فرآورده های بسیار تازه تولید می شوند، اما مدیریت فرآیندهای ساخت آنها مشکل تر از کارخانجات واقع در خشکی است. عدم استفاده از حلال های ماهی تاثیر خاصی در این آردها ندارد.

پروتئین های تغلیظ شده قابل حل ماهی: این فرآورده از طریق هیدرولیز پروتئین های ماهی با استفاده از آنزیم های گیاهی مانند papaying حاصل می شود. این فرآیند در رآکتورها به صورت پیوسته یا ناپیوسته صورت می گیرد. قسمتهای استخوانی از بخش های هیدرولیز شده جدا شده و ترکیب باقی مانده سپس از طریق سانتریفوژ از چربی ها جدا گردیده و بصورت اسپری خشک می شوند. این نوع فرآورده که اغلب به عنوان SFPC[1] شناخته می شود، املاح معدنی کم و پروتئین بالایی دارد (ضمیمه B). این مواد به مفهوم واقعی کلمه پروتئین ها را شامل نمی شوند اما غالب پپتیدها واسیدهای‌آمینه‌ای را دربردارند که حلالیت کامل را به آنها می بخشند. این ویژگی می تواند در خوراک آبزیان نامطلوب باشد، اما در این حالت قابلیت هضم نیتروژن همواره بسیار بالاست. با توجه به کیفیت مورد نظر محصول، مقدار چربی پس از خشک شدن به آنها اضافه می شود. حضور آنها در غذاهایی با منشأ دریایی ضروری نیست.

فرآورده های اتولیز شده ماهی: این فرآورده ها مشابه انواع مذکور در بالا هستند اما هیدرولیز آنها توسط آنزیم های موجود در بافت ماهی صورت می گیرد. مدیریت هیدرولیز نسبت به روش پروتئین تغلیظ شده نیاز به دقت و ظرافت بیشتری دارد. این نوع مواد به علت قیمت بالا معمولا در فرمولاسیون خوراک های معمول ماهی بکار نمی روند.

[1] Soluble fish protein concentrates

سیلوی ماهی : این مواد شامل فرآورده های مایع یا نیمه مایع حاصل از امعاء و احشا یا ضایعات ماهی است که در شرایط pH اسیدی تولید و ذخیره می شوند. به منظور رسیدن به pH ۴ تا ۴/۵، فرآیندهای مختلفی بر اساس افزودن یک محلول اسیدی (برای مثال فرمیک، هیدروکلریک یا سولفوریک) وجود دارد. این pH از تکثیر باکتری های فاسد کننده جلوگیری می کند، در حالیکه منجر به مقدار مشخصی هیدرولیز حاصل از آنزیم های بافت می شود. هیدرولیز در مدت ذخیره سازی محصول انجام می شود تا آنزیم ها از طریق اعمال روش حرارتی غیر فعال شوند. فرآیند مایع شدن کامل محصول با توجه به دما و فعالیت آنزیمی مواد خام ممکن است ساعت ها یا هفته ها بطول انجامد. ماده حاصله به همان شکل اولیه نمی تواند مصرف شود بلکه باید با آرد مخلوط شده و به شکل پلت های خشک یا مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاییکه ماهی نسبت به اسیدی بودن جیره غذایی حساس است، سیلو را باید قبل از مصرف با توجه به مقدار گنجانده شده در غذا خنثی نمود. از اینرو، ۱/۵تا ۴ درصد آهک آبدیده یا سود سوز آور به سیلو اضافه می شود تا pH حدود ۵/۵ حاصل گردد. تریپتوفان در محیط اسیدی ناپایدار است بنابراین، محصول نهایی معمولا از نظر وجود این اسید آمینه ضروری دچار کمبود است و هنگام تنظیم فرمول جیره غذایی باید این نکته مدنظر قرار گیرد. اشکالات دیگری از قبیل میزان بیش از حد زنجیره های ۳ کربنه، محدود بودن مصرف متابولیکی و تاثیر یون های اضافه شده در تعادل پلاسما نیز گزارش شده است.

٤-۲-۱-۱۸) سایر فرآورده ها با منشا دریایی

- **آرد میگو** : این محصول از قسمت سر میگو (سفالوتراکس) ساخته شده و غنی از کلسیم (حاوی مقدار کمی فسفر) و جاذبه های غذایی قوی بوده و منبعی غنی از کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب ضروری را فراهم می کنند. آرد کریل(که بندرت در بازار یافت می شوند) از لاشه کامل حیوان تولید می‌شوند، اما مقدار فلوئور این محصول، میزان گنجاندن آنها را در غذا محدود می کند.

- **آرد اسکوئید**: این آرد از نظر پروتئین غنی بوده، اما سطح املاح معدنی آنها پایین است. این مواد به دلیل خاصیت جذب کنندگی و وجود عوامل رشد، در واحدهای پرورش مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۱-۱۸) آردهای حاصل از حیوانات خشک زی

۱-۳-۱-۱۸) مقدمه

امروزه تمام فرآورده هایی که در زیر فهرست شده اند، به علت قوانین اروپا مصرف آنها برای حیواناتی نظیر ماهی ممنوع است. از آنجاییکه فرآیندهایی نظیر حرارت دادن در دماهای بالاتر باعث از بین رفتن پریون ها می شود، مصرف این مواد برای تغذیه برخی حیوانات نظیر حیوانات آبزی در آینده امکان پذیر خواهد بود.

۲-۳-۱-۱۸)آرد گوشت و استخوان(MBM[1])

این فرآورده با استفاده از ضایعات حاصل از کشتارگاهها و قصابی ها تولید می شوند. کیفیت آردهای گوشت و استخوان متغیر بوده و اغلب به سبب وجود مقدار بیش از حد املاح معدنی، مصرف آنها محدود می شود. محتوای خاکستر پودرهای حاصل از گوشت استخوان دار به ۳۵ درصد می رسد و در بهترین شرایط، حاوی ۴۵ تا ۶۰ درصد پروتئین با ارزش بیولوژیک بسیار بالا خواهند بود، اما مقادیر محدودی از اسیدهای‌آمینه گوگرددار را شامل می شوند. بنا به دلایل بهداشتی باید دمای پخت همواره بالا باشد، در نتیجه نمی توان پروتئین های با قابلیت هضم برابر با پروتئین های آرد ماهی را تولید نمود. چربیها ۸ تا ۱۰ درصد این فرآورده را تشکیل می دهند که عمدتاً شامل اسیدهای چرب اشباع یا یک غیر اشباعی و مقدار کمی اسیدهای چرب بسیار غیراشباع (HUFAs) بجز اسید آسکوربیک می باشند.

۳-۳-۱-۱۸)آرد بافت های پیوندی

این آرد ها از کلاژن باقی مانده از تولید پیه و چربی خوک ساخته می شوند. میزان پروتئین آنها بالا بوده(۷۰ تا ۸۰ درصد) و پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری آنها متناسب با نیازها می باشد. این آرد ها در مقایسه با آرد گوشت، محتوای چربی (۱تا ۳ درصد) و املاح معدنی (۱۰تا۲۰ درصد) پایین تری دارند.

[1] meal and bone meal

٤-۳-۱-۱۸) آرد پر هیدرولیز شده

این آرد توسط کشتارگاههای طیور تولید شده و اغلب حاوی کراتین است. این پروتئین در حالت طبیعی کاملا قابل هضم بوده و با استفاده از فرآیند گرمایی قوی هیدرولیز می شود. محتوای پروتئین این آرد بالاست (۸۰ تا ۸۵ درصد)، اما به علت کمبود شدید متیونین، لایزین و هیستیدین، ارزش بیولوژیک آنها بسیار پایین است. در مقابل، میزان سیستئن آنها بالاست. از این محصول صرفا می توان برای تکمیل سایر منابع پروتئینی استفاده کرد اما لازم است برای تکمیل مقدار چربی، آنها را با امعاء و احشا مخلوط نمود.

٥-۳-۱-۱۸) آرد ضایعات طیور

این آرد از ضایعاتی مانند خون و امعاء و احشا، تولید شده و نوعی از آرد گوشت را با ترکیب بسیار متغیر بوجود می آورد که در برخی کشورها به میزان زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. درصورت مخلوط کردن این پودرها با فرآورده های گیاهی، مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری آنها قابل توجه خواهد بود.

٦-۳-۱-۱۸) آرد خون

این آرد از طریق آب زدایی خون حاصل از کشتارگاهها (خشک کردن آن در یک محفظه ویژه یا اسپری خشک) تولید می شود. محتوای پروتئین آن بالاست (۸۵ درصد)، اما ارزش بیولوژیک نسبتا پایینی دارد. آرد خون دارای مقادیرکمی متیونین، ایزولوسین و آرژنین و مقادیر بیش از حد لوسین است. نکته جالب در رابطه با این محصول این است که در صورت اعمال فرآیند بمباران اتمی، از نظر لایزین قابل دسترس، غنی خواهد شد. این فرآیند در مجموع کیفیت مطلوب محصول را تضمین می کند. آرد خون به علت ویژگی چسبانندگی خود بطور روز افزون در جیره های غذایی ماهی گنجانده می شود. این محصول را می توان در ابتدای فرآوری منعقد نمود بطوریکه پس از جداسازی پلاسمای مورد استفاده از جای دیگر و خشک کردن آن با بخار، آرد سلول های قرمز خون بدست می آید که از نظر پروتئین، غنی بوده و حتی قدرت چسبندگی بیشتری را داراست.

۷-۳-۱-۱۸) سایر اجزای غذایی حاصل از حیوانات خشک زی

گاهی در شرایط آزمایشگاهی منابع پروتئینی دیگری با منشا حیوانی استفاده می شود. این مواد معمولا خالصند که از آن جمله کازئین با ارزش بیولوژیک فوق العاده یا ژلاتین به عنوان یک ماده چسباننده بسیار قوی می باشد. در مقیاس صنعتی، همچنان شیر خشک بدون چربی (معمولا همراه با آرد ماهی) یا لاکتوسرم مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۱۸ - مواد خام گیاهی اصلی

۱-۲-۱۸) مزایا و معایب

مواد خام متعدد با منشأ گیاهی وجود دارند که ارزان تر از مواد خام با منشا حیوانی هستند. بنابراین، تولیدکنندگان متمایل به جایگزینی مواد قبلی با این مواد هستند. این مواد اغلب قدرت چسبانندگی خاصی داشته که احتمالاً به سبب حضور مواد قابل هضم یا غیر قابل هضم است. این مواد همچنین منبعی از ویتامین های گروه B را تشکیل می دهند اما فاقد اسیدهای چرب غیر اشباع ضروری سری ۳-n بوده و از نظر طعم کیفیت بالایی ندارند ازینرو، با نیازهای ماهی تطابق کمی دارند. منبع اصلی انرژی این مواد نشاسته است که همواره برای ماهی نامطلوب است. این مواد دارای مقادیر قابل توجهی از هیدراتهای کربن پیچیده غشایی (نظیر پکتین، هموسلولز، پنتوزها، سلولز و لیگنین) هستند که اغلب غیر قابل هضم می باشند. مواد خام گیاهی همچنین حاوی عوامل ضد تغذیه ای مختلفی می باشند(فصل ۱۹).

۲-۲-۱۸) کنجاله دانه های روغنی

این کنجاله ها همراه با استخراج روغن تولید می شوند که نسبت به کنجاله های حیوانی پروتئین کمتری دارند (۳۰ تا ۵۰ درصد پروتئین). مقدار املاح معدنی آنها پایین است، اما دارای مقدار قابل توجهی از ترکیبات دیواره سلولی بوده ضمن آنکه شامل مواد ضدتغذیه ای بیشتری می باشند.

۱-۲-۲-۱۸) کنجاله سویا (حاوی حداکثر گلایسین)

این ماده به علت قابلیت دسترسی بالا، پایدار بودن، قیمت مناسب و بویژه ارزش تغذیه ای مطلوب، در تغذیه اغلب ماهیان پرورشی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد.

کنجاله سویا غنی از پروتئین است (در صورت وجود پوسته، ۴۹ درصد و در غیر این صورت ۴۴ درصد). پروفیل اسیدهای‌آمینه ضروری آن، به رغم کمبود متیونین متناسب با نیازهای ماهی است. این کنجاله دارای مواد ضد تغذیه ای متعدد بویژه عامل ضد تریپسین است که از طریق اعمال تیمار شدید گرمایی تا حد زیادی غیرفعال می شود. تقاضای بیشتری برای سویا از سوی سازندگان خوراک ماهی نسبت به حیوانات خشک زی وجود دارد. درصورتیکه سویا به طور کامل پخته شود، نسبت به سایر کنجاله های دانه های روغنی، حاوی سلولز و هیدراتهای‌کربن پیچیده کمتری است از اینرو، به عنوان یک ماده خام مهم در آبزی پروری شناخته می شود. همچنین فرآورده های سویا نسبت به سایر پودرهای موجود در بازار خالص تر بوده، همچنین پروتئین بیشتر و فیبر و هیدرات‌کربن کمتری دارند، ولی قیمت آن به عنوان غذای ماهی بسیار بالاست.

۲-۲-۲-۱۸) کنجاله پنبه دانه

شلغم روغنی (*Brassica napus* و *Brassica campestris*) بوفور در دسترس است. پروتئین آن بسیار متعادل بوده ولی دارای مقادیر قابل توجهی فیبر است. سویه های جدید سمیت کمتری نسبت به انواع قدیمی دارند (فصل ۱۹). با این وجود، قابلیت هضم پروتئین، ارزش انرژی زایی و محدودیت استفاده از آن برای ماهی، حتی در مورد رایج ترین گونه های پرورشی به صورت کامل مورد بررسی قرار نگرفته است.

۳-۲-۲-۱۸) آرد پنبه

آرد پنبه دانه (*Gossypium* sp.) به علت محتوای فیبر آن، کمبود لایزین، حضور گوسیپول و نیز بقایای اسید استرکولیک امروزه در اروپا مصرف نمی شود و قابلیت دسترسی زیادی ندارد. اما بواسطه غنی بودن از نظر پروتئین، به شکلی وسیع درکشورهای در حال توسعه به عنوان جزیی از غذای آبزیان پرورشی استفاده می شود. سویه های جدید به سبب افزایش محصول پنبه و فقدان گوسیپول شانس بیشتری جهت استفاده در تغذیه آبزیان دارند.

٤-۲-۲-۱۸) سایر کنجاله های دانه های روغنی

- **کنجاله آفتابگردان(*Helianthus annuus*) :** عوامل ضد تغذیه ای آن (پلی فنل ها) پایین بوده و نسبتا غنی از متیونین است. از سوی دیگر، این ماده کمبود لایزین داشته و میزان فیبر آن بالاست که همین امر استفاده از آن را در فرمولاسیون خوراک ماهی محدود می سازد.

- **کنجاله بادام زمینی (*Arachis hypogea*):** غنی از پروتئین است (۴۸ تا ۵۰ درصد) و مقدار آرژنین آن بالاست اما از نظر لایزین و متیونین کمبود دارد. در این محصول اغلب حضور آفلاتوکسین گزارش شده که ارزش این کنجاله را با وجود قابلیت هضم بسیار بالا و تقریباً فقدان عامل ضد تغذیه ای، از بین برده است.

- **کنجاله نخل روغنی(*Elaeis guineensis*) و نارگیل(*Cocos nucifera*)**: این دو محصول بترتیب حاوی تنها ۱۹ و ۲۲ درصد پروتئین بوده، در حالیکه مقدار فیبر آنها بیش از ۵۰ درصد است. این مواد جز در موارد محدود به یک محل، اهمیت کمی در تغذیه آبزیان پرورشی دارند.

۳-۲-۱۸) دانه های غلات و فرآورده های جنبی

این محصولات، فرآورده هایی با مقدار پروتئین بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بوده و عمدتا منابع انرژی را تشکیل می دهند. محتوای مواد معدنی آنها بجز فسفر به شکل فیتیک، پایین است. آنها منابع خوبی از ویتامین های گروه B و E هستند. آرد گندم(*Triticum aestivum*) یا ذرت (*Zea may*) غنی از نشاسته اند (۶۲ تا ۷۲ درصد) ولی این مواد بصورت خام در شکل خام خود نسبتا غیر قابل هضم می باشند، بویژه اگر به مقدار زیاد در غذای ماهیان گوشتخوار گنجانده شوند. در مقایسه با کنجاله‌ها، غلات از نظر محتوای پروتئین بسیار فقیر بوده و همچنین مقدار اسیدهای‌آمینه ضروری آن بویژه لایزین پایین است. اعمال تیمارهای گرمایی قابلیت هضم نشاسته را افزایش می دهند و بدین ترتیب می توان آن را به عنوان منبع قابل توجهی از انرژی بشمار آورد. این قبیل نشاسته ها به دلیل خصوصیات فیزیکیشان مورد تقاضای زیادی قرار دارند. در فرآیندهای مختلف ساخت غذا (پلت کردن و بویژه پخت به روش اکستروژن) این مواد دارای تاثیر عملکرد مفیدی مشابه نشاسته‌های صنعتی تصفیه شده می باشند.

سایر غلات بدون هیچ دلیل واضحی بندرت در غذای آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد به رغم وجود کاستیهای موجود بایستی بیش از این مورد مصرف قرار گیرند.

جو دو سر به علت وجود سبوس ممکن است مشکلاتی را ایجاد نماید، برخی ذرت های خوشه ای غنی از تانین[1] بوده که می تواند سمی باشد. این موضوع هنوز در ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است.
سبوس گندم و نیم دانه (حد واسط بین آرد و سبوس) فیبر، ویتامین B و E بیشتری دارند. اگر غلات بخوبی آسیاب شوند، مواد همبند مناسبی را تشکیل داده و همچنین به عنوان عوامل حجیم کننده غذا عمل می کنند. سبوس برنج(*Oriza sativa*) به رغم وجود مقادیر زیاد ترکیبات غشایی زبر، به صورت وسیع در مناطق گرمسیری مورد استفاده قرار می گیرند.

٤-۲-۱۸) حبوبات

حبوبات دانه های گیاهان تیره بقولات هستند که کشت آنها در سالهای اخیر درکشورهای اتحادیه اروپایی رایج شده است. از جمله آنها لوبیای پهن(*Vicia faba*)، لوبیای گرگی(*Lupinus* sp) و نخودفرنگی(*Pisum sativum*) می باشد. این محصولات دارای۲۵ تا ۴۵ درصد پروتئین بوده و ترکیب آنها مشابه سویاست. هرچند لوبیای گرگی نسبتا غنی از روغن است اما از نظر نشاسته کمبود دارد. لوبیای پهن و نخود فرنگی نیز همانند کنجاله ها چربی اندکی داشته اما مقدار نشاسته آنها بیش از پروتئین است. امروزه نخودفرنگی در بازار اروپا بیشترین فراوانی را داشته و بصورت پوسته دار، خام و پخته قابل دسترس است. عوامل ضد تغذیه ای آن (کیتین ها) مشکلی را برای ماهی ایجاد نمی کند. مشتقات نخود فرنگی مذکور فوق، با در نظر گرفتن بالا بودن میزان مواد همبند در آنها اهمیت تکنولوژیک قابل ملاحظه ای دارند، هر چند استفاده از مواد به مطالعات بیشتری نیاز دارد.

٥-۲-۱۸) آرد یونجه و برگ ها

آرد یونجه به خوبی در اروپا شناخته شده و به عنوان منبع متعادلی ازپروتئین، برخی ویتامین ها وکاروتنوئیدها مطرح است. این مواد کمتر در آبزی پروری استفاده می شوند، چون پروتئین آنها در ماهی قابلیت هضم کمی داشته، از سویی کاروتنوئید آنها بدون تاثیر و محتوای فیبرآنها اغلب بیش از حد است. علاوه بر این، باید در مورد اثرات ساپونین ها[2]، بویژه در سخت پوستان دقت لازم بعمل آید.

---
[1] tannins
[2] saponines

در مناطق گرمسیری محصولات کم و بیش مشابه زیادی از قبیل آرد ipil-ipil (*Leucana glauca*) وجود دارند که سمیت آنها بر اثر ماده میموزین باید بدقت کنترل شود.

٦-۲-۱۸) مواد خام حاصل از ارگانیزمهای تک سلولی

منشا این مواد خام جلبک های تک سلولی یا رشته ای (*Spirulina*، *Spirogyra*، *Cladophora*، *Chlorella*)، قارچ های پست و بویژه مخمرها (*Candida*، *Saccharomyces*، *Torula*، *Kluyveromyces*) و باکتری ها (*Methanobacter*، *Pseudomonas*، *Micrococcus* و غیره) هستند. این نوع فرآورده ها حاصل مطالعات آزمایشگاهی زیادی است که پیش بینی می شود آینده امیدوار کننده ای داشته باشند. از نظر کاربردی، مناسب بودن این ارگانیزمها برای کشت در بالای سطح زمین، روی بسترها یا مواد زائد مختلف و از نظر تئوری، امکان اصلاح سریع کیفیت تغذیه ای آنها از طریق روشهای ژنتیکی و شرایط پرورش، از مزایای استفاده از این نوع مواد خام می باشد. با این وجود، باید توجه نمود که به موازات تلاشهای زیاد برای کشت آنها در مقیاس صنعتی، هنوز مخمرها (*brewer's*، *latic* و *torula*) تنها منابع مهم پروتئین تک سلولی هستند که به میزان قابل توجهی در بازار موجود است. مخمرها منابع متعادلی از پروتئینها را تشکیل می دهند. همچنین این مواد بسیار غنی از ویتامینهای E و گروه B می باشند. یک نوع مخمر ویژه (*Phaffia rhodozemia*) به عنوان منبعی از رنگدانه های کاروتنوئیدی تولید می شود. حضور عوامل رشد که تا مدتها احتمال وجود آن می رفت، تائید نشده است، هر چند چنین بنظر می رسد که نقش محرک گلوکانهای آهیانه در رابطه با ایمنی سلولی بارز وآشکار باشد. تلخ بودن مخمر آبجو برای ماهی ناخوشایند است بنابراین، تنها مخمرهایی که تلخ نیستند را می توان مورد استفاده قرار داد.

۳-۱۸ - فرآورده های خالص سازی شده

۱-۳-۱۸) چربی ها

۱-۱-۳-۱۸) روغن ماهی

روغن ماهی حتی در سطوح بالا نیز بخوبی هضم می شوند. این روغن ها غنی از اسیدهای چرب بسیار غیر اشباع ضروری (HUFAs) و بویژه EPA وDHA، همچنین ویتامینهای محلول در چربی (A وD) میباشند. برخی از آنها (روغن قرمز حاصل از کاپلین) نیز منابع خوبی از آستاگزانتین هستند.

کیفیت روغن های ماهی به منشأ مواد خام (گونه، زمان، مناطق صید وغیره) و همچنین تازه بودن محصول مورد استفاده و روند استخراج آنها بستگی دارد. این مواد، فرآورده های حساسی بوده و باید با استفاده از آنتی اکسیدان ها (BHT ، BHA، اتوکسی کونین)، در مقابل اکسیداسیون محافظت شوند.

۲-۱-۳-۱۸) روغن های حیوانی

پیه و چربی خوک بندرت در آبزی پروری مورد استفاده قرار می گیرند. نقطه ذوب بالای این تولیدات (به سبب فراوانی اسیدهای چرب اشباع) موجب جامد ماندن آنها در دستگاه گوارش ماهی و عدم حساسیت نسبت به فعالیت لیپاز و در نتیجه غیر قابل هضم بودن آنها می گردد. علاوه براین، عملاً فاقد اسیدهای چرب ضروری بسیار غیر اشباع سری n-۳ هستند. در حال حاضر، استفاده از آنها در اتحادیه اروپایی غیرمجاز است.

۳-۱-۳-۱۸) روغن های گیاهی

منابع انرژی این روغن ها قابل مقایسه با روغن ماهی است با این تفاوت که حاوی عوامل ضد تغذیه ای ساخته شده توسط گیاهان می باشد. همچنین، این روغن ها فاقد ویتامین A یا D، آستاگزانتین بویژه اسیدهای چرب ضروری غیر اشباع می باشند. تنها اسید چرب ضروری موجود در این روغن‌ها یا لینولئیک اسید است که معمولا عامل محدود کننده ای در جیره غذایی نیست و یا لینولنیک اسید است که ماهیان آب شیرین به راحتی قادر به تبدیل آن به اسیدهای چرب ضروری بسیار غیر اشباع هستند(فصل ۷). استفاده از این تولیدات در غذای حیوانات بسیار گران است. با این وجود، در شرایط خاص اقتصادی و با توجه به میزان پوششی که توسط سایر اجزای غذایی به نیازهای آمینواسیدهای ضروری داده می شود،

میتوان از این مواد به عنوان مکمل انرژی استفاده نمود. حصول اطمینان از اینکه استفاده از روغن گیاهی کیفیت محصول نهایی را از نظر مزه و ویژگی رژیم غذایی تغییر نمی دهد، ضروری است تا به نوع نگرش به ماهیان پرورشی لطمه ای وارد نشود.

۲-۳-۱۸) نشاسته‌ها

از نشاسته ها به سبب وجود خاصیت همبندی و نیز ارزش انرژی زایی بالا استفاده می شود. این مواد از نظر نوع منشا گیاهی که تعیین کننده نسبت های آمیلوز و آمیلوپکتین و نیز اندازه دانه های نشاسته است و همچنین از نظر نوع تکنیک فرآوری صورت گرفته روی آنها به منظور ژلاتینه شدن، با یکدیگر متفاوتند(فصل ۸). نشاسته های غلات، نسبت به حبوبات قابلیت هضم بیشتری داشته و نشاسته حبوبات نیز بنوبه خود از نشاسته های غده ای قابل هضم‌ترند و در همه موارد، عمل پختن موجب تسهیل در تجزیه آنزیمی می شود. اصطلاح « پیش ژلاتینه کردن»[1] که اغلب اوقات بکار می رود فاقد صحت لازم است بطوریکه مصرف کننده باید به منظور انتخاب بهترین روش عمل آوری نشاسته (پرس کردن یا پختن همراه با فشار)، اطلاعات لازم را در مورد ویژگی های فیزیکی و شیمیایی محصول کسب نماید.

۳-۳-۱۸) اسیدهای‌آمینه خالص سازی شده

در بین اسیدهای‌آمینه مختلفی که به صورت مصنوعی یا بیولوژیک تولید شده و هم اکنون به منظور تغذیه حیوانات در دسترس می باشند، بنظر می رسد که تنها دو اسید آمینه متیونین و لایزین به شکلی موثر در تغذیه ماهی مورد استفاده قرار می گیرند. به علت استفاده وسیع از پروتئین های دریایی، مقدار مورد استفاده این اسیدآمینه در بخش آبزی پروری هنوز نسبت به سایر بخش ها پایین است. افزودن این ترکیبات به جیره حیوانات آبزی، به سبب قابل حل بودن این مولکول ها در آب، نسبت به حیوانات خشک زی مشکلات بیشتری را دربردارد. البته این مساله در رابطه با سخت‌پوستان بسیارحیاتی است، زیرا گرانول ها ممکن است به مدت طولانی در آب باقی مانده و این تصور حاصل شود که حیوان نمی تواند از اسیدهای‌آمینه خالص سازی شده بخوبی استفاده کند.لایزین اسید کلریدریک[2] به صورت بیولوژیک

[1] Prigelatinistion
[2] HCL lysine

تولید می شود و چون فقط شامل ایزومر L می‌باشد، از نظر متابولیک مشکلی ایجاد نمی کند. دو شکل D و L متیونین که بصورت مصنوعی در مقیاس تجاری تولید شده (DL)، فعالیت تقریبا مشابهی دارند، اما MHA که فرآورده مصنوعی مشابه متیونین است، اثر مثبتی بر ماهی ندارد (فصل ۶).

٤-۱۸- افزودنی ها

مواردیکه در زیر فهرست شده اند ترکیبات خالص سازی شده به استثناء اسیدهای‌آمینه و کاروتنوئیدها (که به ترتیب در فصول ۶ و ۱۱ تشریح شده اند) می باشند و افزودن آنها به غذا در مقادیرکم، بنا به دلایل مختلفی مجاز است.

۱-٤-۱۸) جاذب ها

۱-۱-٤-۱۸) عملکرد

جاذب ها در مفهوم دقیق شامل موادی هستند که موجودات زنده را از فاصله مشخصی به سمت طعمه جذب می کنند. در مفهومی گسترده تر جاذب ها در سه گروه طبقه بندی می شوند: گروهی که حیوان را در نزدیکی طعمه متوقف می کنند (جلب کننده ها[1])، گروهی که حس چشایی را تحریک می کنند (برانگیزنده ها[2]) و گروهی که موجب بلعیدن غذا می شوند (تحریک کنندها[3]). این وجه تمایز در ماهیان که حس چشایی و بویایی آنها تنها در محل گیرنده هایشان متفاوتند، در حد یک تئوری است. در گونه‌هایی که تغذیه به حس بویایی بیش از حس بینایی متکی است، جاذب ها نقش مهمی در زمینه تغذیه ایفا می کنند. به رغم گرایش به سمت جایگزینی بخش قابل‌توجهی از آردهای ماهی با سایر منابع پروتئینی، امروزه همچنان هنگام تهیه فرمول اکثرغذاهای آبزیان پرورشی، آرد ماهی بیشترین استفاده را بخود اختصاص می دهد. این فرآورده ها، از جمله آرد میگو یا اسکوئید، برای ماهی جذابیت بیشتری داشته و تاکنون در رابطه با تغذیه و علاقه ماهی به مصرف آنها مشکلی وجود نداشته است. این موضوع هنگامیکه مواد خام اولیه دریایی در مقادیر ناچیز در فرمول غذا گنجانده شوند، صدق نمی کند.

---

[1] Arresantants
[2] Incistants
[3] Stimulants

در مرحله اول باید مواد خامی که اثر تهوع آور بر ماهی دارند (مانند مخمر آبجو) را از فرمول غذایی حذف نمود و هنگام تهیه فرمول جوانب احتیاط را در رابطه با این مواد در نظر گرفت. در مرحله بعد به منظور کاهش اثر نامطلوب غذای مخلوط یا به عبارت ساده تر افزایش اشتهای ماهی نسبت به غذای مخلوط، باید مواد جاذب خالص سازی شده یا نشده را به غذا اضافه کرد.

امروزه افزودن مواد جاذب به جیره های غذایی آزمایشی ساده شده یا خالص شده در آزمایشگاه به منظور تشویق ماهی در مصرف غذا انجام می شود. در سیستم های تولیدی، این مواد در افزایش بلع غذا در شرایط محیطی سخت، بعد از استرس یا هنگام استفاده از غذاهای درمانی نقش مهمی را ایفا می کنند.

۲-۱-٤-۱۸) انواع جاذب ها

مقالات ارزشمندی در زمینه تغذیه ماهی پیرامون مواد جاذب وجود دارد. ترکیبات شیمیایی با قدرت جذب کنندگی بالا، به سه گروه عمده تقسیم می شوند: اسیدهای آمینه سری L (سری D برخی مواقع اثری بهمراه نداشته و گاهی تهوع آور نیز می باشند)، بتائین (یا گلایسین – بتائین) و سایر مولکول ها که دارای یک اتم نیتروژن ۵ ظرفیتی هستند و گروه آخرکه شامل نوکلئوتیدها و نوکلئوزیدها (بویژه اینوزین واینوزین مونوفسفات) می باشند.

ظاهراً این جاذب ها عملکردی کاملا اختصاصی دارند بنحویکه برخی از این مواد که برای گونه خاصی به عنوان جاذب عمل می کنند ممکن است در سایر گونه ها تاثیری نداشته یا تهوع آور باشند. پیش بینی اثرات تشدید کننده (سینرژتیک)، کار بسیار دشواری است (برای یک گونه مشخص ممکن است مخلوط کردن چندین مواد جاذب ضعیف اثر فوق العاده ای بهمراه داشته باشد). از اینرو فراهم نمودن دستورالعملی همواره کاربردی، دشوار است. برای مثال:

- آمینواسیدهای سری L (به تنهایی یا به صورت مخلوط) در گربه ماهی کانالی، باس دریایی، ماهی پهن، مارماهی اروپایی و مارماهی ژاپنی موثرند.
- گلایسین- بتائین همراه یا بدون ترکیبات دیگر اثر جذب کنندگی بر کفشک ماهی، ماهی پهن، سیم دریایی و مارماهی دارد.
- اینوزین بویژه در کفشک، ماهی پهن، گیش ماهی و ماهی دم زرد موثر است.

استفاده از غذاهای با قابلیت آبپوشی مجدد، امکان افزودن بدون ملاحظه مواد جاذب را فراهم می کند. این کار می تواند در مزارع پرورش ماهی به منظور رفع مشکلات مربوط به بی اشتهایی (حاد یا زودگذر) آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار گیرد.

از نظر کاربردی، دو منبع رایج جاذب های طبیعی شامل پودرهای ماهی (غنی از نوکلئوتیدها) و آردهای حاصل از بی مهرگان شامل میگو و اسکوئید غنی از بازهای نیتروژنی می باشند.

۲-٤-۱۸) افزودنیهای خاص

افزودنیهای قابل استفاده در خوراک حیوانات بر اساس قوانین صریح و مطلق اروپایی برای گونه‌ها یا گروههای پرورشی تعیین می شوند. در طبقه بندی گونه ها، ماهی اغلب در طبقه سایر گونه ها قرار میگیرد. حداکثر دوز مجاز و شرایط استفاده، همچنین مصرف بصورت مجزا یا به صورت ترکیب با سایر مواد، مشخص شده است. این فهرست، داروهایی را دربرنمی‌گیرد که صرفا توسط دامپزشک تجویز میشوند اما شامل مواد غذایی نظیر ویتامین ها و عناصر کمیاب می شود.

افزودن انواع آنتی بیوتیک ها، محرک های رشد یا تنظیم کننده های اسیدیته به غذای ماهی مجاز است که در اینجا چهار گروه از این مواد مورد بررسی قرار می گیرد:

- آنتی اکسیدان ها
- امولسیون کننده ها، قوام دهنده ها، حجم دهنده ها[1]، عوامل ژلاتینه (گروه E)
- نگهدارنده ها (گروه G)
- مواد همبند و منعقد کننده ها (گروه L)

کاروتنوئیدها در گروه پنجم قرار دارند(گروه F) (به فصل ۱۱ مراجعه شود)

۱-۲-٤-۱۸) آنتی اکسیدان ها

آنتی اکسیدان ها موادی هستند که براحتی اکسید شده و به این ترتیب از سایر ترکیبات حساس به اکسیداسیون محافظت می کنند. این مواد به منظور گسستن یا کند کردن زنجیره ای از واکنش های شرکت کننده در پراکسیداسیون، استفاده می شوند.

[1] Thickeners

این واکنش های زنجیره ای با تشکیل رادیکال های آزاد در سطح پیوندهای دوگانه موجود در اسیدهای چرب شروع شده و با تشکیل ترکیبات پایدار و سمی آلدئیدی، پایان می یابد(فصل ۷). این واکنش ها تنها در بدن موجود زنده رخ نمی دهد، بلکه غذاها بویژه روغن های غنی از اسیدهای چرب غیر اشباع را تحت‌تاثیر قرار می دهند(فصل ۱۹). پراکسیداسیون توسط یون های متابولیک از جمله آهن و مس تسریع شده و نه تنها اسیدهای چرب بلکه بسیاری از مواد غذایی ناپایدار مانند ویتامین A و کاروتنوئیدها را نیز تخریب می کنند.

پراکسیداسیون توسط انواع مختلفی از مولکول ها کاهش می‌یابد که با استفاده از مکانیسم های مختلف واکنش ها را تحت تاثیر قرار می دهند. این مولکول ها شامل جداکننده های اکسیژن (آسکوربیک اسید)، بازدارنده های اثر فلزات (اسید سیتریک، EDTA، آمینواسیدها) و دهنده های پروتون(توکوفرول ها، اتوکسی کوئین، BHA[1]، BHT[2]) می باشند. استفاده از ۱۵ آنتی اکسیدان در مورد تمامی گونه ها و غذاها مجاز است که رایج ترین آنها علاوه بر آسکوربیک اسید و توکوفرول که از اجزاء مواد غذایی هستند (فصل ۸)، BHA و BHT و اتوکسی کوئین[3] می باشد. توصیه می شود آنتی اکسیدان های پیشگیری کننده (جداکننده های اکسیژن و بازدارنده ها) و درمان کننده (دهنده های پروتن) برای مثال آسکوربیک اسید و آلفا توکوفرول، BHA یا BHT تواماً مورد استفاده قرار گیرند. آنتی اکسیدان ها اغلب به برخی مواد خام مورد استفاده در خوراک ماهی (مانند آردماهی، میگو یا اسکوئید، یا روغن های ماهی) و همچنین طی فرآیند ساخت غذا، اضافه می شوند.

۲-۲-٤-۱۸) مواد همبند

این دسته از مواد که بسیار رایج می باشند، با هدف تولید محصول نهایی با قابلیت پایداری در آب و تا حدودی حفظ ویژگی های فیزیکی در هوا، بطور گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد که شامل پلی ساکاریدهای کم و بیش پیچیده هستند به شرح ذیل می باشند:

---

[1] butylhydroxyanised
[2] butylhydroxytoluene=butylmethylphenol
[3] dihydroethoxytrimethyl quinoline

- عصاره جلبکی : آلژینات (در حضور یون کلسیم ژل پایداری را ایجاد می کند)، جلبک قهوه ای و همچنین آگار-آگار و کاراگینان استخراج شده از جلبک قرمز
- عصاره گیاهان خشک زی: پکتین ها، صمغ عربی، صمغ گوار، عصاره غلاف خرنوب
- عصاره حیوانی: کیتوزان ها
- عصاره باکتریایی: صمغ های زانتان
- سایر موارد: کربوکسی متیل سلولز و سایر سلولزهای تغییر شکل یافته، محصولات صنایع شیمیایی، لیگنوسولفیت های تولید شده در صنعت کاغذ سازی، بنتونیت و سایر گل های رسی.

باید در نظر داشت که مواردی از قبیل ملاس ها، نشاسته ها (به صورت خام یا تغییر یافته)، گلوتن گندم، کازئین، کلاژن و ژلاتین که منبعی از هیدراتهای کربن یا پروتئین ها هستند، به علت ویژگی چسبندگی، می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۲-٤-۱۸) مواد نگهدارنده

از این جهت نگهداری غذاهای مرطوب استفاده می شود. سوربات پتاسیم[1] نوعی ترکیب ضد قارچ است که کاربرد گسترده ای دارد. از اسیدهای آلی یا معدنی نیز طی فرآیند ساخت سیلوی ماهی استفاده می‌شود.

٤-۲-٤-۱۸) پروبیوتیک ها

پروبیوتیک ها شامل فرآورده های میکروبی موثر از نظر بیولوژیکی هستند که از چندین نوع باکتری(جنس استرپتوکوکوس، باکتری های لاکتیک) یا هاگ های قابل احیا تولید شده و به همان صورت اولیه یا کشت شده در محیطهای مختلف (لاکتوسرم، بذر غلات سبز شده و غیره) وجود دارند. نحوه تاثیر این مواد و مکانیسم های مرتبط در این عملکرد تاکنون به صورت کامل شناسایی نشده اند، اما احتمالاً این مواد از طریق تغییر فلور روده ای در رشد تاثیر مطلوبی می‌گذارند. درگونه های مختلف ماهی، اثرات قابل توجه ناشی از استفاده این مواد طی مراحل اولیه پرورش و با استفاده از غذای زنده مشاهده شده است. تاثیر این عوامل در مراحل بعدی زندگی ماهیها هنوز به اثبات نرسیده است.

[1] potassium sorbate

توجه به این نکته ضروری است که پروبیوتیک ها از نظر منطقی به عنوان مواد افزودنی واقعی یا به عنوان مواد دارویی و درمانی محسوب می شوند.

۵-۲-٤-۱۸) آنزیم ها

هنگامیکه حیوان فاقد آنزیم گوارشی برای تجزیه یک ماده غذایی مشخص است، افزودن این آنزیم به همراه ترکیباتی با قابلیت هضم اندک به غذا اهمیت دارد.

تلاش های فراوانی به منظور انجام این کار صورت گرفته که اغلب با شکست مواجه شده اند. امروزه، ایده افزودن فیتاز به غذا به منظور افزایش استفاده از فیتیک فسفر[1] و در نهایت کاهش مقدار مواد دفعی فسفردار، در حال بررسی است. این کار در تعداد زیادی از واحدهای پرورش خوک با موفقیت صورت گرفته است. اهمیت تامین این مواد محدود به مصرف موادخام گیاهی غنی از اسید فیتیک می باشد (این مواد دارای مشکل کمبود آنزیم هستند که از این طریق می توان آن را رفع کرد).

۵-۱۸- خلاصه

امروزه مواد خام مورد استفاده در غذادهی حیوانات آبزی، اندک است. این نتایج در درجه اول ناشی از نیازهای منحصربفرد ماهی (شامل سطح بهینه بالای پروتئین ها، نیاز به اسیدهای چرب ضروری ویژه، پذیرش نسبتا پایین نشاسته، نقش جاذب ها) است که مانع از کاربرد اجزاء غذایی خاص در فرمول غذایی می شود. آردهای حیوانی به رغم قیمت بالا، برای ماهی و سخت پوستان اهمیت دارند، درحالیکه استفاده از محصولات گیاهی در خوراک آبزیان محدودیت دارد. با این حال می توان از آنها در مقادیر کم یا تحت شرایط خاص بویژه در مورد گونه های همه چیز خوار نظیر کپور، تیلاپیا یا گربه ماهی کانالی استفاده کرد. بنابراین، منطقی است که فهرست فرآورده‌های قابل استفاده در تغذیه آبزیان پرورشی در آینده افزایش یابد.

آگاهی ما در مورد ارزش مواد خام مختلف و در مناطق مختلف همچنان هنوز محدود است بنحویکه قابلیت هضم پروتئین یا انرژی و اثرات واقعی عوامل ضد تغذیه ای اغلب مورد توجه قرار نگرفته اند. این خلاء را تنها می توان با انجام تحقیقات کاربردی پرکرد که ممکن است درصورت محدود نمودن آنها به گونه های مهم در آبزی پروی، طولانی مدت باشند.

---

[1] Phytic phosphorus

«فصل ۱۹»

عوامل ضد تغذیه‌ای

ماهیت ترکیبات نامطلوب موجود در مواد خام بسیار متنوع می باشد. این مواد شامل آلاینده های مواد خام نظیر حشره کش ها یا فلزات سنگین، ترکیبات سمی موجود در فرآورده های اصلی (مثل ماهی آلوده قبل از تبدیل شدن به آرد ماهی) یا موجود در فرآورده های تولیدی طی حمل و نقل و نگهداری، می باشند. در مفهومی گسترده تر، این مواد برخی ترکیبات غشاء گیاهی را تشکیل می دهند که در صورت مصرف بیش از حد، قابلیت هضم را در حیوانات تک معده‌ای (مونوگاستریک) کاهش می دهند. نقش این مواد در تغذیه عکس مواد جاذب و اشتها آور است و اغلب به عنوان عوامل ضد تغذیه ای طبقه بندی می شوند. از آنجائیکه از یک سو مقادیر عوامل ضد تغذیه ای در جداول استاندارد ذکر نشده و از سویی دیگر، در نظر گرفتن عملکرد آنها در زمان تنظیم و فرموله کردن جیره غذایی دشوارتر از عملکرد مواد غذایی است، بنابراین در این فصل روی مفهوم دقیق این مواد تاکید خواهد شد.

۱-۱۹- کلیات

۱-۱-۱۹) طبقه بندی

ترکیباتی با ویژگی های ضد تغذیه ای که در فرآورده های گیاهی فراوان و در فرآورده های حیوانی یا میکروارگانیسم ها ناچیز هستند . این مواد شامل :

ـ مواد ضد تغذیه ای به مفهوم واقعی که مصرف مواد غذایی خاصی را محدود می کنند، نظیر عوامل ضد تریپسین

ـ ترکیباتی که بازدهی فرآیندهای هضم را محدود می کنند و ممکن است اختصاصی یا غیراختصاصی باشند، نظیر اسید فیتیک

ـ ترکیباتی که درسطح متابولیک فعال بوده و در مجموع با مواد سمی مطابقت بیشتری دارند تا عوامل ضدتغذیه ای. مثل ترکیبات ضد تیروئیدی موجود در گیاهان خانواده شب بو

ـ موادی با عملکرد چندگانه از جمله بازدارندگی اشتها

سایر طبقه بندی های احتمالی بر اساس ترکیب شیمیایی این عوامل می باشند. در بین عوامل متداول، تعداد کمی از گروههای شیمیایی شامل اسیدهای آلی و اسیدهای‌آمینه، پپتیدها یا پروتئین ها، گلوکوزیدها، ساپونین ها، پلی فنل ها و آلکالوئیدها نیز یافت می شوند.

سموم قارچی یا جلبکی گروه دیگری از عوامل ضد تغذیه ای را تشکیل می دهند که از لحاظ شیمیایی بسیار ناهمگن می باشند. هیچ نوع سیستم طبقه بندی در مورد عوامل ضد تغذیه ای در فرآورده های حیوانی وجود ندارد. با این وجود، خلاصه ای از مهمترین ترکیبات نامطلوب در عناصر سازنده حیوانی ارائه خواهد شد.

۲-۱-۱۹) نحوه وقوع و روش های مقابله

عوامل ضد تغذیه ای گاهی بصورت متابولیت ها یا ترکیباتی هستند که در فیزیولوژی گیاه نقش بخصوصی ایفا می کنند. این موضوع در مورد اسید فیتیک و بخصوص فیتین(بی فیتات کلسیم و منیزیم) که به صورت فسفر و فلزات در گیاه ذخیره می شوند، صادق است. بنابراین، اسید فیتیک و فیتات ها عمدتاً در اندام های ذخیره ای، دانه ها و غدد یافت می شوند. بنا به دلیل مشابه، استفاده از انتخاب ژنتیکی به عنوان یک شاخص، تاثیر ضعیفی در این ویژگی دارد در حالیکه میزان بلوغ و حتی شرایط کشت و پرورش می تواند منجر به ایجاد درجات مشخصی از تغییرپذیری گردد.

در سایر موارد، هیچ نوع نقش فیزیولوژیک به این ترکیبات اختصاص داده نشده و بنظر می رسد یک وسیله دفاعی برای گیاهان در برابر شکارچیان محسوب می شوند. این وضعیت برای بسیاری از آلکالوئیدها صادق است و می تواند موجب ایجاد مشکلات متعددی در حیوانات شود. در موارد حاد که سمیت بیشتری وجود دارد گیاه تحت عنوان خوراکی طبقه بندی نشده و به عنوان گیاه سمی تلقی میشود.

بنابراین، آستانه بین گیاهان غنی از عوامل نامطلوب و گیاهان سمی اغلب بر حسب دوز یا سطح حضور این مواد می باشد. در هر گونه، مواجه شدن با سویه هایی با درجات مختلف سمیت، امری عادی است. بنابراین، از لحاظ نظری می توان از طریق روشهای ژنتیکی، گیاهانی با محتوای پایین عوامل ضد تغذیه ای ایجاد نمود. ایجاد نژادهای معمولی عاری از عوامل ضد تغذیه ای زمانی امکان پذیر است که راه حلی بنیادی برای مشکلاتی که متخصصان علم تغذیه با آن مواجه اند، فراهم شده باشد.

با توجه به ماهیت شیمیایی این ترکیبات، گاهی می توان با استفاده از تیمار متناسب، اثر عامل ضدتغذیه ای را کاهش داد. گرچه اسیدهای آلی در برابر گرما فوق العاده مقاومند، اما تقریبا همواره می توان از طریق تیمار حرارتی ترکیبات دارای ماهیت پروتئینی، به نتیجه مطلوبی دست یافت. همچنین به سبب خاصیت محلول در چربی بودن بعضی از این ترکیبات، این مواد در جریان استخراج روغن (پرس کردن) جدا شده و از کنجاله ها حذف می شوند.

۲-۱۹- عوامل ضد تغذیه ای

۱-۲-۱۹) اسید فیتیک

این ترکیب از یک اینوزیتول استری شده توسط شش مولکول اسید فسفریک تشکیل شده و ترجیحا منبعی از فسفر و اینوزیتول است که یک شبه ویتامین برای ماهی محسوب می شود (فصل۹). مهره داران فاقد آنزیم هایی هستند که قادر به هیدرولیز موثر پیوندهای استری این ترکیب باشند. بنابراین، مواد مغذی موجود در فیتات ها، حداقل در حیواناتی که فلور گوارشی فعالی ندارند، از جمله ماهی ها، غیرقابل دسترس است. علاوه براین، ملکول اسید فیتیک در جریان عبور از دستگاه گوارش قادر به تولید ترکیباتی با مولکول های مختلف بخصوص به شکل نمک های فلزات دوظرفیتی نظیر کلسیم، منیزیم، منگنز، روی، کبالت و غیره می باشد. بنابراین، اگر این ملکول به شکل نمک نباشد، به یک عامل ضد تغذیه ای تبدیل می شود. اثر نامطلوب اسید فیتیک تا زمانی تداوم می یابد که در آنزیم های گوارشی خاصی تاثیر بگذارد، برای مثال، موجب کاهش قابلیت هضم پروتئین های جیره غذایی شود.

تمام این اثرات در مهره داران عالی بخوبی شناسایی شده است اما جزئیات بیشتر در رابطه با ماهیان بصورت مفصل مورد بررسی قرار نگرفته است. با این وجود، اثرات کاهشی فیتات بر مصرف پروتئین درآزادماهیان کاملا مشخص شده است.

در مقابل، در میگوهای پنئیده فیتیک فسفری تا حدی قابل دسترس می باشد. در این حیوانات اصلا فیتاز وجود ندارد، ولی بنظر می رسد با استفاده از سایر فسفاتازها، هیدرولیز امکان پذیر باشد.
چون اسید فیتیک بسیار پایدار است، هیچ روش تکنولوژیک حتی جهت هیدرولیز جزئی آن وجود ندارد. به منظور در نظر گرفتن حضور این ماده و قابلیت دسترسی پایین آن، فرض بر این است که فیتیک فسفری کمتر از فسفر موجود در فرآورده های حیوانی یا نمک های معدنی در دسترس می باشد(فصل ۱۰). واکنش های آن با عناصر کمیاب نیز در این فصل مطرح می شود. امروزه افزودن فیتازهای خالص سازی شده به جیره های غذایی توصیه می شود زیرا این روش منجر به کاهش مصرف مکمل های فسفر معدنی شده و به این ترتیب میزان فسفر دفعی رها شده به محیط زیست اطراف کاهش می یابد. سایر نمک های آلی نظیر اسید اکسالیک با خصوصیات مشابه نیز وجود دارند اما اهمیت کاربرد آنها در تغذیه آبزیان حداقل است.

۲-۲-۱۹) عوامل ضد تریپسین

این ترکیبات ماهیت پروتئینی داشته و در بذر گیاهان بوفور وجود دارند، ولی در صورت استفاده در جیره‌های غذایی با غلظت های بالا اثرات نامطلوبی بدنبال خواهند داشت. در غلات چون این ترکیبات میزان استفاده از پروتئین ها برای جوانه های گیاه را تنظیم می کنند، نقش ضد تغذیه ای آنها قابل اغماض است. در مقابل، این ترکیبات در برخی گیاهان تیره بقولات بویژه در سویا (*Glycine max*)، با غلظت های بالایی وجود دارند و به همین علت مدتهاست که کنجاله سویای خام برای مصرف حیوانی، نامناسب تشخیص داده شده است. در این گونه، حداقل دو نوع پروتئین ضد تریپسین مجزا شامل عامل Kunitz و عامل Bowman – kirk وجود دارد که نحوه عملکرد آنها در پستانداران و پرندگان طی مطالعات آزمایشگاهی بخوبی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا بواسطه تشکیل ترکیبات پایدار، بازدارندگی از فعالیت تریپسین و به میزان کمتر کموتریپسین و الاستاز ایجاد می شود که منجر به کاهش قابل توجه در قابلیت هضم پروتئین می گردد. در برخی از گونه ها به دنبال افزایش تروفی پانکراس، پس از یک دوره‌ای معین با بروز یک مکانیسم جبرانی، ترشح تریپسین به علت افزایش ترشح کولسیستوکینین فعال میگردد.

این مکانیسم جبرانی به هیچ وجه کافی نبوده و قابلیت هضم پروتئین جیره غذایی همچنان پایین باقی می‌ماند. علاوه براین، حضور این عوامل به سبب بالا بودن میزان سیستئین موجود در تریپسین می تواند منجر به کمبود آمینواسیدهای گوگرددار حتی در جیره های موازنه شده شود.

عوامل ضد تریپسین در مقابل حرارت پایدار نیستند. مطالعات تکنیکی زیادی در مورد امکان تخریب این عوامل بدون تغییر قابل ملاحظه در ارزش غذایی پروتئین ها، صورت گرفته و امروزه درجه حرارت، فشار، رطوبت و زمان مورد نیاز بخوبی مشخص شده اند. بنظر می رسد که ماهی در مقابل عوامل ضد تریپسین که در سایر گیاهان تیره بقولات (برای مثال، لوبیا) در غلظت های بسیار پایین وجود دارد، خیلی حساس باشد بنابراین از لحاظ کاربردی، صرفا کنجاله هایی که عوامل ضد تریپسین آنها فوق العاده پایین است میتوانند در خوراک های ماهی مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۲-۱۹) سایر عوامل ضد تغذیه ای پروتئینی

آنتی آمیلازها: اثر بازدارنده این مواد بر هضم نشاسته مشابه اثر آنتی تریپسین ها بر پروتئین هاست، اما نقش آنها جزئی است. از بین سایر عوامل دارای ماهیت پروتئینی، آنزیم هایی نظیر اورئاز(تجزیه کننده اوره) از عوامل دیگر ضد تغذیه ای ناپایدار در برابر حرارت موجود در سویا بوده که ظاهراً اهمیت چندانی ندارند (این ماده به سبب رها سازی آمونیاک در خون، سمی است که بطور یقین این مسئله در آبزیان دفع کننده آمونیاک اهمیت کمتری دارد)، با این وجود، این ماده به عنوان یک شاخص خوب هنگام پخت کنجاله سویا عمل می کند. سایر آنزیم ها نظیر مایروزیناز[1] (که همراه با گلیکوزینولات ها[2] شرح داده خواهند شد) و لیپوکسیداز، به عنوان آنتی ویتامین A، دارای فعالیت ضد تغذیه ای می باشند.

لکتین ها: گروه دیگری از ترکیبات پروتئینی را تشکیل می دهند که در همه جا از جمله در گیاهان عالی، میکروارگانیسم ها و حیوانات پست وجود دارند. از آنجاییکه این ترکیبات به سلول های خونی متصل شده و آنها را لخته می کنند اغلب لخته کننده خون یا هموگلوتینین نامیده می شوند. در حقیقت، ویژگی شاخص آنها میل ترکیبی ویژه با پلی ساکاریدها شامل پلی ساکاریدهای موجود در غشاهای سلولی است.

---

[1] Myrosinase
[2] glucosinolates

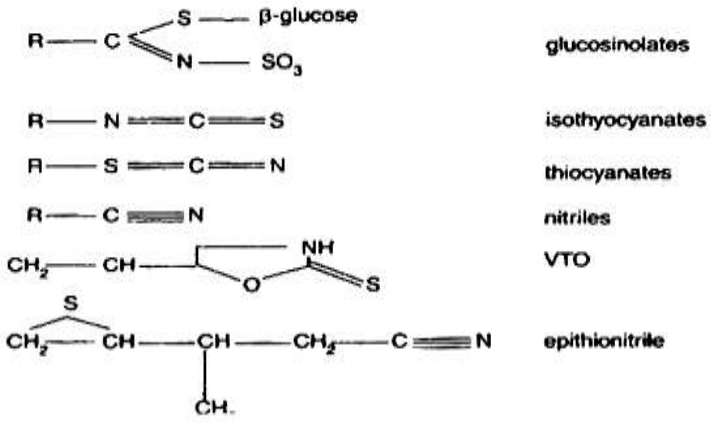
ظاهراً لکتین ها بواسطه چسبیدن به انتروسیت هایی که موجب اختلال در ویژگی جذب کنندگی آنها میشوند، اثر ضد تغذیه ای خود را بروز می دهند. چندین گیاه از تیره بقولات، بویژه نخود فرنگی (*Pisum saltivum*)، از لکتین ها غنی هستند. پختن، یکی از روش های غیرفعال کردن این عوامل است، هرچند لکتین های مقاوم در برابر حرارت (ricin) نیز وجود دارند. اثرات زیانبار این مواد روی ماهی تقریبا ناشناخته باقی مانده است.

٤-۲-۱۹) گلوکوزینولاتها و عوامل ضد تیروئیدی

این ترکیبات عمدتا در گیاهان خانواده شب بو یافت می شوند و در تمامی بخش های گیاه وجود دارند. تعداد بسیار زیادی از این ترکیبات یا توسط گیاهان ساخته شده اند یا در جریان اعمال تیمارهای تکنولوژیک بر اثر فرآیندهای تجزیه ای حاصل می شوند. تاکنون بیش از ۷۰ درصد ترکیبات شناسایی شده اند. در مجموع، این ترکیبات تا ۸ درصد از ماده خشک دانه را بخود اختصاص می دهند که در کنجاله آنها به دو برابر این مقدار می رسد. دو گونه گیاهی کلم روغنی (*Brassica napus*) و شلغم وحشی (*Brassica campestris*) که بترتیب عمدتاً در اروپا وکانادا کشت می شوند و هر دو اشتباهاً تحت نام ژنریک کلزا خوانده می شوند، از نظر محتوای گلوکوزینولات ها با هم متفاوتند بطوریکه شلغم وحشی غنی تر از کلم روغنی است.

تمام گلوکوزیدها از یک مولکول گلوکز و یک ترکیب سولفوره با زنجیره جانبی که ماهیت متغیر دارد، تشکیل می شوند. گلوکوزینولاتها به خودی خود سمی نیستند، اما مزه تلخ آنها می تواند رفتار تغذیه ای را تحت تاثیر قرار دهد. بیشتر اثرات عوامل ضد تیروئید ناشی از مولکول های حاصل از هیدرولیز گلوکوزینولات‌هاست که تحت تاثیر مایروزیناز (که یک کمپلکس آنزیمی است) تولید می شوند. فرمول ترکیباتی که معمولا به این صورت شکل می گیرند در شکل ۱-۱۹ نشان داده شده است. کم اشتهایی حیوان بهنگام مصرف غذاهای حاوی آرد دانه کلم روغنی عمدتا به سبب ایزوتیوسیانات‌هاست، حال آنکه تاثیر عوامل ضد تیروئید بیشتر به علت ۵- وینیل-۲- تیو-اکسازولیدون[1] یا VTO است که گوایترین[2] نیز نامیده می شود.

[1] 5-vinyl-2-thio-oxazolidone
[2] goitrine



شکل ۱-۱۹) فرمول شیمیایی گلوکوزینولات ها و برخی ترکیبات مشتق شده از آنها
(Larbier and Leclercq, 1992)

این مولکول از اتصال ید به هورمون های تیروئید جلوگیری می کند. این اثر را نمی توان از طریق تامین مولکول های ید در جیره غذایی جبران نمود و نتیجه آن افزایش حجم تیروئید یا گوآتر است.

روش های مختلفی برای کاهش سمیت ناشی از کنجاله های گیاهان خانواده شب بو بویژه از طریق غیر فعال کردن حرارتی مایروزیناز وجود دارد اما هیچ یک از این روش ها کاملا رضایت بخش نبوده و این مسئله زمانی تغییر نمود که متخصصان علم ژنتیک بعد از تولید محصول Zero erucic (که در آن روغن تقریبا فاقد اروسیک اسید است)، واریته های Double zero را بدست آوردند که میزان گلوکوزینولات‌ها در آنها خیلی کم است. بذر واریته Double zero کانادایی که در واقع نوعی کلم روغنی با مقادیر اندک گلوکوزینولات هاست، کانولا نامیده شد. حساسیت ماهی به گلوکوزینولات ها و مشتقات آنها از گونه‌ای به گونه دیگر و حتی درون یک گروه مشابه نظیر ماهی آزاد اقیانوس اطلس کاملاً متفاوت است.

۵-۲-۱۹) ساپونین ها

این ترکیبات همچون گلوکوزینولات ها ماهیت گلوکوزیدی دارند که در تمام قسمت های گیاه و بویژه در برگ های گونه ها یافت می شوند. از شناخته شده ترین این ترکیبات که در یونجه (*Medicago sativa*) وجود دارد، از یک مولکول گلوکز تشکیل شده که توسط اسید مدیکاژنیک استری شده است. ده ها مولکول از این نوع وجود دارند.

ساپونین ها دو خاصیت دارند: اولا به علت مزه تلخ، قادرند خوش طعمی جیره را کاهش داده و دوم اینکه بواسطه میل ترکیبی با استرول ها، در جذب آنها از روده دخالت می کنند و بازیافت نمک های صفراوی را محدود می سازند. ساپونین ها بسیار پایدارند، ولی تنوع ژنتیکی قابل توجهی دارند بطوریکه یونجه هایی با مقادیر اندک ساپونین کشت می شوند. سمیت ساپونین ها در ماهی مورد بحث و اختلاف نظر بوده و عملاً به شکلی ضعیف مورد استدلال قرارگرفته است. در رابطه با سخت پوستان هنوز مطالعات آزمایشگاهی وجود ندارد، اما سمیت ساپونین ها در این گروه از موجودات باید بالاتر از مهره داران باشد که علت آن ناتوانی بندپایان در سنتز هسته اصلی استرول به عنوان یک ضرورت است (فصل ۱۷).

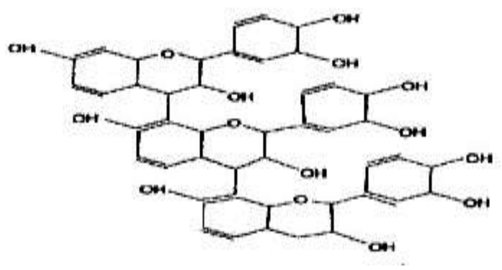
٦-۲-۱۹) گوسیپول

این ترکیب نوعی پلی فنل است که در غده های میکروسکوپی پنبه دانه (*Gossypum* sp.) بوفور وجود دارد. ظاهراً این ماده دارای عملکردی پیچیده است. بعد از خورده شدن گوسیپول، قابلیت هضم پروتئین کاهش می یابد. علاوه بر این، در صورت بالا بودن دوز مصرفی در جیره غذایی قزل آلا، رشد بشدت کاهش یافته و علائم چندگانه مسمومیت در کلیه، کبد و طحال ظاهر می شود. اعمال تیمار حرارت مرطوب به کنجاله، امکان تشکیل ترکیباتی که ۹۰ درصد گوسیپول آنها غیر فعال شده را فراهم می کند. اخیرا گونه های پرمحصولی با غده های بسیارکم تولید شده اند که فاقد گوسیپول می باشند.

گلوکوزیدهای متعددی با اثرات زیانبار وجود دارند، بخصوص گلوکوزیدهای سیانوژنیک که بر اثر هیدرولیز، سم خطرناک اسید سیانیدریک آزاد می کنند. این مواد در مانیوک (cassava) و برخی دانه‌های گیاهان تیره بقولات وجود دارند.

۷-۲-۱۹) تانن ها

تانن ها پلی فنل هایی متعلق به دو خـانواده انـد کـه تنهـا یـک دسـته از آنهـا یعنـی تـانن هـای متـراکم، در برگیرنده عوامل ضد تغذیه ای واقعی می باشند. این مواد شامل پلی‌مرهای درشت مولکولی هسـتند کـه در گرامینه ها نظیرسورگوم و برخی حبوبات لگومینه از قبیل باقلا (*vicia faba*) یا در بعضی گیاهـان شـب بـو نظیر کلم روغنی یافت می شوند. تانن ها در پوسته دانـه هـا قـرار دارنـد. اثـر ضـد تغذیـه ای آنهـا هماننـد گلوکوزینـولات هـا و سـاپونین هـا از طریـق کـاهش اشـتها دو چنـدان مـی شـود. ایـن موضـوع بـویژه در سورگوم‌های bird resistant روشن است. اثر ضد تغذیه ای حقیقی تانن، ناشی از تشکیل کمـپلکس هـای غیراختصاصی بین تانن ها و پروتئین های خاص، بخصوص آنزیم های گوارشی است که در مفهـوم کلـی با ایجاد مانعی، قابلیت هضم را کاهش می دهد. تانن های متراکم، مولکول هایی هستند کـه بـه آسـانی از طریق حرارت دادن تخریب می شوند، ضمن اینکه با پوسته زدایی دانه ها بخش از ایـن مـواد بـه آسـانی از بین می روند. علاوه بر این، متخصصان علم ژنتیک در مورد لوبیا به واریته هایی با میزان تـانن پـایین دسـت یافته اند که پروتئین آنها قابلیت هضم بیشتری دارند.



شکل ۲-۱۹) ساختار شیمیایی تانن های متراکم (Larbier and Leclercq, 1992)

۸-۲-۱۹) آلکالوئیدها

آلکالوئیدها در مفهـومی دقیـق، مولکـول هـای نیتروژنـی مشـتق شـده از اسـیدهای‌آمینـه (شـامل لایـزین، اورنیتین، تیروزین، فنیـل آلانـین و تریپتوفـان) هسـتند. بصـورت واضـح تـر، ایـن مـواد خـانواده بزرگـی از مولکول ها را تشکیل می دهند که همواره شامل حداقل یک اتم نیتروژن، بـه عنـوان بخشـی از یـک حلقـه نامتجانس، هستند.

چندین هزار نوع از این ترکیبات شناسایی شده اند و چنین برآورد می شود که یک چهارم از گیاهان عالی حاوی این ترکیبات باشند اما این مواد به ندرت در گیاهان خوراکی یافت می شوند ضمن آنکه در گیاهان پست ناشناخته اند. برخی از آنها مانند کافئین و نیکوتین به سبب تاثیر در سیستم عصبی، شناخته شده اند. سایر آلکالوئیدها در درجات مختلف سمی اند. تمامی انواع لوپن های مورد استفاده در خوراکهای انسانی یا حیوانی حاوی آلکالوئیدها (لوپینین، لوپانین و غیره) بوده و مزه تلخ مشخصی دارند و به منظور قابل مصرف کردن این دانه ها یا آرد آنها، باید این ترکیبات را از طریق خیس کردن در آب، خارج نمود. از قرن نوزدهم واریته های تقریبا فاقد آلکالوئیدها از ۴ گونه از جمله لوپن سفید (*lupinus albus*) و لوپن ریز(*lupinus angustifolius*) که بترتیب عمدتاً در اروپا و استرالیا پرورش می‌یابند، حاصل شده است. امروزه این واریته های شیرین جایگزین واریته های تلخ شده و بخوبی توسط ماهی مصرف میشوند و عملکرد فوق العاده ای بهمراه دارند. دانه های لوپن شیرین یکی از اولین منابع پروتئین گیاهی مورد استفاده در تغذیه ماهیان پرورشی در استخرها بوده است.

آلکالوئیدهای متعدد دیگری نیز وجود دارند. در خانواده بقولات، (لگومینه ها) ترکیبات vicine و convicine وجود دارد. استفاده از چندین آلکالوئید در ماهی به طور آزمایشی، مسمومیت خطرناکی را بدنبال دارد اما مطابق با دانش امروزی، استفاده از آلکالوئیدهای حاصل از مواد خام معمولی مسمومیتی بهمراه نداشته است.

۹-۲-۱۹) سایر عوامل ضد تغذیه ای حاصل از گیاهای عالی تر

عوامل ضد تغذیه ای بیشتری را می توان به فهرست عوامل ضد تغذیه ای موجود در غذاهای ماهی افزود، هر چند تاثیر آنها ممکن است اندک بوده و از نظر علمی و اهمیت اقتصادی ناشناخته باشند. چند نمونه از آنها بدین شرح است:

- عوامل استروژنی[1] در گیاهان که از نظر شیمیایی متنوع بوده و می توانند بلوغ جنس ماده را تحت تاثیر قرار دهند.

[1] oestrogenic

- اسیدهای چرب با اثرات سمی نظیر اروسیک اسید حاصل از گیاهان شب بو یا استرکولیک اسید موجود در روغن پنبه دانه (بازدارنده واکنش های غیر اشباع نمودن اسیدهای چرب) که تقریبا به طور کامل از کنجاله ها (و آردها) قابل حذف می باشند.

- اسیدهای‌آمینه غیر پروتئینی که از طریق رقابت با اسیدهای‌آمینه تشکیل دهنده پروتئین، بعنوان سموم مسدود کننده سنتز پروتئین در RNA های پیامبر ایفای نقش می کنند. این اسیدهای‌آمینه ویژه، نظیر میموزین که در یک گیاه خوراکی بقولاتی گرمسیری *Leucaena glauca* وجود دارد، حاوی اثرات سمی بیشتری است.

- آنتی ویتامین های مختلف و غیره

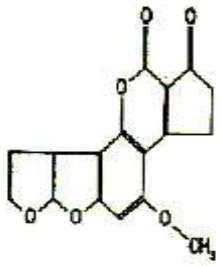
۱۰-۲-۱۹) سموم قارچی یا جلبکی

سموم قارچی آن دسته از ترکیباتی هستند که توسط قارچ های میکروسکوپی ترشح می‌شوندکه عموما کپک نامیده می شوند. برخی از این مولکول ها بسیار سمی اند، برای مثال، اثر سرطانزایی آفلاتوکسین ها ۱۰۰ بار بیشتر از اثر اغلب ترکیبات مصنوعی سرطانزای فعال است. خطر محصولات گیاهی کپک زده از مدتها پیش شناخته شده و مشخص گردیده که اجزاء خاصی از گیاهان دارای منشاء گرمسیری (مانند کنجاله های بادام زمینی) اغلب مواقع آلوده بوده و تنها بعضی مواقع آلودگی کمی دارند، چون جلوگیری از رشد کپک در محیط گرم و مرطوب دشوار است. ماهیت مایکوتوکسین ها (سموم قارچی) بتازگی تعیین شده و اندازه گیری صحیح اجزا مختلف در مقادیر بسیار جزئی، کار دشواری است. از اینرو، برآورد سمیت محصولات فاسد شده توسط میکروارگانیسم ها بویژه در مورد ماهی همچنان دشوار است. این موضوع ما را به یک شناخت مختصر محدود خواهد کرد.

۱-۱۰-۲-۱۹) آفلاتوکسین ها

این مواد، ترکیبات کاملاً متداولی هستند که توسط *Aspergillus flavus* تولید می شوند. معمول ترین ماده خام آلوده، کنجاله بادام زمینی است ولی انواع دیگری از مواد خام مانند کنجاله پنبه دانه یا نارگیل، مانیوک و غلات نیز ممکن است آلوده شوند.

مولکول های آفلاتوکسین زیر نور ماوراء بنفش روشن می شوند که از این روش برای شناسایی آنها استفاده می شود بطوریکه مولکول‌هایی با فلورسانس آبی، آفلاتوکسین های B و مولکول هایی با فلورسانس سبز، آفلاتوکسین های G نامیده می شوند. در حال حاضر ساختار مولکول های آفلاتوکسین شناسایی شده است (شکل ۳-۱۹). سمیت آنها با توجه به گونه های حیوانی متنوع است اما ظاهراً آفلاتوکسین B_1 بیشترین سمیت را دارد. ماهی آزاد اقیانوس اطلس و گربه ماهی آمریکایی در برابر سم آفلاتوکسین مقاومتر از قزل آلا می باشند. این ماهی در صورتیکه از جیره غذایی حاوی ۰/۴ ppb (میلی گرم از هر تن غذا) آفلاتوکسین B_1 در یک دوره طولانی دریافت کند، به سرطان کبد مبتلا می شود. تاکنون بر اساس مطالعات انجام شده، قزل آلا حساس ترین گونه نسبت به آفلاتوکسین هاست. علاوه بر این، اثرآفلاتوکسین ها بواسطه استرکولیک اسید تقویت می شود که منجر به خطرناکتر شدن کنجاله پنبه دانه آلوده شده با *Aspergillus flavus* می گردد. غلظت ایجاد کننده مسمومیت مزمن، از طریق حدآستانه قابل تشخیص است.



شکل ۳-۱۹) فرمول شیمیایی آفلاتوکسین ها (Larbier and Leclecrq, 1992)

۲-۱۰-۲-۱۹) سایر سموم قارچی

سموم قارچی متعددی وجود دارند که کمتر از آفلاتوکسین ها مورد شناسایی قرار گرفته اند. تریکوتسن‌های[1] ترشح شده توسط کپک های جنس *Fusarium* و زیرالنون[2] تولید شده توسط *Fusarium roseum*، همانند اوکراتوکسین های[3] ترشح شده توسط گونه های آسپرژیلوس و پنی سیلیوم، بوفور روی غلات کپک زده وجود دارند. اوکراتوکسین A در قزل آلا سمیتی نزدیک به سمیت آفلاتوکسین ها ایجاد می‌کند. در مورد سایر سموم، اغلب اثری مشاهده نشده یا هنوز در ماهی مورد بررسی قرار نگرفته است. باید توجه داشت که Trichotecene–vomitoxin منجر به استفراغ در قزل آلا نمی شود، اما مصرف غذا را مختل می کند.

۳-۱۹- عوامل ضد تغذیه ای در فرآورده های حیوانی

تشریح عوامل ضد تغذیه ای فرآورده های حیوانی بسیار دشوارتر از محصولات گیاهی است، هرچند به عنوان نمونه، عوامل آنتی تریپسیک در آرد ماهی دیده شده است. همچنین آویدین[4]، پروتئین موجود در سفیده تخم مرغ خام، یک آنتی ویتامین حقیقی است. بنابراین، انواع مختلفی از ترکیبات مضر در مواد حیوانی خام نیز وجود دارند.

۱-۳-۱۹) تیامیناز

حضور آنزیم های هیدرولیز کننده تیامین در ماهی خام ، بویژه در ماهیان آب شیرین ثابت شده است. این آنزیم در ماهیان تغذیه شده با غذاهای مرطوب یا ماهیان سیلو شده یا خرد شده باعث بروز بیماری میشود. تیامیناز با حرارت دادن غیر فعال می شود و می توان بسادگی و با کاهش طول دوره تماس بین آنزیم و ماده زمینه (یعنی غذای تازه تهیه شده) و همچنین افزایش میزان تیامین خالص، از بروز چنین وقایعی جلوگیری کرد.

---

[1] Trichotecenes
[2] Zearalenone
[3] ochratoxins
[4] avidine

۲-۳-۱۹) هیستامین

هیستامین یک آمین بیوژنیک مشتق شده از هیستیدین است که توسط حیوانات ساخته شده و منجر به بروز آلرژی در حیوانات عالی می شود. همچنین این ماده پس از مرگ ماهی از طریق فعالیت باکتری ها بویژه باکتری *Proteus morganii* تولید می شود. میزان هیستامین از شاخص های ارزیابی کیفیت آرد ماهی یا حداقل تازگی فرآورده های مورد استفاده در ساخت غذاست. اما از آنجاییکه میزان هیستامین با همان سرعتی افزایش می‌یابد که ماهی فاسد می شود و پس از فساد خیلی شدید، کاهش می یابد، نمی تواند به تنهایی به عنوان شاخص ارزیابی کیفی استفاده شود. هیستامین در گوشت ماهی تن می تواند به شکلی ویژه به سطوح بالایی برسد از اینرو بروز بیماری در انسان پس از مصرف ماهی تن غنی از هیستامین مشاهده شده است. در مقابل، ظاهراً استفاده از این محصول به صورت خوراکی منجر به بروز شوک هیستامین در ماهی نمی شود.

گیزرولین ها[1]، که نام آن از سایشی که در سنگدان بوقلمون ها و مرغ ها موجب می شود گرفته شده است، از مشتقات هیستامین بوده و هنگام حرارت دهی بیش از حد تولید می شوند. این ماده همانند هیستامین به گیرنده مشابه متصل می شود ولی ۲۰۰ مرتبه فعال تر از هیستامین می باشد. هنوز روش موثری برای اندازه گیری شیمیایی این آمین که به میزان اندکی شناسایی شده، وجود ندارد و صرفا با استفاده از آزمایشهای بیولوژیک روی جوجه ها مقدار آن تعیین می شود.

۳-۳-۱۹) لیپیدهای پر اکسید شده

اسیدهای چرب غیر اشباع بویژه اسیدهای چرب چند غیر اشباعی با زنجیره طولانی n-۳ (HUFAs) نسبت به پراکسیده شدن که به طور طبیعی در بدن موجود زنده روی می دهد، بسیار حساسند (فصل ۷). این واکنش ها همچنین طی حرارت دادن مواد خام در فرآیندهای پلت سازی یا اکستروژن و نیز طی دوره ذخیره سازی مواد خام یا غذا روی می دهند. به این ترتیب، ترکیبات ناپایداری که بر اثر این واکنش ها ایجاد می شوند همراه با ترکیبات سمی پایدار (آلدئیدها و کتون ها) حاصله در پایان زنجیره، عوامل ضد تغذیه ای حقیقی را تشکیل می دهند.

---

[1] Gizzaroline

این مواد به صورت یکجا اندازه گیری شده و در مجموع با عنوان مواد واکنش پذیر اسید تیوباربیتوریک[1] (TBARs) بیان می شوند. این مواد باعث از بین رفتن اشتهای ماهی نسبت به غذا، القاء کمبود ویتامین C بویژه ویتامین E و همچنین ایجاد مسمومیت جدی می شوند. مسمومیت ناشی از این مواد شامل اختلال در عملکرد فعالیت گوارشی و کاهش توانایی دستگاه گوارش است که ناشی از جلوگیری از ترشح آمیلاز، لیپاز و تریپسین، همچنین توقف جزئی ترشح آنزیم های چرخه کربس و کاهش سنتز ATP در میتوکندری می باشد. بطور کلی، بیشتر علائم مشاهده شده بعد از افزودن روغن های پراکسیده شده به جیره غذایی، شامل همولیز گلبول های قرمز خون، تحلیل رفتن عضلات، تراوشات مویرگی یا کم خونی میکروسیتیک، در حقیقت بیانگر کمبود آلفا- توکوفرول هستند. این علائم ناشی از تخریب غشاهای سلولی به دنبال پراکسیده شدن اسیدهای چرب چند غیر اشباع (HUFAs) است که از طریق افزودن ویتامین E می توان از بروز آنها جلوگیری نمود. باید خاطرنشان کرد که پراکسیده شدن اسیدهای چرب در مواد خام، جیره های غذایی و حتی غذاهای تازه آماده مصرف بواسطه استفاده از آنتی اکسیدان های مصنوعی و توکوفرول ها بشدت کاهش می یابد، اما در رابطه با استات توکوفرول غیرفعال شده پیش از هیدرولیز بی‌تاثیر است.

٤-۳-۱۹) سموم جلبکی منتقل شده توسط ماهی

تعداد زیادی از ترکیباتی که برای انسان یا ماهی سمی اند توسط گونه های خاصی از فیتوپلانکتونها و در جریان پدیده هایی موسوم به کشند قرمز(red tides) ترشح می شوند. از جمله این سموم، سیگواتوکسین‌ها[2] و مایوتوکسین ها[3] هستند که توسط نوعی جلبک تک سلولی به نام *Gambierdiscus toxicus* ترشح می شوند. این جلبک روی جلبک های ماکروفیت بویژه پس از تخریب صخره های مرجانی، رشد و گسترش می یابد. ساختار سیگواتوکسین ها بتازگی شناسایی شده است. این ماده یک مولکول بسیار پیچیده است که از نظر واکنش زیستی بسیار غیرعادی بوده و می تواند کانال های سدیم غشاهای سلولی را مسدود نماید، از اینرو فوق العاده سمی است.

---

[1] Thiobarbituric
[2] Ciguatoxins
[3] Maiotoxin

فرمول مایوتوکسین ترشح شده توسط این جلبک، هنوز شناسایی نشده است. این مولکول ها در زنجیره غذایی تجمع یافته و ترجیحاً در ماهیان گوشتخوار مسن تر ساحلی متمرکز می شوند. بنابراین، این ترکیبات ظاهراً برای ماهی چندان سمی نیستند، اما همین مواد برای پرورش دهنده ای که از این ماهیان سمی یا حتی آرد حاصله از این ماهیها در آبزی پروری استفاده می کند بسیار زیانبار است، زیرا سیگواتوکسین در مقابل حرارت مقاوم است.

امکان وجود سموم باکتریایی در فرآورده های حیوانی فاسد وجود دارد که منجر به بروز بیماری های بسیار خطرناکی می شوند. با این وجود، معمولا آنها را به عنوان عوامل ضد تغذیه ای در نظر نمی گیرند. این سموم از جمله ترکیباتی هستند که موجب ضعف ایمنی غذایی می شوند. این گروه شامل سموم جلبکی می‌شوندکه قبلا به آنها اشاره شد.

٤-۱۹ - خلاصه

اثرات ناشی از عوامل ضد تغذیه ای گیاهی بر ماهی کمتر از مهره داران عالی مورد مطالعه قرار گرفته است. چون این مواد خام به دلایل اقتصادی یا دلایل تکنیکی مختلف بندرت در غذاهای آبزیان پرورشی مورد استفاده قرار می گیرند، این موضوع در برخی از موارد قابل توجیه است. مطالعات پیرامون سایر موارد (عوامل آنتی تریپسین، آفلاتوکسین ها)، حساسیت بالایی را در ماهی نسبت به این عوامل نشان داده و بنابراین، کنترل بسیار دقیق بر کیفیت اجزا سازنده اولیه الزامی است. در مورد مواد خام حیوانی و بویژه مواد دارای منشاء دریایی (تنها منبع اسیدهای چرب چند غیر اشباع سری۳ -n (HUFAs)، اطلاعات بیشتری وجود دارد که البته این اطلاعات هنوز کافی نیست.

«فصل ۲۰»

فرمولاسیون غذاها در آبزی‌پروری

از آنجاییکه غذاهای ترکیبی ماهی در یک مقیاس صنعتی تولید می شوند، برای ساختن آنها از ابزارهای کامپیوتری با کارآیی بسیار بالا بویژه روش فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه استفاده می‌شود. اما در آبزی پروری، به دلیل پایین بودن دقت مربوط به ارزش مواد غذایی یا محدودیت های تکنیکی، در بازدهی و در نتیجه کارکرد این ابزارها اختلال ایجاد شده است. نگرانی اخیر در مورد حفظ محیط زیست و حتی توسعه تکنیک های مختلف از قبیل سیستم اکستروژن، دامنه پارامترهایی که باید در نظر گرفته شوند را گسترش داده و در شرایط کنونی از اهمیت بیشتری برخوردار شده است. با این همه، فرمولاسیون غذای آبزیان بر پایه اصول مورد استفاده برای حیوانات خشک زی استوار است که در این فصل به تفصیل بیان می شود.

۲۰-۱ - اصول کلی

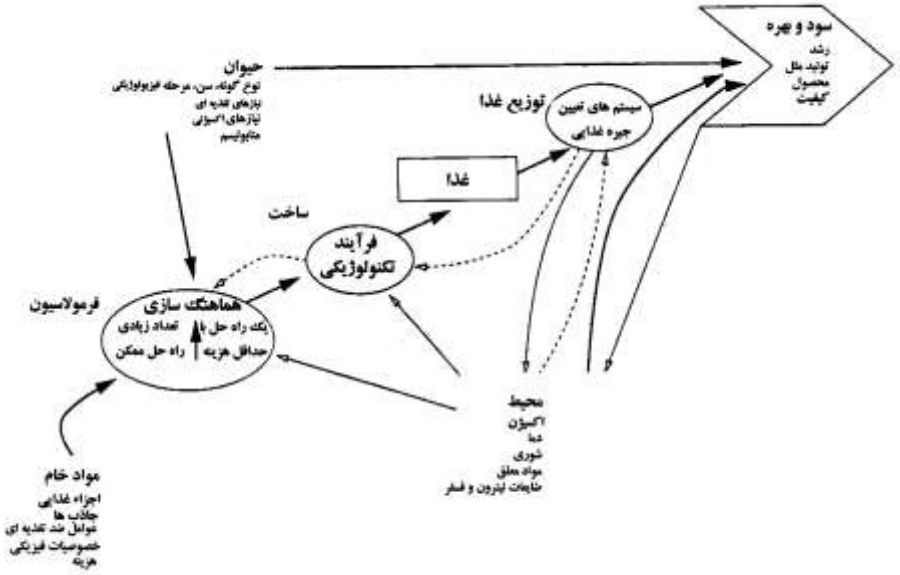
۲۰-۱-۱) اهداف اصلی

در صورت در دسترس بودن انواع مختلفی از مواد خام، دامنه متنوعی از ترکیبات در اختیار خواهد بود که با استفاده از آنها می توان فرمول های غذایی متعددی را مطابق با نیاز حیوان تنظیم نمود. مطالعات تغذیه‌ای امکان تعیین نیازهای حیوان را فراهم کرده و از علم شیمی برای شناخت محتوای عناصر غذایی مواد خام استفاده می شود. این مطالعات تواماً برآورد مناسب ترین ترکیب قابل محاسبه را امکان پذیر می سازد.

با این وجود، تعداد راهکارهای تئوری ممکن نامحدود است. تعیین فرمولاسیون غذایی با حداقل هزینه به منظور ایجاد صرفه اقتصادی، مسئله دیگری است که باید مورد توجه قرار بگیرد.

۲-۱-۲۰) طرح کلی

شناسایی مقرون به صرفه ترین غذایی که تامین کننده تمام نیازهای حیوان باشد، تنها یکی از جنبه های مسئله است که باید توسط سازنده غذا یا بصورت دقیق تر توسط تنظیم کننده فرمول غذا حل شود. بهترین غذا الزاما غذایی نیست که نیاز حیوان را با حداقل هزینه (صرفا از نظر تغذیه ای) تامین کند یا بیشترین سود را برای تولید کننده غذا یا آبزی پروران بدنبال داشته باشد. بهترین غذا، غذایی است که بیشترین سود را برای مجموعه ای از افراد و بخش های مرتبط، شامل تولیدکنندگان، پرورش دهندگان و عمل آوران، همچنین گروههای مسئول حفظ محیط زیست، تضمین کند. ارتباط موجود بین خصوصیات حیوان، عناصر سازنده و محیط زیست و نیز مفاهیم مراحل مختلف ساخت و استفاده از غذا در شکل ۱-۲۰ ارائه شده است.



شکل ۱-۲۰) مسائل مرتبط با ساخت غذا

۳-۱-۲۰) ویژگی های مرتبط با حیوان، غذا و محیط زیست

در بین خصوصیات حیوان نه تنها نیازهای غذایی بلکه رفتار تغذیه ای، توانایی هضم برخی غذاها و سایر خصوصیات از جمله ویژگیهای متابولیک نیز وجود دارند که به گونه و وضعیت فیزیولوژیک حیوان مربوط می شوند. از میان ویژگی های غذا، علاوه بر مواد مغذی که مطالعات زیادی را بخود اختصاص داده اند، مواد ضد تغذیه ای، عوامل خوش طعمی (یا بد مزگی)، همچنین برخی خصوصیات فیزیکی نیز باید مد نظر قرار گیرند. در ارتباط با مشخصات محیط زیست آب لازم است میزان اکسیژن، مواد معدنی و آلی، همچنین مواد جامد معلق مطالعه شوند. بطورکلی، بایستی پیامدهای پرورش ماهی پیرامون این عوامل مدنظر قرار گیرند.

محیط زیست روی فیزیولوژی و نیازهای تغذیه ای ماهی تاثیر گذار بوده و متقابلاً هر کدام از این عوامل بر محیط زیست اثر می گذارند. بنابراین، ضروری است که واکنش ها و تاثیرات متقابل بوجود آمده مورد توجه قرار گیرند. مطالعه پیرامون مفاهیمی مانند روش های ساخت یا توزیع غذا نیز لازم است.

۲-۲۰ - اصول و محدودیت های فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه

فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه عمده ترین روشی است که در حال حاضر مورد استفاده قرار میگیرد، گرچه این روش نیز امروزه مانند ماشین حساب کم کم در حال کنارگذاشتن است. همانطور که در کادر ۱-۲۰ ارائه شده است، اصول کلی شامل حل مجموعه ای از معادلات است.

فرض کنید مجموعه ای از مواد اولیه M موجود باشد که میزان a_{ij} هر ماده مغذی مشخص است، شاخص i به یک ماده غذایی(برای مثال لایزین) و شاخص j به جزء سازنده (برای مثال آردماهی) مربوط می شود، اگر a_{ij} نیاز یک ماده غذایی i (مثلا نیاز لایزین) باشد، برای اینکه مجموع مواد غذایی اولیه i بزرگتر یا مساوی نیازها شود، رابطه مورد استفاده به این صورت خواهد بود:

$$\sum a_{ij} x_j \geq b_i$$

در اینجا x_j درصد مواد خامی است که در فرمولاسیون گنجانده می شود و اصطلاح ماده مغذی برای مواد مغذی حقیقی، مواد مغذی درشت، انرژی، خاکستر، فیبر و غیره بکار می رود.

برآورد نهایی، مربوط به هزینه است که باید به حداقل رسانده شود. مقدار یک ماده مغذی مشخص از یک جزء سازنده می تواند عملا به صفر رسیده یا نامشخص باشد که در چنین حالتی(در صورت امکان) می توان مقدار صفر را برای آن فرض نمود بدون اینکه تغییری در عملکرد کل ایجاد شود. اما یک هزینه مجهول منفرد روند محاسبه را مختل می کند. در حقیقت، اگر نا مساوی های (m).....(۱) توسط معادلات جایگزین شوند، باید مجموعه ای از معادلات (m+۱) با n مجهول حل گردد. حل این سیستم (به جز در مواردیکه m=m است) یا غیر ممکن خواهد بود یا بی نهایت جواب خواهد داشت. اگر نامساوی ها جایگزین معادلات شوند، تعداد بی شماری پاسخ خواهیم داشت، اما با به حداقل رساندن تابع بهترین پاسخ انتخاب می شود.

$$C = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \ldots\ldots\ldots + C_m \; X_M$$

در این معادله، C هزینه یا به عبارت دیگر تضمین کننده راه حل برآورد حداقل هزینه است.

تمامی نامساوی ها مربوط به معادله حداقل هزینه مطابق با نیازها نیستند، در شرایط خاص، برای مثال، هنگامیکه مقدار یک ماده مغذی مانند آمینواسیدهای ضروری یا املاح معدنی خاص به دلیل مضر بودن مقادیر اضافی باید کاهش یابد، لازم است تا مقدار حداکثر در نظر گرفته شود. بنابراین، در رابطه با برخی مواد مغذی فرمول ذیل ارائه می شود:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2} + \ldots\ldots\ldots + a_{ij}x_j + \ldots\ldots\ldots + a_{in}x_n \geq b_i$$
$$a_{i1}x_1 + a_{i2} + \ldots\ldots\ldots + a_{ij}x_j + \ldots\ldots\ldots + a_{in}x_n \leq B_i$$

در اینجا B حداکثر مقدار مجاز است.

چون مقادیر اضافی اغلب هزینه اضافی به همراه دارند، در عمل در مورد مواد مغذی این نوع نامساوی ها کمتر بکار می روند و از فرمول حداقل هزینه حذف می شوند. اما سطح حداقلی از b_i و سطح حداکثری از B_i را می توان به منظور حفظ مقدار در یک محدوده مشخص بکار برد. استفاده از حد بالا تنها برای ترکیباتی نظیر فیبرها یا کل املاح معدنی متداول است. در موارد خاص، تنها معادلات بکار می روند.

کادر ۱-۲۰) نمایش ریاضی عوامل مورد نظر در فرمولاسیون خطی غذا با حداقل هزینه

a_{ij} = مقدار ماده خام j از یک ماده غذایی i

b_j = احتیاجات، به معنی استاندارد توصیه شده برای ماده غذایی i

B_i = حداکثر ماده غذایی قابل قبول i

x_i = درصد ماده خام j

n = تعداد اجزاء غذایی اولیه قابل دسترس

m = تعداد مواد مغذی در نظر گرفته شده

C_j = هزینه اجزاء غذایی اولیه j

نامساوی های مربوط به محدودیت های تغذیه ای

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \qquad (1)$$

$$a_{21}x_2 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \qquad (2)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m \qquad (m)$$

همراه با

$$x_1 + x_2 + \dots x_n = 100 \qquad (m+1)$$

در رابطه با مواد مغذی خاص، نامساوی های زیر را می توان به کار برد

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n \geq b_1 \qquad (P)$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n \leq B_1 \qquad (P+1)$$

نامساوی ها یا معادلات مربوط به محدودیت های تکنیکی

$$x_i > d$$
$$x_k \leq e$$
$$p < x_0 < f$$
$$x_h = g$$

این نامساوی ها یا معادلات برای اهداف مختلف به کار می روند.

این مجموعه نامساوی ها یا معادلات با m+1+N که N برابر با مجموع نامساوی های (P+1) مربوط به اطلاعات تکنیکی است، راهکارهای متعددی را شامل می شود.

فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه تنها یک راه حل را در بر می گیرد، که این راه حل تابع را کوچک و ساده تر می کند.

$$C = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_J\ x_J + C_nx_n$$

به عبارت دیگر، این فرمول کمترین هزینه را به همراه دارد. جمع پذیری مقادیر $a_{ij}x_j$ که به معنی صحت معادلات و نامساوی های نوع (p) یا (p+1) می باشد، به علت خطی بودن این فرمولاسیون است.

برای مثال، چون اسیدهای آمینه ضروری از نظر انرژی با ارزشند یا حتی سطوح مذکور فوق، دارای انـرژی با حداقل هزینه اند، می توان سطحی از انرژی را ثابت نگه داشت. داده هایی نظیـر b_i یـا B_i محـدودیتهای تغذیه ای می باشند.

در صورتیکه سازنده غذا بخواهد درصد یک عنصر سازنده مشـخص را کـاهش و یـا افـزایش دهـد، سـایر خصوصیات را می توان بر اساس مقادیر x_{ij} تعیین نمود و محدویت های تکنیکی را محاسبه کرد. حتـی در صورتیکه مقدار ماده مغذی به تنهایی سودآور نباشد، این محدودیت ها می تواند حداقل مقدار یک عنصر مشخص را تعیین نماید. در مقابل، به دلایل فنی می توان استفاده از آن را حتـی در مـواردی محـدود نمـود که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بنظر می رسد. می توان ملاحظه نمود که چگونه این محدودیت ها کـه استفاده از آنها صرفا بر پایه نیازهای تغذیه است، تنها هزینه فرمولی را افزایش داده و امکان در نظـر گـرفتن پاره ای از عواملی که نمی توانستند به مجموعه اولیه معادلات وارد شوند را فراهم می کنند.

۳-۲۰ - محدودیت های نظری فرمولاسیون خطی

۱-۳-۲۰) خطی بودن و جمع پذیری در تغذیه

اصول فرمولاسیون خطی به خودی خود بر پایه محاسبه مقدار مواد مغذی با استفاده از یک فرمول ریاضـی ساده استوار است که از نظر تئوری حداقل تا زمانی که مواد مغذی خام مدنظر باشند، مورد بحـث و تبـادل نظر قرار نمی گیرد. اما این موضوع همواره در مورد مواد مغذی موجود درست نمی باشد. برای مثـال، بـه عنوان اولین برآورد چنین فرض می شود که انرژی قابل هضم یک جیره تابع خطـی از ترکیبـات آن باشـد. این فرضیه توسط دانشـمندانی کـه انـرژی قابـل هضـم را انـدازه مـی گیرنـد پذیرفتـه شـده امـا بـه نـدرت بطورکامل به اثبات رسیده است. همانگونه که در رابطه با اشباع شـدن پدیـده هضـم- جـذب مشـاهده مـی شود، اگر سطح مشارکت در ترکیب (x) بالا باشد، میزان انرژی ایـن عنصـر سـازنده مـی توانـد بـه شـدت کاهش یابد. به عبارت دیگر، a_{ij} دیگر تابع ثابت x نبوده و معادلات ارائه شده در بالا را نباید بکـار بـرد. از جمله موارد کلاسیک این نوع معادلات غیرخطی، میزان انرژی نشاسـته اسـت کـه در مـورد مـاهی اگـر در مقادیر زیاد در ترکیب غذا باشد، کاهش خواهـد یافـت. ایـن اثـر هنگامیکـه نشاسـته خـام بـوده و مـاهی از فعالیت آمیلاز پایینی برخوردار است چشمگیرتر است (فصل۸).

در این شرایط، اصل فرمولاسیون خطی تنها زمانی معتبر است که معادلات به سمت معادلات پیچیده تر با امکان تخمین محتوای مواد مغذی جیره غذایی جابجا شود.

به یک نکته انتقادی جالب تر نیز باید اشاره شود. انرژی قابل هضم یک عنصر سازنده به میزان زیادی به حضور سایر اجزاء غذایی بستگی داشته که این پدیده به صورت واکنش متقابل تعریف شده و از نظر تئوری، اصل فرمولاسیون خطی را بی اعتبار می سازد. واکنش متقابل بسیار رایج است (فصل۴). برای مثال، قابلیت هضم اسیدهای چرب اشباع به واسطه حضور اسیدهای چرب غیراشباع افزوده شده از طریق سایر اجزاء غذایی، بهبود می یابد. در رابطه با نیازهای اسیدهای‌آمینه ضروری، نیاز متیونین به ورود سیستئین بستگی دارد(فصل۶). همچنین واکنش های متقابل زیادی بین ویتامین ها از جمله، کولین، ویتامین B_{12}، اسید فولیک و متیونین وجود دارد(فصل ۹).

۲-۳-۲۰) موارد غیر قطعی و ناشناخته

در شرایط وجود پارامترهای ناشناخته متعدد، اغلب می توان از نرم افزارهای کامپیوتری جهت برنامه نویسی خطی استفاده نمود. این روش در مورد فرمولاسیون غذاهای مورد مصرف ماهیانی که نیازهای آنها به طور ناقص شناخته شده یا هنگام استفاده از مواد اولیه با ترکیب ناشناخته، بکار می رود. همچنین از این روش موقتا به منظور معرفی بسیاری از خصوصیات با توجیه علمی یا فنی، استفاده می شود و با بهره گیری از سرعت بالای کامپیوترها، این موارد محاسبه می شوند. اما هر اختلاف نتایج عملی مشابه در پی ندارد. اختلافاتی که خصوصیات حیوانی را مورد ملاحظه قرار می دهند حتی بسیار بیشتر از فهرست مربوط به گونه های پرورشی بوده و اغلب سرعت رشد آنها سریع تر از رشد دانش مربوطه است. بنابراین، کمبود اطلاعات در زمینه قابلیت هضم، نیازها یا حتی مقاومت در برابر برخی عوامل ضد تغذیه ای، باید به اجبار از طریق گونه خویشاوند جبران شود. خطرات موجود در این مرحله متنوع هستند.

-در رابطه با مواد مغذی خاص نظیر ویتامین ها، وجود حدود اطمینان ضروری است. دلیلی در مورد عدم استفاده بیش از حد از مکمل های مشابه برای یک گونه مجهول همانند یک گونه شناخته شده وجود ندارد.

-برخی نیازها نظیر نیاز به آمینواسیدهای ضروری بر حسب ۱۶ گرم نیتروژن بیان می شوند که ظاهراً نه تنها در داخل یک خانواده از گونه های مشابه، بلکه در مورد تمامی ماهی ها بسیار شبیه یکدیگر باشد.

بنابراین، تنها در انتخاب پروفیل آمینواسیدهای ضروری مشابه برای یک گونه مجهول همانند آنچه که در مورد سایر گونه ها تعیین شده است، احتمال وجود خطری کوچک در نظر گرفته می شود(فصل ۶).

– در بسیاری موارد می توان به طور موقت مقدار مجهولی از نیازها را از طریق متوسط نیازهای تعیین شده در گونه های خویشاوند و حتی اگر گونه های خیلی نزدیک مورد مطالعه قرار نگرفته باشند، از طریق متوسط تعیین شده برای ماهی بطورکلی جایگزین نمود. در این حالت، ارزیابی خطر همواره دشوار است. برای مثال، در خانواده بزرگ تیلاپیا، چنین بنظر می رسد که نیازهای تغذیه ای بین گونه ها تفاوت اندکی داشته باشد اما در مورد آزاد ماهیان با رژیم گوشتخواری غالب، میزان بهینه پروتئین غذا ها و اثر صرفه‌جویی در مصرف پروتئین توسط چربی ها، بین گونه‌ها تفاوت قابل ملاحظه ای دارد.

ظاهراً قابلیت هضم یک ماده مغذی درون یک گونه مشخص، برای مثال در ماهی با تمایلات گوشتخواری، همه چیزخواری یا علفخواری، نسبتا ثابت است. بنابراین، در مورد برآورد مشابه قابلیت هضم یک عنصر مشخص در باس دریایی و قزل آلا، خطای بزرگی حاصل نمی شود. درمقابل، در بیان این موضوع که نشاسته خام قابلیت هضم برابری در ماهیان گوشتخوار دریایی همانند کپور و تیلاپیا دارد، احتمال بروز خطای قابل توجهی را افزایش می دهد.

بنابراین، رسیدن به نتیجه گیری واضح و روشن در مورد عواقب ناشی از وجود اختلاف در نتایج حاصل از برنامه نویسی خط غیر ممکن است. متاسفانه کمبود شدید داده ها مستلزم درون یابی یا برون یابی آنها می‌باشد که می تواند دقت فرمول های بهینه ای که ظاهرا بسیار دقیق است را کاملا تغییر دهد.

۳-۳-۲۰) خصوصیاتی که تعیین آنها از نظر کمّی به آسانی امکان پذیر نیست.

خوش طعمی ماده اولیه یا غذا تابع غلظت مواد خاصی است که صفات مربوط به حس چشایی نظیر طعم های ترشی، تلخی یا شیرینی را تعیین می کنند. هر چند برخی از این مواد را می توان اندازه گیری نمود، اما برآورد طعم مخلوطی از مواد امکان پذیر نیست. علاوه بر این، عوامل متنوع دیگری نظیر تردی، حلالیت یا ویسکوزیته یک جزء غذایی یا حتی فاکتورهای مربوط به حیوان نظیر سن، وضعیت فیزیولوژیک و نحوه سازگاری گونه نسبت به جیره های غذایی قبلی که می توانند تشخیص طعم را تحت تاثیر قرار دهند نیز دارای اهمیت است.

در عمل، برآورد کمّی کیفیت های چشایی از طریق برنامه نویسی خطی غیر ممکن است. همچنین، بسیاری از ویژگی های دیگر مانند خصوصیات فیزیکی ترکیب غذایی با وجود اهمیت زیاد در تکنولوژی غذادهی، مستقیما قابل اندازه گیری نمی باشند.

۴-۲۰ - روش هایی برای مقابله با مشکلات

۱-۴-۲۰) واکنش های متقابل- راه حل های مختلف

در موارد خاص، می توان واکنش های متقابل مانند واکنش متقابل بین متیونین و سیستئین را براحتی با استفاده از برنامه نویسی خطی، محاسبه کرد.

موجودی متیونین $\geq b_m$

موجودی متیونین + سیستئین $\geq b_{SAA}$

در اینجا b_m و b_{SAA} به ترتیب کل نیازهای مربوط به متیونین و آمینواسیدهای گوگرد دار است. نامساوی اول نشان می دهد که نیاز به متیونین را تنها می توان از طریق این اسیدآمینه تامین نمود. نامساوی دوم نشان می دهد که پس از تامین نیاز به متیونین، این اسید آمینه یا اسید آمینه دیگر در تامین کل نیاز به اسیدهای‌آمینه گوگرددار موثرند.

در سایر موارد نظیر واکنش های متقابل بین ویتامین ها یا اسیدهای‌آمینه پیش از این تشریح شد، به دلیل پیچیدگی نمی توان با استفاده از نامساوی های ساده تشریح کرد اما می توان شرایطی را فراهم نمود تا یک ماده غذایی در مقادیر اشباع کننده (که به علت هزینه آن در حد حداقل استاندارد تامین می شود) حضور یابد بطوریکه امکان ساده کردن مساله فراهم شود. برخی واکنش های متقابل نظیر واکنش های موجود بین فسفر و کلسیم یا لایزین و آرژنین، که اغلب به آنها استناد می شود، صرفا در حیوانات خشک زی وجود داشته و در ماهی ها یافت نمی شوند. بنابراین، برنامه‌نویسی خطی بدون هیچ شک و تردیدی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در صورتیکه واکنش های متقابل بین مواد مغذی برآورد $\sum a_{ij}$ را تغییر دهد، رعایت اصول برنامه نویسی خطی به خودی خود مختل می شود. بنابراین، اطمینان از عدم انحراف بیش از حد ضروری است که این موضوع خارج از مباحث این فصل است.

۲-۴-۲۰) نیازها، استانداردها و حدود اطمینان

ساده ترین روش برای جبران موارد غیر قطعی استفاده از حدود اطمینانی است که منطبق بر اختلاف بین استاندارها و نیازهاست (فصل۲). این حدود را می توان بنا به دلایل زیاد با بی‌دقتی در اندازه گیری، عدم تجانس حیوانات یا حتی بی‌دقتی در تعیین ترکیب مواد خام، مرتبط دانست. بنابراین، اغلب متخصصان علوم تغذیه این حدود را با توجه به محاسبات آماری یا سایر ملاحظات مربوط به آزمایش ها انتخاب می کنند. این درحالیست که سازنده غذا، این استانداردها را تغییر داده و حدود اطمینان را افزایش می دهد. همچنین سایر تغییراتی که ممکن است در داخل عناصر سازنده اولیه موجود باشد را مدنظر قرار می دهد. در موارد خاص (حداقل در پرورش حیوانات خشک زی) حدود انتخاب شده با واریانس یک جزء سازنده مشخص در ترکیب نسبت عکس دارد. هرچند، اغلب مواقع هر شرکت خط مشی خرید و آنالیز مخصوص بخود را داشته و حدود را خود انتخاب می کند. اغلب تولید کنندگان در شرایطی که لازم است غذا برای گونه ای که نیازهای آن بخوبی شناخته نشده فرموله شود، از استانداردهای مربوط به سایر گونه های شناخته شده استفاده می کنند. بسختی می توان این اقدام محتاطانه را توجیه کرد زیرا فرمولاسیونی را ارائه می کند که هر چه بیشتر از مفهوم حداقل هزینه دور می شود.

۳-۴-۲۰) فرمولاسیون با استفاده از ویژگی های ناپایدار تغذیه ای: مصرف مواد خام غیر واقعی

تغییر قابلیت هضم یک ماده اولیه همراه با سطح مشارکت آن در ترکیب، قبلا شرح داده شده است. هنگام وقوع این پدیده، تولید کنندگان از حقه ای استفاده می کنند که هر چند دقیق نیست، اما ساده است. برای مثال، به جای در نظرگرفتن نشاسته به گونه ای که با افزایش میزان آن از ۱۰ درصد به ۳۰ درصد، میزان انرژی آن از ۱۴ به ۱۰/۸ مگاژول بر کیلوگرم کاهش می یابد، چنین فرض می شود که با در اختیار داشتن سطوح چهارگانه شامل صفرتا۱۰، ۱۰ تا ۲۰ ، ۲۰ تا۳۰ و ۳۰ تا۴۰ درصد، انرژی به ترتیب در حد ۱۴، ۱۲/۴، ۱۰/۸ و ۹/۲ مگاژول بر کیلوگرم تامین می شود. تمامی این نشاسته ها هزینه یکسانی در بر دارند. این روش برای مقادیری بکار می رود که سهم هر یک از آنها در ترکیب به نسبت افزایش یا کاهش می یابد. این روش مستلزم استفاده از برخی ویژگی های فنی است که استفاده از آنها ملاحظات دیگر را نیز بهمراه دارد کادر ۲-۲۰).

کادر ۲-۲۰) مثال هایی در مورد استفاده از مشخصات فنی

۱) $x_j = p$ نیازهای تامین شده (به عنوان مثال در مورد ویتامین ها یا عناصر کمیاب) با ورود یک ماده اولیه در ترکیب

۲) $x_j \leq q$ استفاده محدود از یک ماده اولیه

- با سمیت مشخص
- کاهش دهنده اشتها
- با ویژگی های فیزیکی نامطلوب در فرآیندهای ساخت
- ناشناخته برای تولید کننده
- بسیار غیر قابل هضم و بنابراین، بسیار آلاینده
- و ...

۳) $x_j \geq r$ استفاده اجباری از یک ماده اولیه

- افزاینده اشتها
- دارای عوامل ناشناخته
- دارای مواد مغذی که نیاز به آنها به میزان ناچیزی مشخص شده است
- و ...

۴) $r \leq x_j \leq s$ تعیین حدود

- ماده اولیه ای با ویژگی های نوع ۱ و ۲
- مشخصه مربوطه(تغییرات موقتی محدود برای فرمول ها). در این حالت، نامساوی های دوتایی برای مواد اولیه اصلی به کار می رود.
- تبدیل عناصر اصلی حقیقی که ویژگی های تغذیه ای آنها با توجه به میزان آنها در ترکیب فرق می کند. به مجموعه ای از عناصر اصلی غیر حقیقی که ویژگی های آنها به طور مجزا تغییر می کند (بطور ناپیوسته).

٤-٤-٢٠) در نظر گرفتن فاکتورهای تغذیه ای مختلف با استفاده از محدودیت های تکنیکی

مواد مغذی زیادی وجود دارند که نه تنها میزان نیاز به آنها هنوز ناشناخته است، بلکه عمدتا فاقد آنالیز مواد خام می باشند. این حالت در مورد ویتامین ها و عناصر معدنی کمیاب وجود دارد. با وجود آنالیزهای زمان بر و پرهزینه، راه حل کلی عبارت است از گنجاندن ویتامین ها و احتمالا مواد معدنی به عنوان مواد اولیه در ترکیب و با مقادیر کافی. در این حالت نیازها با حدود اطمینان بالا و بدون در نظر گرفتن تامین سایر عناصر سازنده می باشد. به این ترتیب، تعیین یک مشخصه فنی نظیر درصدی از پیش مخلوط (premix) که به عنوان یک ماده خام بزرگتر در نظر گرفته می شود، جایگزین بیش از ده نامساوی می شود که می تواند صرفا به صورت نسنجیده به کار برده شود. همچنین، محدودیت های فنی امکان محاسبه ترکیباتی را فراهم می‌کنند که اندازه گیری آنها دشوار بوده یا هیچ استانداردی در مورد آنها وجود ندارد. این محدودیت ها را می توان برای سازماندهی مجدد مزایا یا معایب مختلف به صورت تجربی بکار برد. در این فصل مزایای آرد ماهی نسبت به سایر اجزاء غذایی تشریح می شود. تولید کنندگان به منظور جلوگیری از بدمزگی یا کمبود اسیدهای چرب ضروری یا آمینواسیدهای ضروری و غیره حداقل در مورد غذاهای مربوط به گونه‌های گوشتخوار، از کاهش درصد آرد ماهی در جیره غذایی کمتر از حد معینی خودداری می کنند. برعکس، عوامل ضد تغذیه ای، ترکیبات مسهل غنی از فیبر و عوامل ناخوشایند برای ماهی نظیر استفاده از مخمر آبجو، کنجاله های روغنی یا سایر فرآورده های گیاهی به عنوان مواد خام را کاهش می دهند. برای این مشخصات تغذیه ای یقینا استفاده از نامساوی های قیاسی به منظور محدود کردن عوامل ضد تغذیه ای امکان پذیر خواهد بود، ولی در حال حاضر به علت فقدان آنالیزها و عدم شناخت، عکس العمل حیوانات نسبت به این ترکیبات، امکان پذیر نمی باشد. بنابراین، راه حل تجربی در این مورد، تعیین حداقل میزان برای آرد ماهی و حداکثر میزان برای فرآورده های گیاهی به عنوان منبعی از عوامل ضد تغذیه ای و فیبر می باشد.

٥-٤-٢٠) تغییرات موقتی محدود

با گذشت زمان تغییر در هزینه مواد خام می تواند سوددهی اجزاء غذایی خاص را کاهش داده و در مقابل، فرآورده های ارزان تری را ارائه دهد. هدف اصلی از فرمولاسیون خطی با حداقل هزینه امکان اعمال سریع این تغییرات بر حسب فرمول توسط تولید کنندگان است اما در صورت زیاد بودن این تغییرات، می توان برای نمونه، یک فرمول غنی از هیدراتهای کربن را با فرمول غنی از چربی ها یا مقادیر زیادی از پروتئین گیاهی را به جای پروتئین حیوانی جایگزین نمود. این کار می تواند تاثیرات نامطلوبی در پی داشته باشد. کاهش اشتهای ماهی، کاهش موقت قابلیت هضم یا حتی کاهش اعتماد به نفس پرورش دهنده ماهی که تصور می کند دو غذای متفاوت را تحت یک نام مشابه خریداری نموده است، از جمله این اثرات محسوب می شود. راه حل معمول شامل ایجاد این تغییرات با استفاده از دسته دیگری از مشخصات فنی نظیر تغییرات موقتی محدود، می باشد. بنابراین، مشخصات فنی راه حل هایی را برای دامنه گسترده ای از مسائل ارائه می کند و به رغم ماهیت تجربی، اغلب آنها بخش مهمی از دانش یا اسرار سازندگان غذا محسوب می شوند.

٥-٢٠ - عوامل مرتبط با تکنولوژی یا محیط زیست

١-٥-٢٠) فرمولاسیون و فرآیند ساخت

غذای ماهی به منظورقابل مصرف بودن باید پایداری ویژه و حتی شکل خاصی داشته باشد که هر یک از این ویژگی ها به خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد خام بستگی دارد. به عبارت دیگر، آن دسته از اجزاء غذایی که به محصول نهایی حالت پودری، خمیری یا ایجاد سختی و شناوری زیاد داده یا برعکس، نسبت به آب مقاومت زیاد دارند، نباید در فرمول ها گنجانده شوند. اصلاح بافت ترکیب نهایی از طریق انتخاب فرآیند تکنولوژیک مناسب یا افزودن یک عامل همبند به ترکیب با میزان مشخصی امکان‌پذیر میشود که ممکن است خاصیت تغذیه ای نیز داشته باشد(فصل ٢١). اما در عمل، گزینش اجزاء غذایی، افزودن عوامل همبند و انتخاب فرآیند ساخت با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند.

در انتخاب فرآیندهای تکنولوژیک، سیستم اکستروژن نسبت به ساخت پلت مزایای بیشتری دارد زیرا این روش تنها روش تولید غذای شناور به همراه گنجاندن مقادیری از چربی های مورد نیاز (۲۵ تا ۳۳ درصد از کل چربی ها) در پرورش آزاد ماهیان است که با حفظ محیط زیست تطابق بیشتری دارد.

اما حتی با وجود این فرآیند نیز باید از بافت محکم پلت اطمینان حاصل کرد و انتخاب محصولاتی نظیر نشاسته ژلاتینه شده و پروتئین های طبیعی ضروری است. در این شرایط، نحوه محاسبه خصوصیات فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی افزودنی ها مشابه تعیین میزان پروتئین، ماده معدنی یا فیبر است. در این حالت، با محدود کردن اجزاء سازنده ای که به پلت حالت شکننده می دهند برای عناصر موجود در این بافت نظیر عوامل همبند، سطح حداقل تعیین می شود. به این ترتیب، تولید کننده از مجموعه ای از مشخصات فنی استفاده می کند که تنها برای یک فرآیند یا مجموعه خاصی از فرآیندها، گونه ها و مواد خام اولیه دارای اعتبار است.

در مورد تولید غذای مناسب برای میگوها، چون پایداری آن در آب مهم است، بنابراین تولید کنندگان در انتخاب روش ساخت، می توانند سیستم اکستروژن و یا پرس کردن را انتخاب نمایند و به این ترتیب، مشخصات بسیار دقیقی برای هر فرآیند به کار رفته و استفاده از عوامل همبند غیر تغذیه ای صرفا برای پلت‌زدن در نظر گرفته می شوند (فصل ۲۱).

۲-۵-۲۰) فرمولاسیون، ساخت و توزیع غذا

روش های پخش غذا و رفتار تغذیه ای حیوان، خصوصیات فیزیکی غذا را تعریف می کنند. واضح است که غذای حاصل از یک پخش کننده تحت فشار[1] یا غذایی که به صورت دستی و کاملا دقیق و سنجیده پخش می شود، دارای ترکیب بافت یکسانی نبوده و از نظر تئوری، حداقل تفاوت‌هایی در فرمولاسیون آنها وجود دارد.

[1] pressurized distributer

۳-۵-۲۰) فرمولاسیون و حفاظت از محیط زیست

امروزه ضرورت حفاظت از محیط زیست و بخصوص به حداقل رساندن آلودگی منابع آبی موضوع بسیار مهم و قابل توجهی است. آلودگی حاصل از مزارع پرورش ماهی به عوامل زیادی از جمله نوع جیره بندی و توزیع غذا، قابلیت هضم و توازن غذایی بستگی دارد (فصل ۴ تا ۷).

- خصوصیات فیزیکی غذا از اهمیت روزافزونی برخوردارند. جیره غذایی با آلودگی کم در درجه اول باید تا حد امکان کمتر در آب تجزیه شده و بسرعت خورده شوند بدون اینکه توسط ماهی بیرون انداخته شوند.

- همانطور که به آن اشاره شد، چنین غذاهایی موجب پخش یا دفع حداقل مواد دفعی می شوند.

بنابراین، مفهوم جیره های غذایی با آلودگی کم، نتایج مختلفی برای فرمولاسیون در پی دارند. در روش فرمولاسیون سنتی، صرفا مواد غذایی قابل مصرف یا قابل هضم مدنظر قرار می گیرند. فرض کنید دو ماده اولیه سازنده قابل دسترس از نظر تئوری، انرژی خامی برابر با ۲۰ و ۳۰ مگاژول بر کیلوگرم و ADC ۹۰ درصد و ۶۰ درصد را تولید می کنند. انرژی قابل هضم این دو ماده اولیه غذایی سازنده اولیه مشابه خواهد بود (۱۸ مگاژول). درحالیکه انرژی از دست رفته به شکل مدفوع با استفاده از مواد اولیه سازنده ۱و۲ به ترتیب ۲ و۱۲ مگاژول خواهد بود و بنابراین، به منظور کاهش آلودگی، ماده اول ترجیح داده می شود. برای نیل به این هدف می توان از روش های مختلف استفاده نمود. ارائه انرژی غیرقابل هضم به صورت محاسبه و به حداقل رساندن آن (از طریق محاسبات پیچیده ریاضی) امکان پذیر است. همچنین می توان حداکثر میزان مجاز برای انرژی غیر قابل هضم را تعیین نمود و یا به عبارت دیگر، ADC حداقل را برای انرژی، ماده آلی، نیتروژن و سایر مواد غذایی انتخاب کرد. روش ساده تر شامل حذف ماده غذایی با قابلیت هضم پایین و جایگزینی آنها با انواعی با قابلیت هضم بیشتر (به عنوان مثال جایگزینی آرد ماهی معمولی با آردهای LT) یا تعیین سطح حداقل برای گنجاندن مواد خام می باشد. این روش، سایر کاربردهای مشخصات فنی را ارائه می کند.

بطورخلاصه، ساخت غذاهایی با آلودگی کم، مستلزم پیشرفت هایی در زمینه فنی و تغییرات در روش فرمولاسیون به طور همزمان است.

٤-٥-٢٠) فرمولاسیون و کیفیت محصول نهایی

تا مدتهای طولانی کیفیت محصول نهایی یعنی گوشت ماهی در مقایسه با میزان رشد، FCR یا هزینه تولید به ازای هر کیلوگرم از گوشت ماهی، توجه کمی را بخود اختصاص داده بود. تولید تا حداکثر مجاز منجر به ایجاد رقابت شدید، افزایش تقاضای مصرف کنندگان و افزایش یا کاهش قیمت ها می شود. در این شرایط عرضه محصول به صورت گوشت یا پس از فرآوری به بازار باید با ارزیابی کیفی همراه باشد.

کیفیت، با در نظرگرفتن اجزاء تکنولوژیک، ارگانولپتیک و تغذیه ای آن، تعریف ساده ای ندارد. کیفیت جدا از یک ویژگی خاص، با توجه به کشور، عادات و سلایق تغذیه ای مصرف کنندگان با روش های بسیار متفاوتی تعبیر می شود. عامل تعیین کننده برخی از صفات یا ویژگی ها از جمله شکل و رنگ آمیزی توسط رنگدانه ها الزاما ژنتیکی است و سایر ویژگی ها عمدتا مربوط به نحوه پرورش و وضعیت سلامتی (از جمله فقدان نقص عضو و ایمنی غذایی) می باشد. حتی برخی منشأ تغذیه ای دارند(مانند مقدار چربی، کاروتنوئید و اسید چرب لاشه). در بیشتر مواقع، عوامل تعیین کننده پیچیده بوده و تغذیه در مفهوم گسترده تاثیر متغیری را برکیفیت اعمال می کند که هنوز بخوبی شناخته نشده است. در ارتباط با کاروتنوئیدها (فصل ۱۱) و چربی ها (فصل ۷)، نقش تغذیه بخوبی مشخص شده است. در رابطه با چربی ها، تاثیر تغذیه نه تنها از طریق فرمولاسیون (مانند توازن اسیدچرب، میزان چربی و سطح انرژی جیره) بلکه از طریق میزان جیره روزانه و جذب انرژی تعیین کننده مقدار چربی اعمال می گردد.

ظاهراً محدود سازی یا تعیین میزان حداقل برای اجزاء غذایی خاص از جمله کنجاله روغنی سویا که عامل ایجاد طعم غیر طبیعی در برخی شرایط است، از نظر جنبه های کیفی دشوار است. کاروتنوئیدها و اسیدهای چرب، از ویژگیهای اصلی غذا هستند که امروزه سازندگان باید به منظور حفظ کیفیت غذا در نظر بگیرند. با این وجود، در آینده این مشخصات افزایش یافته و اهمیت روزافزون می یابند.

٦-٢٠ - سایر جنبه ها و موارد کاربرد فرمولاسیون خطی

در حال حاضر، برنامه های نرم افزاری مختلفی برای فرمولاسیون خطی موجودند (نظیر MIXIT,PORFAL)که فواید آنها یکسان نیست. اما تمامی این نرم افزار ها امکان انجام محاسبات تکمیلی را فراهم می سازند که برای تولید کنندگان از اهمیت زیادی برخوردارند.

١-٦-٢٠) محاسبه ارزش آستانه

در شرایطی که یک ماده اولیه به علت قیمت بالای آن در فرمول قرار نمی گیرد، می توان برای آن ماده غذایی حد آستانه تعیین نمود. این آستانه حداکثر قیمتی است که یک ماده غذایی می تواند داشته باشد تا در فرمول در نظر گرفته شود، در این حالت هزینه سایر اجزاء غذایی ثابت می باشد. این اطلاعات در اجرای خط مشی خرید می تواند به تولید کننده کمک شایانی کند.

در صورت تغییر قیمت همزمان دو ماده خام، این مساله پیچیده تر می شود. این روش بیشتر از نظر ریاضی ساده با واقعیت تطابق دارد، زیرا قیمت یک ماده خام (برای مثال آرد ماهی) معمولا به قیمت محصولات رقیب با آن (برای مثال، کنجاله سویا) بستگی دارد. از اینرو، این روش یک راه حل دو بعدی را ارائه میدهد که هر یک از ابعاد آن ماده خام مورد مطالعه را بنحوی در فرمول وارد می سازند. محدودیت واقعی این روش برای مواد خام کمیاب در بازارعرضه می باشد. اگر قیمت اجزاء سازنده ترکیب غذایی، خریداران را به خود جلب کند، قیمت واقعی آنها به تبعیت از قانون عرضه و تقاضا به گونه ای کاهش می‌یابد که عملا تولید کننده را مجبور می کند تا فورا آن ماده را در وعده غذایی بگنجاند.

٢-٦-٢٠) دامنه تحمل

هنگام کاهش قیمت یک ماده غذایی، نسبت آن در فرمول حداقل هزینه، افزایش می یابد، اما این افزایش بطور ناپیوسته در مراحل منتهی به حدود بردباری روی می دهد. به عبارت دیگر، از نظر تئوری، کاهش قیمت بازار در صورتی منجر به افزایش سریع نسبت آن ماده غذایی می شود که قیمت آن پایین تر از محدوده مورد نظر باشد، در صورتیکه افزایش قیمت بالاتر از این حد باشد، اثری بهمراه نخواهد داشت. به منظور داشتن یک ترکیب اقتصادی و متدولوژیک، در نظر گرفتن این نکته حائز اهمیت است.

٣-٦-٢٠) هزینه نسبت ها (سطوح استاندارد)

از لحاظ کاربردی، محدودیت های ویژه تغذیه ای یا فنی تاثیری بر قیمت فرمول نداشته و همیشه سایر مشخصات مواد مغذی یا هزینه پایین آنها رضایت بخش بوده است (مثل نیاز فسفر در فرمول های غنی از

آرد ماهی). در مقابل، برخی ازنسبت ها پرهزینه می باشند(این موضوع معمولا در مورد پروتئین ها یا اسیدهای‌آمینه ضروری محدودکننده صادق است).

در مورد اکثر مواد غذایی گران قیمت، مقادیر گنجانده شده در فرمول هرگز از نسبت های استاندارد فراتر نمی رود. این مقادیر یا سطوح ثابت نبوده یا در اصطلاح اشباع شده اند. امروزه این نسبت ها یا سطوح استاندارد تغذیه ای بر پایه هایی استوارند و میزان قطعیت هر یک از آنها متفاوت است. از اینرو، سطح استاندارد پروتئین ها دارای حدود اطمینانی با توجه به شیوه های احتیاطی مختلف است.

اگر در شرایط خاص، این مشخصه علاوه بر ثابت بودن، هزینه های بالایی نیز در پی داشته باشد، طبیعتا تولید کننده مجبور خواهد بود که این حدود را مجددا آزمایش نموده و مورد بررسی قرار دهد. بررسی هزینه سطوح استاندارد می تواند تحقیق کاربردی را به سویی هدایت کند که در آن بیشترین صرفه جویی امکان پذیر باشد.

٤-٦-٢٠) فرمولاسیون چندگانه

در این قسمت بطور خلاصه به نوعی از محاسبات اشاره می شود که علاوه بر بهینه سازی تک تک فرمول ها، محاسبه غذاهای بسیار متفاوت را با استفاده از گروه محدودی از مواد اولیه امکان پذیر می سازد. در فرمولاسیون چندگانه اجزاء سازنده اصلی مختلف را با توجه به مراحل مختلف فیزیولوژیک یا گونه ای در نظر می گیرند تا بتوانند بهترین بهره وری را از این ماده در ترکیب غذایی داشته باشد. به عبارت دیگر، فرمول های چندگانه منجر به طراحی متناسب غذا با گونه ها و وضعیت فیزیولوژیک آنها می شود. این مسئله برای تولید کنندگانی با اهمیت است که از نظر عملی، امکانات محدودی برای ذخیره سازی مواد خام داشته یا نسبت به مقدار تقریبی غذاهای تولیدی خود آگاهی دارند. هنگامیکه بخش کوچکی از غذای ماهی از طریق فرآیند ساخت غذای مصنوعی تولید می شود، ترکیب آنها بندرت تحت تاثیر فرمولاسیون چندگانه تغییر خواهد نمود.

۷-۲۰- خلاصه

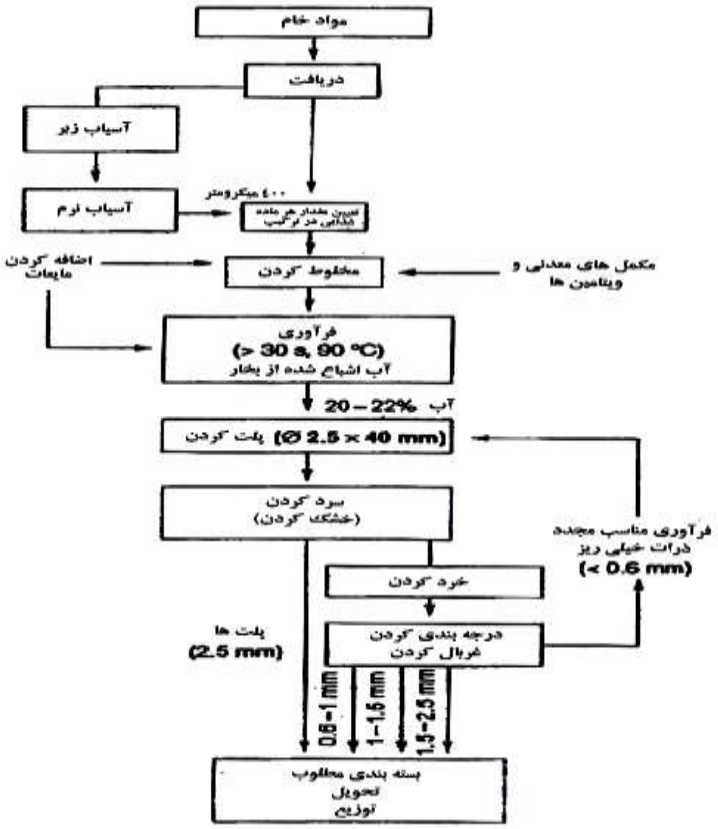
مشکلاتی که در رابطه با فرمولاسیون غذای مورد استفاده در آبزی پروری مطرح است گاهی مربوط به ویژگی های خاص تغذیه ای ماهی و سخت پوستان می باشد، اما اغلب اوقات ناشی از اختلافات موجود در دانش مربوط به این مسئله است که منجر به ایجاد خطا در سطوح استاندارد شده و جنبه های خاصی در نظر گرفته می شوند که مربوط به تغذیه در مفهوم واقعی نیستند. در بین این مسائل، حفظ محیط زیست اهمیت ویژه ای دارد و این احتمال وجود دارد که در آینده کیفیت محصول نهایی، مسائل مشابهی را مطرح سازد که تولیدکنندگان امروزی قادر به پاسخگویی به آنها نمی باشند.

«فصل ۲۱»

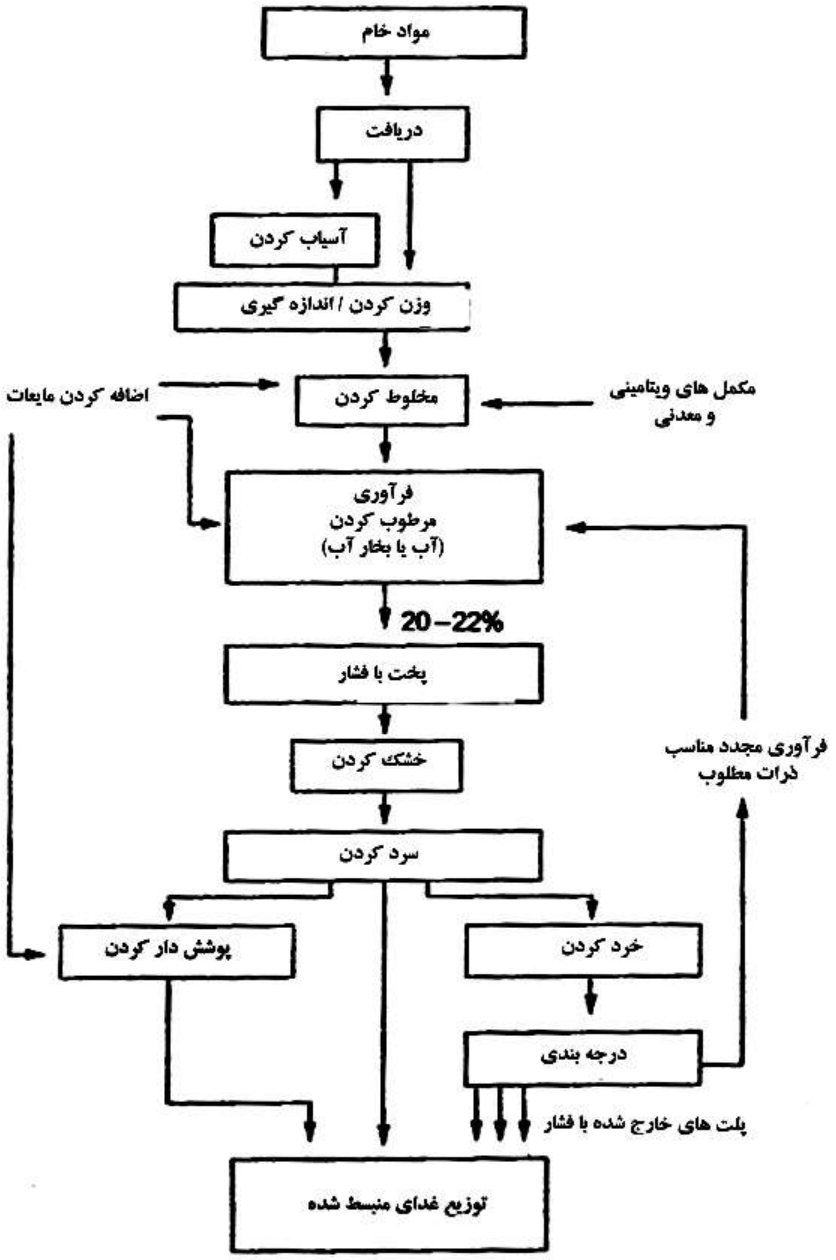
ساخت غذا

ساخت غذای ترکیبی شامل انجام مجموعه عملیاتی است که هدف نهایی آن ترکیب نمودن چندین ماده خام با نسبت هایی است که از قبل با توجه به شاخص های تغذیه ای تعیین شده اند. این هدف از طریق ترکیب اجزاء غذایی به صورت جامد (آردهایی با منشا حیوانی، کنجاله ها، غلات، مواد معدنی و ویتامینها) یا مایع (روغن ماهی، لسیتین ها، ویتامین های خاص و عوامل همبند) حاصل می شود. آسیاب نمودن قطعات جامد غیریکنواخت بودن محصول را کاهش و قابلیت هضم آن را افزایش می دهد. غذا ها در اشکال مورد نیاز ساخته می شوند تا بدین طریق، حمل و نقل و جابجایی آنها ساده تر شده، مصرف آن آسانتر صورت گرفته و آلودگی استخرها نیز کمتر می شود. ترکیب بندی و تعیین بافت غذا از جمله مهمترین کارهاست که امکان تطابق غذا با رفتار تغذیه ای حیوان را ممکن می سازد. غذاهایی که برای ماهی یا سخت پوستان تهیه می شوند شامل مواد خام حاصل از محصولات جانبی سایر صنایع (مانند کارخانجات تولید روغن، نشاسته و آرد ذرت) یا تولیدات فرآوری شده مخصوص (مانند آردماهی و روغن ها) است. این مواد خام قبل از اینکه در ترکیب غذا وارد شوند، در درجات مختلف تحت تیمارهای تکنولوژیک قرار می گیرند. در این فصل فعالیت های مربوط به ساخت غذا تشریح می شود. تنوع اشکال (اندازه های مختلف گرانول ها) و خصوصیات (مقاومت فیزیکی نسبت به حمل و نقل و آبشویی، حساسیت به آبدار شدن مجدد، ته نشین شدن و شناور شدن) در نظر گرفته شده برای خوراک آبزیان، ضرورت ایجاد سازگاری های خاص نسبت به فرآیندهای شرکت‌کننده در ساخت غذا را توجیه می کند.

سازندگان غذا اغلب ترجیح می دهند تا خطوط تخصصی شده تولید شامل فرآیندهای سنتی (آسیاب کردن، تعیین مقدار اجزاء غذایی و مخلوط کردن) و فرآیندهای ویژه (پرس کردن، اکستروژن، خشک کردن، پوشش دار کردن و خرد کردن) را بوجود آورند. مثال های از این موارد در شکل ۱-۲۱ و ۲-۲۱ ارائه شده است.



شکل ۱-۲۱) نمونه ای از فرآیند ساخت غذاهای فشرده مقاوم به آب (برای میگو)



شکل ۲-۲۱) نمونه ای از فرآیند ساخت غذاهای اکسترود شده شناور(برای ماهی آزاد و گربه ماهی)

۱-۲۱ - فرآیندهای متداول در تولید غذای آبزیان

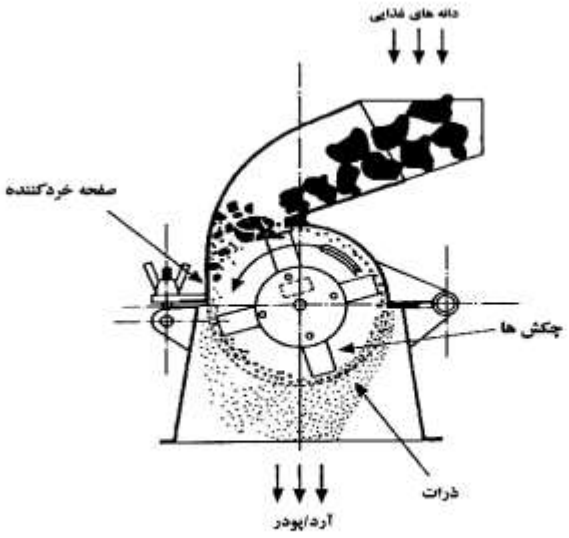
۱-۱-۲۱) آسیاب کردن

آسیاب کردن شامل تبدیل مواد خام به ذرات ریز است که منجر به همگنی بیشتر، ایجاد ترکیب پایدارتر و منظم تر شدن شکل غذا می شود. با الک شدن پودر حاصل شده، درجه خرد شدن ذرات غذایی تعیین میشود. همچنین ممکن است برخی خصوصیات فیزیکی- شیمیایی ماده غذایی بر اثر افزایش دمای ناشی از فرآیند آسیاب شدن تغییرکند.

آسیاب های چکشی به علت توان بالا و چند منظوره بودن از معمول ترین ماشین آلات مورد استفاده اند. در این روش، مواد غذایی وارد محفظه ای گردیده و توسط چکش های ثابت شده روی یک قسمت گرداننده خرد می شوند. ذرات حاصله مجدداً داخل محفظه می چرخند تا به اندازه کافی کوچک شوند که بتوانند از منافذ الک در نظر گرفته شده‌ای که در قسمت های پایین دستگاه قرار گرفته، عبور کنند (شکل ۳-۲۱). فشار منفی هوا به عبور ذرات از منافذ الک کمک می کند.

سرعت برخورد محور دستگاه بین ۷۰ تا ۱۰۵ متر بر ثانیه متغیر است که برای هر آسیاب ثابت است. قطر منافذ الک از ۰/۵ میلی متر (برای غذای میگو و نوزادان ماهی) تا ۳/۵ میلی متر (برای غذای ماهی های بزرگتر) تغییر می کند. هنگامیکه منافذ الک کوچک بوده و سرعت جانبی چکش ها بالاست، اندازه ذرات کوچک می شود. میزان رطوبت و ترکیب مواد خام (مقدار روغن و فیبر) ممکن است در این رابطه تاثیر گذار باشند. قطر منافذ الک تعیین کننده حداکثر اندازه ذرات آسیاب شده است ولی دلیلی بر مقبولیت آرد حاصله از نظر درجه ریزدانگی ذرات نیست و باید بطورجداگانه اندازه گیری شود.

فرض براین است که حداکثر اندازه ذرات نباید بیش از یک سوم قطر منافذ قالب خروجی پس از فرآیند متراکم سازی و شکل دهی غذا باشد. معمولا برای غذای ماهیها متوسط اندازه ذرات کمتر یا مساوی ۵۰۰ میکرومتر توصیه می شود که در مورد ماهی های جوان و سخت پوستان باید کوچکتر باشد(۱۸۰ تا ۲۵۰ میکرومتر). زمانیکه غذا برای لارو تهیه می شود، این مقدار باید کوچکتر هم باشند(میکرومتر ۵۰ >) و آسیاب کردن در دو مرحله انجام شود. در چنین مواقعی غربال کردن تکمیلی به منظور حذف مواد سخت نظیر استخوان های ماهی ضروری است زیرا تبدیل آنها به پودر دشوار است و ممکن است قالب ها را مسدود کرده یا غذای پلت شده را شکننده سازند. یک الک ۸۰۰ میکرومتری برای دستیابی به ذراتی با اندازه متوسط ۴۰۰ تا ۵۰۰ میکرومتر کفایت می کند.



شکل ۳-۲۱) نمایی از یک آسیاب چکشی

۲-۱-۲۱) تعیین نسبت های مواد در ترکیب غذا

تعیین نسبت مواد مختلف در یک ترکیب غذایی متناسب و مطلوب از طریق اندازه گیری صورت می گیرد. اندازه گیری را می توان به صورت حجمی یا وزنی که معمول تر است، انجام داد. دقت در اندازه گیری بهنگام گنجاندن مواد گران قیمت در مقادیر کم در فرمول غذایی، بسیار مهم می باشد. هر گونه افزایش و یا کمبود مواد اولیه در فرمول می تواند هزینه اضافی را برای سازنده غذا بهمراه داشته یا پرورش دهنده ماهی را با خطر مواجه سازد. از نظر کاربردی، سازندگان غذا از ترازوها یا ماشین توزین با دامنه ای مطابق با مقادیر مورد اندازه گیری، استفاده می کنند. استفاده از دو ترازو یکی برای مواد خام پرمصرف و دیگری با دامنه های محدودتر($\frac{۱}{۵}$ تا $\frac{۱}{۱۰}$ درصد ترازوی اولی) برای مواد کم مصرف، ضروری است. ترازوها مکانیکی یا الکترونیکی هستند. امروزه در اکثر کارخانه ها از ترازوهای الکترونیکی استفاده میشود. این ترازوها به یک کامپیوتر مرکزی متصل بوده و ذخایر مواد خام را نیز مدیریت می کنند.

۳-۱-۲۱) همگن سازی (مخلوط کردن)

همگن سازی یک فرآیند ضروری در تولید غذا های ترکیبی است و شامل ترکیب نمودن یکنواخت مواد خام خرد شده در نسبت های تعیین شده برای هر یک از آنها می باشد.

یک مخلوط بواسطه همگنی آن و حفظ این همگنی در زمان و مکان توصیف می شود. اصطلاح همگنی بیانگر ویژگی فیزیکی مواد غذایی آرد شده نیست، بلکه نشان دهنده حضور مقدار دقیق هر یک از مواد اولیه در نسبتی معین از ترکیب است که تقریبا معادل مقدار نظری توصیه شده هنگام فرمولاسیون غذا می‌باشد.

بنابراین، مقدار هر یک از مواد اولیه بر همگنی ترکیب موثر است. حیوان باید کل مواد غذایی مورد نیاز برای رشد و نگهداری خود را کسب نماید، هر چند ممکن است توانایی پایینی در جذب مقادیر کم هر یک از مواد ارائه شده داشته باشد.

از طریق استفاده از عناصر کمیاب، آنیون ها یا کاتیون های مختلف (fe^{2+}، cl^{-}) که از قبل در ترکیب غذا وارد شده اند و معرف های رنگی (متیلن بلو، فلورسن) یا کریستال های رنگی میکروسکوپی که صرفاً برای این منظور اضافه شده اند، می توان همگنی ترکیب را ارزیابی کرد. تاثیر این فرآیند به میزان بسیار زیادی بستگی به ریزدانگی اجزای سازنده و مخلوط مورد استفاده دارد.

- در یک ترکیب همگن ذرات بزرگ و سبک تر توسط ذرات کوچکتر بهم می چسبند، اما در صورت بالا بودن این نسبت، ذرات ریز وسنگین تر هنگام جابجایی و بهم خوردن مخلوط، تمایل به جداشدن از سایر ذرات دارند که در اصطلاح پدیده جداسازی نامیده می شود. از طریق آسیاب کردن بزرگترین ذرات (بزرگتر از ۴۰۰ میکرومتر) یا افزودن مایعات (مانند روغن) که جداشدن ریزترین ذرات را کاهش می دهد، می توان از بروز این پدیده جلوگیری کرد.
- مخلوط کننده های افقی دو نواره از متداول ترین ماشین های مورد استفاده برای ترکیب کردن اولیه مواد پودر شده است. همچنین از این ماشین به منظور افزودن مواد چرب به صورت مایع نیز استفاده می شود. در این حالت ماشین باید پر باشد تا عمل کند و مدت زمان ترکیب کردن با توجه به فرمول تنظیم می شود که معمولا در حدود ۴ تا ۵ دقیقه است. توصیه شده که بعد از مخلوط کردن، دستگاه بسرعت تخلیه شود. مخلوط کننده های دارای پدال یا محور، انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌کنند، اما برای اضافه کردن مایعات مناسب ترند.

در این مرحله مکمل های ویتامین و معدنی یا پری میکس اضافه می شوند که شامل تمام اجزاء کوچکی هستند که به مقدار ۰/۰۰۵ تا ۰/۵ درصد در غذا وجود دارند. این مواد باید بطورجداگانه و متوالی با استفاده از محلول های رقیق کننده در یک زمینه مناسب (اغلب آرد سویا) همگن شوند. ماهیت شیمیایی ترکیب در زمانی که مواد رطوبت پذیر (بی کلسیم فسفات، آهن یا سولفات مس) یا مواد دارای خواص الکترواستاتیکی در ترکیب قرار می گیرند باید در نظر گرفته شود. در مورد مواد دارای خواص الکترواستاتیکی، اتصال مخلوط کننده به زمین ضروری است. حداکثر سطح توصیه شده در مورد مکمل های ویتامینی- معدنی در ترکیب بین ۱ تا ۴ درصد است. مقادیر کمتر خطر ناهمگنی ترکیب را بیشتر می کند.

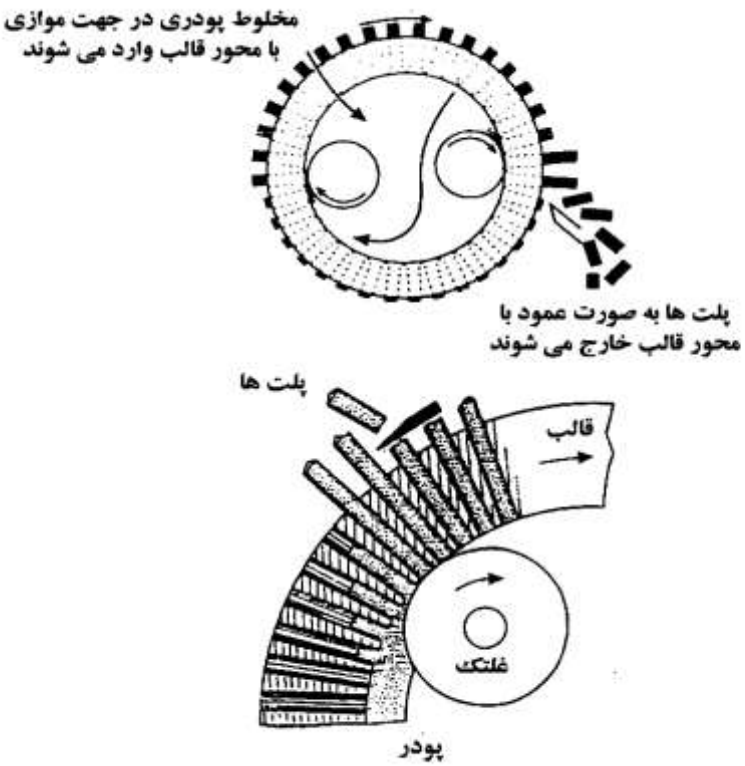
۲-۲۱ - فرآیند ساخت غذا

غذا را می توان پس از افزودن آب به صورت خمیر در آورد تا ماهی از آن تغذیه کند (مارماهی)، اما معمولا از دو روش پلت کردن و سیستم اکستروژن برای ساخت غذا استفاده می شود. روش سوم شامل ساخت پلت های مرطوب است که حد واسط دو روش اول است و تا دهه ۱۹۷۰ در ایالات متحده رواج داشت و امروزه صرفا در شرایط آزمایشگاهی استفاده می شود.

مخلوط غذایی به شکل پودر توسط غلتک هایی در امتداد قالب سوراخ دار مسطح یا حلقه مانند فشرده شده (شکل ۴-۲۱) و در نتیجه فشار وارده به شکل قطعات استوانه ای کوچک (پلت ها) با ضخامت و طول مخصوص در می آیند. ضخامت آنها از ۲/۵ تا ۶ میلی متر با توجه به اندازه و نوع گونه پرورشی متغیر است. طول پلت ها بر اساس تنظیم فاصله چاقوی برش دهنده پلت ها با لبه بیرونی قالب ها تعیین میشود و معمولا ۱/۵ تا ۲ برابر قطر پلت هاست. آب یا بخار آب قبل از شکل دهی غذا اضافه می شود.

فرآیند متراکم سازی و شکل دادن مواد بسیار حساس می باشد. ویژگی محصول تولید شده به ترکیب فرمول، عملکرد هر یک ازعوامل فیزیکی، رطوبت و گرما، ترکیبات چسباننده و خصوصیات قالب مورد استفاده، بستگی دارد. غذای پلت باید به اندازه کافی در هوا به صورت چسبیده بهم باقی مانده و مقاومت خوبی در برابر آبشویی داشته باشد. این ویژگیها را می توان از طریق اجرای مراحل ذیل به دست آورد:

- کاهش مقدار چربی غذا (حداکثر۳ تا ۴ درصد) و یا گنجاندن گلوتن گندم یا نشاسته ژلاتینه شده که چسبندگی ذرات را در ترکیب افزایش می دهند.



شکل ٤-٢١) شکل گیری پلت ها پس از هر بار فشردگی

- استفاده از قالب هایی با قدرت فشردن بیشتر که نسبت قطر به طول بیش از ۱۲ باشد. هرچه این نسبت بزرگتر باشد، پلت های سفت و متراکم تری حاصل می شود.
- افزودن مقادیر نسبتا بالای آب یا بخار(۲ تا ۶ درصد) و نگهداری مخلوط در دمای نسبتا بالا (۶۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد) به مدت ۲ تا ۵ دقیقه (به جای ۱۵ تا ۲۰ ثانیه در روش کلاسیک). در صورتیکه این دما به ۱۰۰ درجه سانتیگراد یا بالاتر برسد، در اصطلاح به آن فرآیند شکل دهی حرارتی می گویند. هدف از این فرآیند افزایش هماهنگی در توزیع آب و شکل پذیری بیشتر ذرات غذایی می باشد.

- متراکم سازی اولیه مخلوط، به منظور بهینه سازی سرعت نفوذ مایعات (چربی ها) به داخل منافذ بسیار کوچک ترکیب پودری غذا.

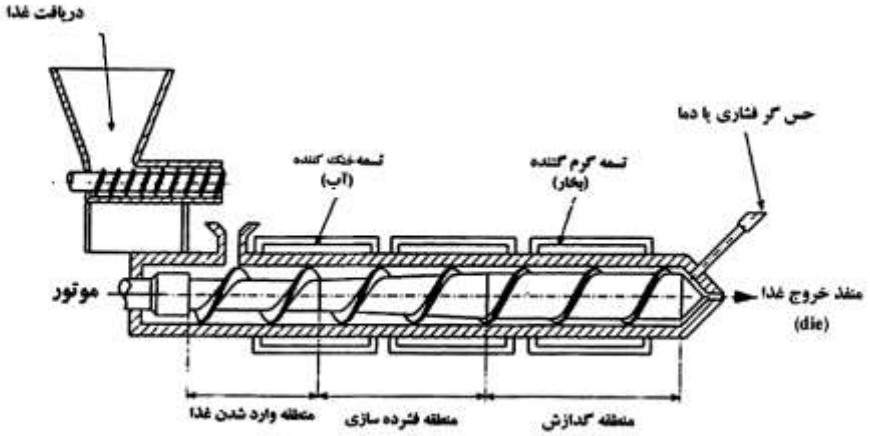
تجهیزات کارخانه پلت زنی غذا از مقدار مشخصی انرژی گرمایی و الکتریکی استفاده می کند (۱۶ تا ۴۸ کیلووات ساعت انرژی گرمایی و ۱۹ تا ۳۷ کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی). مصرف انرژی در صورت ضخامت زیاد قالب پلت زنی و نیاز به فرآیندهای دیگری از قبیل متراکم سازی اولیه (۲۵ تا ۴۰ درصد مصرف انرژی الکتریکی) افزایش می یابد که از نظر عملی شامل دو مرحله فشرده سازی متوالی است.

فرآیند متراکم سازی حدود $\frac{۲}{۳}$ کل انرژی مورد نیاز برای ساخت غذا را مصرف می کند. این فرآیند منجر به گرم شدن محصول می شود، بنحویکه دمای غذا هنگام خارج شدن از دستگاه ۷۰ تا ۸۵ درجه سانتیگراد خواهد بود. بنابراین، به منظور جلوگیری از خطر هر گونه کپک زدگی بخصوص در صورت وجود دما و رطوبت بالا، باید پلت ها سرد و خشک شوند.

۱-۲-۲۱) سیستم پخت اکستروژن

این فرآیند شامل تحت تاثیر قرار گرفتن مخلوط غذایی توسط ترکیبی از دو عامل فشار (۳۰ تا ۱۲۰ بار) ودما (۹۰ تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد) در یک دوره زمانی کوتاه (کمتر از ۳۰ ثانیه) و شکل گیری آن در نتیجه فشار وارد آمده از طریق یک یا چند منفذ خروجی (die) می باشد (شکل۵-۲۱). به دلیل قابلیت پایین انتشار حرارتی اجزاء غذایی و چسبندگی بالای آنها، باید با استفاده از اکسترودرهای یک یا دومحوری که در داخل یک محفظه، ترکیب به صورت یک لایه نازک درآید. در مورد اکسترودرهای تک محور، بین محور چرخشی و محفظه و در مورد اکسترودرهای دو محور، بین محور ها اصطکاک به وجود می آید. به منظور افزایش تراکم محصول، بسته به ماشین، اشکال مختلفی از موانع در مقابل جریان حرکت غذا در امتداد محفظه قرار داده می شود. رطوبت ترکیب شامل مایعات حاصل از ایجاد فشار و دمای بالا می باشد. پس از عبور ترکیب از منافذ خروجی و قرار گرفتن در معرض فشار جوی بخش زیادی از این آب تبخیر می شود. این فرآیند منجر به ایجاد ساختار متخلخل در غذا می‌شود.

محصول اکسترود شده منبسط بوده و توسط یک کارد مخصوص بریده شده و در شرایط رطوبت ۱۰ تا ۱۲ درصد سرد و خشک می شود. از نظر کاربردی، بعضی مواقع خوراک های اکسترود شده و منبسط شده از هم قابل تشخیصند. خوراک های اخیر یک نوع از خوراک های اولی هستند. زمانیکه غذا قبل از اکسترود شدن با استفاده همزمان از آب و بخار آب شکل دهی می شود (اکسترودرهای تک محور)، در اصطلاح اکستروژن مرطوب گفته می شود. در این حالت رطوبت ترکیب طی یک دقیقه از ۷ تا ۸ درصد به ۱۸ تا ۱۹ درصد می رسد. اگر چربی غذا بالا باشد، زمان طولانی تری برای این منظور مورد نیاز است (برای مثال حدود ۳ دقیقه برای ۷ درصد چربی). درمقابل، بعضی از دستگاهها بدون افزودن آب عمل میکنند که در اصطلاح اکستروژن خشک نامیده می شود و معمولا اساسی تر است. در شیوه های حد واسط آب یا بخار به طور مستقیم به داخل مخزن وارد می شود.



شکل ۵-۲۱) نمایی از یک اکسترودر با محور منفرد(ترسیم توسط Alain SIRE,INRA,Nantes)

سیستم اکستروژن فرآیند پیچیده ای است که بصورت همزمان فرآیندهای مخلوط کردن، پخت و تعیین ساختار بافت ترکیب را انجام می دهد. انجام همزمان این سه کارکرد عامل ایجاد روش چند منظوره با کارآیی بسیار بالا می باشد. به رغم این مسئله، به سبب زیاد بودن تعداد پارامترهای دخیل در این سیستم شامل ماهیت و بافت ترکیبات، خصوصیات ژئومتریک و کنترل های اکسترودر، مکانیسم این روش بخوبی شناخته نشده اند.

به منظور ساخت غذاهایی با رطوبت متوسط (۳۸ تا ۴۰ درصد)، محور های منفرد یا دو قلوی موجود در سیستم اکستروژن مناسبند اما ممکن است این غذاها پس از تولید به خشک کردن نیاز داشته باشند که در این صورت ترکیب حاصله ساختار ویژه اش را از دست داده و خصوصیات جدیدی کسب می کند. فرآیند اکستروژن غذا باگلوتن گندم در حضور رطوبت بالا و دمای پایین (کمتر از ۸۰ تا ۹۰ درجه سانتیگراد) از متلاشی شدن غذا در آب جلوگیری کرده و امکان غوطه وری غذاهای ته نشین شده در آب را برای چندین ساعت فراهم می کند تا توسط آبزی مورد استفاده قرار گیرد (غذای میگوهای پنئیده). سرد کردن لحظه ای غذا به منظور جلوگیری از متلاشی شدن بخش پایانی سیستم اکستروژن، آن را از سایر روش ها متمایز می کند. در مقابل، سطح پایین آبدار بودن، دماهای بالاتر(۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد) و فشردگی و تراکم ترکیب، امکان تولید غذاهایی با خصوصیات منبسط شده، شناور یا کمی غوطه ور را فراهم می کند که متناسب با سطوح متفاوت جذب مجدد آب، می توانند برای گونه های مختلف مثل گربه ماهی، ماهی آزاد و یا قزل آلای پروش یافته در دریا مورد استفاده قرار گیرند. نوع نشاسته ای که در سطح ۸ تا ۱۲ درصد در غذا گنجانده شده و از قبل به صورت مطلوبی فرآوری شده، میزان انبساط و یکنواختی جذب مجدد آب غذا را تنظیم می کند. دستگاههای دارای محور های دوقلو به علت اصول عملکردی آنها، به منظور گنجاندن سطح بالایی از روغن (عملا ۲۲ درصد)، قبل از فرآیند اکستروژن استفاده می شوند.

دستگاههای اکسترودر بسیار متنوعند و در اغلب مواقع محصولات تولیدی توسط هر یک از آنها قابل مقایسه با یکدیگر نیستند. تفاوت آنها گذشته از کار متراکم سازی و شکل دهی غذا، این است که شامل فرآیندهایی اساسی هستند که در طی آنها برخی اجزاء سازنده غذا می توانند بطور مطلوبی اصلاح شوند (نشاسته) یا اینکه به میزا ن قابل توجهی تغییر کنند(پروتئین ها، ویتامین ها بویژه ویتامین C و اسیدهای چرب غیر اشباع) که فرآیندی پرهزینه محسوب می شود. برای مثال، در یک مدت زمان مشابه، هزینه صرف شده ۲/۵ برابر فرآیند متراکم سازی و شکل دهی غذاست. این بهینه سازی هزینه برای تولید غذایی ویژه ضروری است. با این وجود، چند منظوره بودن این روش منجر به افزایش روزافزون استفاده از آن برای ساخت غذای آبزیان دریایی شده است.

۲-۲-۲۱) فرآیندهای تکمیلی

۱-۲-۲-۲۱) خشک کردن- سرد کردن

سرد کردن از طریق ایجاد جریانی از هوا روی لایه ای از پلت های غیر متحرک (پخش شده یا نشده) (در سرد کننده های عمودی) یا قرار گرفته روی یک نوار نقاله (در سرد کننده های افقی و مدور) انجام می شود. معمولا پس از خروج غذا از سرد کننده ها، غذا الک شده و ذرات پلت نشده مجدداً به قسمت پرس فرستاده می شوند.

در شرایط دمای محیطی، میزان رطوبت محصول در مدت زمان ۹ تا ۱۴ دقیقه از۱۵تا ۱۶درصد به ۹ تا ۱۰ درصد کاهش می یابد. اگر جریان هوا گرم باشد (۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد)، آب بیشتری از محصول گرفته می شود. با تشکیل یک لایه حفاظتی در اطراف پلت ها، فرآیند خشک کردن می تواند به میزان قابل توجهی بر بهبود ویژگی های مکانیکی پلت ها تاثیر گذار باشد. به منظور حفظ انسجام پلت ها باید در زمان خشک کردن، از بهم زدن آنها اجتناب شود که در این صورت پلت ها در آب مقاوم تر خواهند بود.

۱-۲-۲-۲۱) خرد کردن

غذای پلت شده یا اکسترود شده معمولا قطر کمی داشته و پس از خشک کردن و سرد شدن توسط سیلندرهای شیاردار (با فاصله ۳ میلی متر از یکدیگر) خرد می شوند و سپس مطابق با اندازه دهان آبزیان پرورشی مورد نظر، الک می شوند. برای مثال، اندازه ذرات خرد شده برای میگوها ۰/۶ تا ۲/۴ میلی متر و ماهیان جوان ۱/۵ تا ۳ میلی متر است. این اندازه تا حدودی متناسب با طول بدن ماهی است. برای نمونه، در ماهی قزل آلا اندازه ذرات خرد شده ۰/۰۲۵ برابر طول بدن ماهی است. در صورتی که هنگام الک کردن، بیش از ۲۵ تا ۳۵ درصد غذا را ذرات خیلی ریز تشکیل دهند، این غذا قابل استفاده نیست و باید دوباره در چرخه تولید قرار گیرد.

۳-۲-۲-۲۱) پوشش دار کردن

به منظور گنجاندن اسیدهای چرب ضروری، ویتامین های محلول در چربی و حتی محلول در آب به صورت امولسیون (ویتامین C) درون جیره غذایی، محصولات پلت یا اکسترود شده با استفاده از چربی ها

پوشش دار می شوند. علاوه بر این، پوشش دار کردن به صورت یک لایه هیدروفوب خواهد بود تا سرعت حل شدن و آبشویی در آب کاهش یابد. چربی ها که در دمای معمولی بصورت مایع هستند روی ذرات غذایی سرد و خشک شده، اسپری شده و سپس در دستگاههای پوشش دهنده محور دار یا استوانه‌ای مخلوط می شوند.

به این ترتیب، چربی ها به داخل حفره های خالی شده از آب نفوذ می کنند. بعضی از انواع غذاهای میگو، در دو مرحله متوالی پوشش دار می شوند. یک مرحله با افزودنی های قابل حل در آب و در مقادیر بسیار کم (ویتامین ها و جذب کننده ها) و مرحله بعدی پوشش دار کردن با روغن و افزودنی های قابل حل در چربی. ظرفیت معمول پلت ها برای جذب روغن، تنها ۳ تا ۴ درصد است درحالیکه غذاهای منبسط و حجیم شده ظرفیت جذب بیشتری دارند(بیش از ۱۰ درصد). این مقدار به میزان کمی از طریق گنجاندن روغن در ترکیب افزایش می یابد.

۳-۲-۲۱) استفاده از عوامل همبند

به علت بالا بودن میزان پروتئین حیوانی و مقادیر کم مواد خام طبیعی گیاهی، غذای آبزیان گوشتخوار حاوی مقادیر کمی از عوامل همبند طبیعی است. بنابراین، گنجاندن عوامل همبند به صورت مواد افزودنی اجتناب ناپذیر است. برخی از این مواد نظیر گلوتن گندم یا نشاسته ژلاتینه شده دارای ارزش غذایی نیز هستند، در حالیکه سایر مواد خام مانند کربوکسی متیل سلولز، آلژینات، کاراگینان ها، آگار و صمغ های مختلف، بی اثر بوده و به عنوان ژل یا مواد چسباننده در صنایع غذایی بکار می روند. عوامل همبند مصنوعی بصورت صنعتی تولید و به فروش می رسند. با این وجود، برخی از آنها نظیر فرمالدهید با وجود موثر بودن، استفاده از آن به دلیل مضر بودن برای گونه های هدف و مصرف کننده توصیه نمی شود.

شایان ذکر است که هنگام تولید غذا با استفاده از روش های صنعتی که پیش از این به آنها اشاره شد، تاثیر عوامل همبند در غذا از بین می رود. در صورت کافی نبودن میزان رطوبت، فرآوری مکانیکی-گرمایی موجب از بین رفتن ساختار ژل ها می شود. در صورت بالا بودن رطوبت غذا (۴۵ تا ۵۰ درصد) باید قبل از توزیع آن، آب اضافی را از طریق فرآیند خشک کردن از بین برد که این فرآیند همیشه پر هزینه بوده است. درمقابل، در صورتیکه فرمول غذا حاوی نسبت های بالایی از فرآورده های جانبی حاصل از گوشت تازه باشد، عوامل همبند از نوع ژله ای استفاده می شود.

آلژینات سدیم (۱/۵ درصد) همراه با ۱۵ درصد آب در حضور کلسیم (به شکل چسب) به صورت ماده چسباننده عمل می کند و در سطح وسیع در تغذیه میگو مورد استفاده قرار می گیرد. فرآوری در محل‌های پرورش در مقیاس کوچک با استفاده از ماشین های ساده (چرخ گوشت و ماشین پرس) انجام میشود.

۳-۲۱ - روش های توصیف یک غذای ترکیبی

کیفیت یک غذا از طریق روش های مختلف و با توجه به هدف تهیه و نحوه استفاده از آن تعیین می شود. شاخص های مختلفی در ارتباط با فرآیند ساخت غذا وجود دارد اما بیشتر معیارها مربوط به رفتار تغذیه ای حیوان مصرف کننده از غذای تولیدی است.

۱-۳-۲۱) خصوصیات فیزیکی و هندسی

۱-۱-۳-۲۱) اندازه ذرات

در تغذیه ماهیان جوان اندازه ذرات خرد شده از طریق پیش الک شدن تحلیلی تعیین می شود. نمونه ای از غذا (حدودا ۱۰۰ گرم) از بالا به داخل مجموعه ای از الک ها ریخته می شود. ابعاد چشمه الک ها بصورت تصاعد هندسی افزایش می یابد (استاندارد AFNOR NF X 11-501). بعد از لرزاندن الک ها در شرایط کنترل شده(۱۵ دقیقه) مقادیر موجود در هر الک وزن شده و نتایج به صورت درصد نشان داده می شود. هیستوگرام نتایج اغلب مستقیما مورد استفاده قرار نمی گیرد، اما پس از تطابق با قوانین آماری (استاندارد AFNOR NF X 11-635,636) امکان محاسبه اندازه متوسط ذرات و انحراف معیار آن که نشان دهنده میزان عدم یکنواختی در توزیع گرانول هاست، فراهم می شود.

۲-۱-۳-۲۱) چگالی یا وزن

واحد چگالی به تراکم یک قطعه غذای پلت شده یا اکسترود شده به شکل منفرد اطلاق می گردد. این واحد، جذب غذا از محیط توسط حیوان را تحت تاثیر قرار می دهد و از طریق محاسبه نسبت حجم جامد گرانول (قطعات کالیبره شده شیشه ای یا شنی) یا مایع (آب یا جیوه) به وزن آنها در یک ترکیب مشخص حاصل شده و با واحد گرم بر سانتی مترمکعب بیان می شود.

چنانچه در ترکیب غذا مواد غیرمتخلخل وجود داشته باشد، امکان استفاده از آب یا جیوه پس از پوشش دارکردن نمونه دریک ماده هیدروفوب که در دمای اتاق جامد است (موم پارافین یا پیه) وجود دارد. در مواقعی که غذای اکسترودشده متخلخل است مایع از طریق قطعات هم اندازه شنی و شیشه ای (۱ تا ۲ میلی متر) جایگزین می شود. سپس تحت شرایط کنترل شده، قبل و بعد از معرفی نمونه تولید (استاندارد AFNOR NF A 95-112)، بسته بندی می شوند.

چگالی ظاهری، تراکم گروهی از ذرات منفرد است. از آنجاییکه این ویژگی در پر کردن کیسه ها و سیستم های اندازه گیری حایز اهمیت است، کاربرد یک شاخص تجربی طی بسته بندی، حمل و نقل و توزیع غذا تاثیر بسزایی به همراه دارد. چگالی ظاهری از طریق وزن کردن حجم مشخصی از غذا (۲ لیتر) که توسط یک قیف به داخل یک کانتینر ریخته می شود، ارزیابی می گردد. چگالی ظاهری اغلب به صورت کیلوگرم بر مترمکعب و گاهی بصورت گرم بر لیتر بیان می شود.

۲-۳-۲۱) خصوصیات مکانیکی غذا در شرایط جوی

۱-۲-۳-۲۱- مقاومت در برابر سائیدگی

شکنندگی یک ترکیب غذایی از طریق اندازه گیری مقدار ذرات ریز شکسته شده غذا هنگام وارد کردن یکسری ضربات و تکان ها یا قراردادن در مقابل جریان فشرده هوا (روش Holmen) ارزیابی می شود. بر اساس یک قرارداد، ذرات ریز ذراتی هستند که از توری دارای منافذی معادل ۰/۸ ضخامت عادی غذا عبور کنند. رابطه مسقیمی بین نتایج حاصله از دو تکنیک وجود دارد. روش Holmen سریع تر بوده و در مورد غذاهای متراکم تر و دارای شکنندگی کمتر مصداق ندارد. آزمایش دیگر ساییدن غذا در یک آسیاب کوچک در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۱۰ تا ۲۰ ثانیه (*Quick test*) می باشد که اخیراً پیشنهاد شده است. قوام یا ماندگاری عکس حالت شکنندگی است (به درصد).

۲-۲-۳-۲۱) مقاومت در برابر خرد شدگی

در غذاهای اکسترود شده یا پلت شده با مقطع مدور که دارای طول مشخص و قطر یکسانی هستند، سختی از طریق تعیین حداکثر مقاومت نسبت به فشار شعاعی وارده بر پلت ها تعریف می شود. این ویژگی به صورت مگاپاسکال (MPa) بیان می شود.

نیروی خردکنندگی با استفاده از یک دستگاه فشاری – کششی اندازه گیری می شود. رسم نمودار متناسب با جابجایی امکان محاسبه انرژی خردکنندگی را فراهم می کند. این روش در مورد غذاهای دارای شکل نامنظم مفید است. ماشین های ساده شده، امکان اندازه گیری شاخص سختی را از طریق استفاده از یک نیروی نقطه ای فراهم می کنند.

در مورد غذاهای غنی از چربی، نیمه مرطوب یا آبدار، هیچ گونه خصوصیتی که نشان دهنده سختی آنها باشد قابل توصیف نیست. در نظر گرفتن معیارهای قوام و بویژه سختی در مورد این غذاها، اهمیت آنها را کاهش می دهد. از طریق آنالیز برخی آزمایشات تجربی روی گوشت یا میوه، می توان در سرعت و زمان مشخص طی دو نوبت فشردگی، در محصول تغییر شکل ایجاد کرد. با استفاده از دو پیک به دست آمده روی نمودار می توان سختی (ارتفاع اولین پیک)، وضعیت الاستیکی و میزان انسجام یا انعطاف پذیری (نسبت مساحت های دو پیک) را تعیین کرد.

۳-۳-۲۱) ویژگی های رفتاری غذا در محیط آبی

۱-۳-۳-۲۱) گرایش به جذب مجدد آب

به منظور برآورد این ویژگی از یک آزمایش ساده استفاده می شود. در این آزمایش نمونه های مختلف در سبدهای توری سیمی قرار گرفته و در داخل آب با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده می شوند و بعد از خشک کردن در یک کاغذ صافی، میزان آب جذب شده توسط نمونه یا جذب مجدد آب (نسبت وزن محصول آبدار شده به وزن آغازین محصول خشک) متناسب با مدت زمان غوطه وری نمونه در آب، اندازه گیری می شود. یک روش ساده تر، تعیین میزان آب جذب شده در یک دوره زمانی ثابت است که معمولا بین ۸ تا ۱۵ دقیقه است. با قرار دان نمونه در خلا جزئی (۳ دقیقه) این زمان کاهش می یابد. اما این روش با خطا همراه است که باید با توجه به احتمال آبشویی غذا تصحیح شود. طبق همین اصل می توان میزان جذب روغن را اندازه گیری کرد. در این رابطه مدت زمان غوطه وری کوتاهتر است (یک دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد).

۲-۳-۳-۲۱) ماندگاری در آب

میزان مقاومت غذا در برابر حل شدن در آب یا ماندگاری در آب در مورد گونه های شکارچی، چراگر یا دیتریت خوار نظیر کفشک، میگوهای پنئیده و به میزان کمتر کپور معمولی، بسیار حائز اهمیت است.

۳-۳-۳-۲۱) روش های ایستایی

در این روش نه غذا و نه آب حرکت داده نمی شوند: سرعت تورم و آبشویی غذای فرورفته در آب با استفاده از مشاهده مستقیم به صورت ظاهری نسبت به زمان برآورد می شود. یک روش مکمل، ریختن غذا در یک الک (۲/۴ میلی متری) قرار گرفته در آب است. اجزا باقی مانده جمع آوری شده و خشک می شوند. نتایج به صورت درصد ماده خشک بیان می شوند.

٤-۳-۳-۲۱) روش های دینامیکی

جابجایی مایع نسبت به جامد : نمونه غذا در داخل یک الک ریخته شده و در آبی با جریان رو به بالا قرار می گیرد. آب ذرات را در خود حل کرده و کدورت آب نشان دهنده میزان مواد حل شده است که از طریق کدورت سنج قابل اندازه گیری است. این روش نیازی به وجود تجهیزات خشک کردن مواد و اندازه گیری مقدار مواد خشک ندارد. با این حال، اهمیت کدورت آب هنوز تعیین نشده است.

جابجایی جامد نسبت به مایع : غذا در داخل سبدهای توری سیمی ریخته شده و در هر دقیقه به طور متناوب ۱۰ بار وارد آب شده و در معرض هوا قرار می گیرد. وقتی غذا در معرض آب قرار می گیرد مواد قابل حل و ذرات کمتر از ۲ میلی متر در آب حل می شوند. پس از ۴۰ تا ۶۰ دقیقه ذرات باقی مانده در الک جمع آوری شده و در یک آون خشک می شوند تا به وزن ثابت برسند. پایداری غذا در آب نسبت به ماده خشک نمونه شاهد تحت شرایط مشابه بیان می شود. در مورد غذای میگوهای پنیئده مقاومت ۸۰ تا ۸۴ درصدی در نظر گرفته می شود. در شرایط آزمایشگاهی مدت زمان مورد نیاز برای حفظ پایداری و ساختار غذا حدود ۳ ساعت است. نمونه هایی از ویژگی های غذا در جدول ۱-۲۱ ارائه شده است. ارتباط بین شاخص ها اغلب پیچیده است.

جدول ١-٢١) ویژگی های اصلی غذای آبزیان پرورشی (نمونه ها)

ویژگی ها	غذاهای شناور	غذاهای با سرعت پایین غوطه وری	غذاهای غوطه ور پایدار در آب
انبساط قطری	١/٢-١/٦		٠/٩٨-١/٠٢
چگالی (گرم بر سانتی مترمکعب)			٠/٧٨-٠/٩٥
چگالی ظاهری (گرم بر مترمکعب)	٣٥٠-٤٠٠		٥٢٠-٨٢٠
سختی(مگا پاسکال)		٣٩٠-٤٥٠	٠/٤ - ٠/٩
مقاومت در برابر سایش (٪)	٩٦-٩٧		٩٨-٩٩
جذب مجدد آب بعد از ٨ دقیقه (٪)	١٤٠-٢٢٠		٦٠-٧٠
پایداری در آب (٪)			٨٢-٨٥

گرچه جذب مجدد آب،مصرف غذا را تسهیل می کند، اما به همان نسبت پایداری غـذا را در آب کـاهش می دهد. در مورد غذاهای غیر منبسط برای میگوهای پنئیده، هیچ ارتباطی بین دوام و پایداری غـذا در هـوا و پایداری در آب در مورد غذاهای اکسترودشده یا پلت شده، وجود ندارد.

٤-٢١ - خلاصه

تهیه غذا برای آبزیان شبیه روش های کلاسیک تولید غذاست با این تفـاوت کـه تجهیـزات بیشـتری مـورد نیاز است. این روش به مدیریت مناسب فرآیند آسـیاب کـردن، روش هـای تعیـین سـاختار غـذا (سیسـتم اکستروژن و پلت کردن)، سرد - خشک کردن و همچنین در نظر گرفتن ملاحظاتی به منظور حفظ ارزش بیولوژیک پروتئین ها در غذا بستگی دارد.

انتخاب نوع روش ساخت غذا باید متناسب با آبزی پرورشی باشد ضمن آنکه هزینـه هـای تولیـد و بعضـی مواقع پیامدهای زیست محیطی نیز اهمیت دارند. هرچند، اغلب مواقع روش اکستروژن به علـت دارا بـودن قابلیت تنوع و تغییر و نیز سهولت استفاده روش مناسبی تلقی می شود اما جوابگوی تمام مشـکلات نیسـت.

این روش پرهزینه است و در حال حاضر بخوبی مدیریت نمی شود، بنابراین کاربرد آن می تواند نتایج متغیری در پی داشته باشد. در برخی موارد از روش پلت کردن به جای این روش استفاده می شود که در این صورت فرآیندهایی نظیر تیمار حرارتی یا متراکم سازی اولیه در نظر گرفته می شوند. روش پلت کردن مناسب ترین روش برای تولید غذاهای شناور می باشد.

در نهایت، راهکارهای مختلفی برای بررسی و توصیف خصوصیات فیزیکی غذاها وجود دارند که در اولین گام امکان ارائه روش بهینه سازی شده ای را برای یک هدف مشخص فراهم می کنند.

«فصل ۲۲»

روش های غذادهی

از نظر اجرایی، غذادهی ماهی به سه دلیل عمده با مشکلات بخصوصی مواجه است. اولاً، پرورش‌دهنده باید با توجه به رفتار ماهی، از مصرف موثر تمامی غذای توزیع شده در آب اطمینان حاصل کند. ثانیاً، غذای مصرف نشده منجر به کاهش کیفیت محیط پرورش ماهی یا حتی آلودگی محیطهای آبی مجاور شده، همچنین افت اقتصادی را بدنبال دارد. و مورد آخر اینکه نیازهای غذادهی ماهی نسبت به پارامترهای مختلف بخصوص دمای محیط پرورش متفاوت است که پرورش دهنده را ملزم به اعمال یک تغییر دائمی در مقدار غذای توزیع شده می کند. ازنظرکاربردی، یک پرورش دهنده باید تا حد ممکن با توجه به نیازهای مورد نظر ماهی مقدار غذای مجاز را در یک زمان مشخص تنظیم کند (که در اصطلاح جیره غذایی[1] نامیده می شود)، همچنین از بین روش های غذادهی، مناسب ترین روش توزیع غذا را انتخاب کند.

۱-۲۲ - اساس جیره های غذایی

۱-۱-۲۲) تاثیر تعیین جیره ها در رشد و ضریب تبدیل غذا

در مورد یک غذا ، گونه و شرایط پرورش مشخص، نرخ رشد ویژه (SGR) و نرخ تبدیل غذایی(FCR) به نرخ غذادهی ماهی (FR) بستگی دارد. حداکثر رشد و بازدهی غذادهی در یک سطح غذادهی مشابه، حاصل نمی شود.

[1] Feed ration

تمهیدات اتخاذ شده توسط پرورش دهنده در ارتباط با غذادهی، اختلاف بین سطوح غذادهی مرتبط با این دو عامل را تعیین می کند. با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و سایر ملاحظات، دستیابی به حداکثر رشد و حداقل هزینه های غذادهی امکان پذیر است. کسب حداکثر رشد در فرآیند غذادهی، هزینه بالایی را می طلبد. برای مثال، پرورش آزمایشی قزل آلای قهوه ای در دریا، هزینه اضافی ناشی از غذادهی تا حد سیری در مقایسه با جیره ای معادل ۸۵ درصد این مقدار، حدود ۱۲ درصد برآورد شد. تفاوت بین افزایش وزن بین دو سطح غذادهی در طی ۱۰ روز از رشد که برابر با ۸ درصد دوره آزمایش بود، ۱۲/۳ درصد بود. با این وجود، این تغییر در افزایش وزن و استفاده از غذا متناسب با نرخ غذادهی، یک اقدام قابل اجرا در شرایط غذادهی است که هنوز مورد بحث و اختلاف است. در صورت تغذیه قزل آلا از طریق غذادهی خودتقاضایی کنترل شده (روشی که در آن ریتم های غذادهی و میزان تقاضای ماهی در نظر گرفته می شود) و استفاده از سطوح یکسان غذادهی، حداکثر رشد و حداقل هزینه غذادهی حاصل می شود (فصل ۳).

ذکر این نکته حائز اهمیت است که مقدار غذای در نظر گرفته شده برای محاسبه FCR ممکن است میزان غذای مصرف شده توسط ماهی را بیش از مقدار واقعی آن نشان می دهد. زمانی که حداکثر رشد مدنظر باشد، افزایش جیره غذایی ممکن است خطرات ناشی از افزایش مواد دفعی را بیشتر کند.

۲-۱-۲۲) غذادهی تا حد سیری

چون برآورد چشمی مقدار غذای خورده شده به طور مستقیم یا غیر مستقیم در محیطهای آبی به آسانی امکان پذیر نیست، از اینرو برآورد سیری در ماهی نسبت به حیوانات خشک زی دشوار تر است.

در این رابطه از دو روش متفاوت می توان استفاده کرد:

- در روش اول، در حالیکه رفتار ماهی کنترل می شود، تمامی غذایی که ماهی قادر به خوردن آن است در اختیارش قرار داده می شود. توقف در گرفتن غذا نشان دهنده ایجاد وقفه موقتی نسبت به وعده غذایی است. سیری موقت از طریق توزیع مقدار مشخصی غذا با دست تا زمانی که حیوان غذای داده شده را رد کند، حاصل می شود. اما سیری واقعی فقط با دادن تعداد کافی وعده غذایی

(دو وعده غذایی یا بیشتر) با توجه به اندازه، گونه و دمای محیط به وجود می آید. این عوامل و نیز ماهیت جیره غذایی، زمان انتقال روده ای را تعیین می کنند.

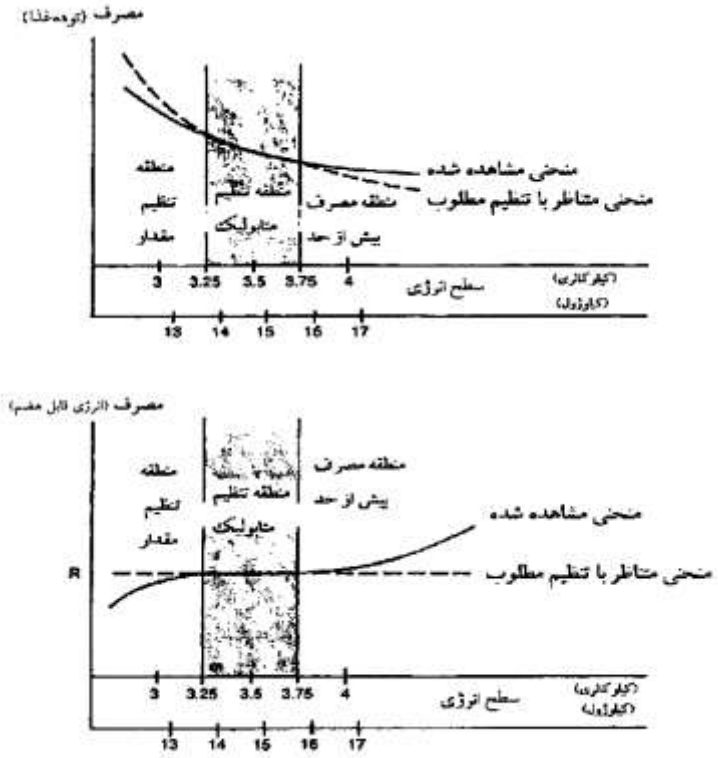
- در روش دوم مقداری غذای اضافی که برای ماهی قابل دسترس باشد در استخر باقی گذاشته می شود (مصرف خودتقاضایی غذا توسط ماهی) تا حیوان با توجه به نیازش مصرف کند. انجام و کنترل این روش ساده تر از روش قبل است.

به عنوان یک قاعده کلی، مدیریت توزیع غذا تا رسیدن به مرحله سیری پیچیده و دشوار است و موجب هدر رفت غذا، کاهش بازدهی و تخریب و آلودگی محیط پرورش می شود که این امر تغییر عملکرد بیولوژیک را به دنبال دارد. بواسطه شدت انرژی مشکلات ناشی از این مسئله وخیم تر می شود. گاهی اوقات از طریق کنترل مواد زائد امکان محدود نمودن این مواد وجود دارد. بقایای غذایی را می توان از طریق نصب توری هایی در قسمت خروجی استخر با عبور کافی جریان آب و قرار دادن صفحاتی در زیر ایستگاههای غذادهی (روشی که اغلب در مراکز پرورش میگو استفاده می شود) جمع آوری نمود. با این وجود، انجام این اقدامات اصلاحی به ندرت رضایت بخشند.

۳-۱-۲۲) تراکم انرژی غذا و تنظیم مصرف توسط ماهی

همانند حیوانات خشک زی، مصرف غذا در ماهی از طریق محتوای انرژی غذا تنظیم می شود و حیوان میزان مصرف غذا را به نحوی از طریق ارضای نیازهای انرژی خود، تنظیم می کند. مقدار مصرف کم انرژی با افزایش حجم معده محدود می شود که در برخی موارد برای داشتن رشد مطلوب، کافی نیست (شکل ۱-۲۲). در مقابل، میزان جذب انرژی از غذاهای پرانرژی موجود، بواسطه ظرفیت پذیرش ماهی محدود نشده و می تواند فراتر از نیازها باشد. این وضعیت همانند وعده های غذایی کوتاه مدت، موجب فعال شدن سریع واکنش های فیزیولوژیک موثر در سیری نمی شود. در چنین مواردی، غذای اضافی به شکل چربی در بخش هایی از بدن شامل عضله، بافت های چرب، کبد و بافت های پیوندی و ... که هر یک با توجه به گونه اهمیت متفاوتی دارند، ذخیره می شوند (فصل ۶). چنانچه قرار است ماهیهای بزرگ به منظور فرآوری تخلیه شکمی شوند، باید جیره روزانه را به منظور به حداقل رساندن ضایعات، محدود نمود. بنابراین، سطوح جیره های روزانه باید بر اساس خصوصیات غذا تنظیم شود.

از لحاظ عملی، از آنجاکه به سازندگان غذا توصیه می شود تا بین سطوح انرژی و سایر مواد غذایی (پروتئین ها یا اسیدهای آمینه، ویتامین ها، مینرال ها و ...) تعادل ایجاد کند، پرورش دهنده ماهی صرفا باید نگران مقدار انرژی غذا باشد. همچنین، سازندگان غذا باید اهمیت عواملی نظیر قابلیت هضم غذا را در نظر داشته باشند. مقدار انرژی معمولا به صورت کیلوژول بر گرم یا مگا ژول بر کیلوگرم انرژی قابل هضم بیان می شود (از نظر عملی، هنوز کیلوکالری نیز استفاده می شود، رجوع به فصل ۴). هنگام تنظیم جیره غذایی توجه به انرژی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است.



شکل ۱-۲۲) تنظیم میزان مصرف غذا متناسب با سطح انرژی غذا.
R : نیازهای انرژی ; m : حداقل سطح انرژی

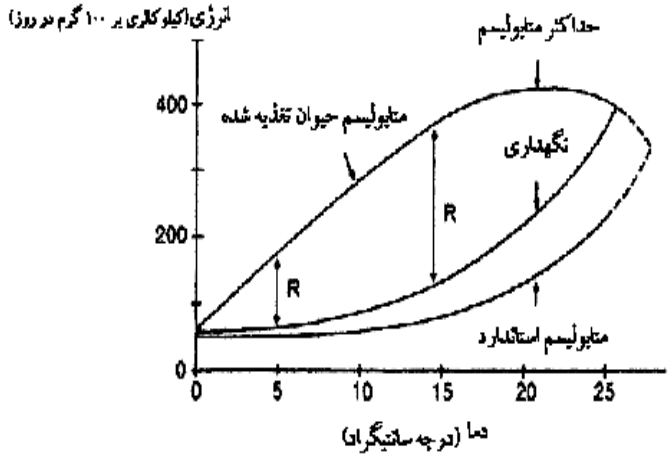
۲-۲۲ - عوامل اصلی موثر برتعیین نرخ غذادهی

۱-۲-۲۲) اندازه ماهی، دما و رشد مورد نظر

عوامل بسیاری در تعیین نیازهای غذایی ماهی دخالت دارند که یا با آبزی (گونه، اندازه، مرحله رشد و وضعیت فیزیولوژیکی) یا با محیط (دما، شوری، کیفیت آب و مقدار اکسیژن محلول) مرتبط هستند. معمولا اندازه آبزی و دمای آب ازسایر موارد نقش مهم تری دارند. با این وجود، حتی در یک دمای مشخص، عامل اندازه به منظور تعیین نیازها کافی نیست. از میان سایر عوامل، نیازهای مربوط به نگهداری و رشد نیز که تابعی از نرخ رشد و پتانسیل ژنتیکی هستند، تعیین کننده خواهند بود. به عبارت دیگر، علاوه بر وزن بدن، پتانسیل رشد نیز میزان نیازها را تعیین می کند.

اصل کلی اثر دمای آب بر رشد به خوبی شناخته شده است. نیازهای همراه با افزایش دما تا یک حد آستانه مشخص که اپتیمم گرمایی برای یک گونه است افزایش یافته و سپس کاهش می یابد (فصل ۲ و جدول ۵-۵). سطح اپتیمم دمایی تقریبا مطابق با بهترین بازدهی غذایی است، زیرا در این سطح ارتباط بین بخشی از غذایی که برای رشد و بخشی که برای نگهداری استفاده می شود، به حداکثر خود می رسد (شکل ۲-۲۲ و جدول ۵-۵). با این وجود، تاثیر دما در مورد همه گونه های پرورشی هنوز تعیین نشده و این نوع مدل سازی برای تعداد زیادی از گونه ها دشوار است.

بعلاوه، عوامل زیاد دیگری نظیر سلامتی، وضعیت فیزیولوژیک، محیط پرورش، فصل (در مورد یک دمای مشخص) و غیره نیز بر نیازها تاثیر گذارند. بنابراین، برآورد واقعی از نیازهای انرژی ماهی پیچیده بوده و در صورت فقدان راهکارهای علمی، تنها از طریق مشاهدات پی در پی و راه حل های عملی حاصل از برآوردهای پرورش دهنده می توان به آن دست یافت. از لحاظ عملکرد اقتصادی مزرعه پرورش ماهی، میزان بازدهی سطوح غذادهی به میزان قابل توجهی به استفاده از روش های ارائه شده توسط خود پرورش دهنده در منطقه بستگی دارد.



شکل ۲-۲۲) اثر دما بر مصرف (کیلو کالری بر ۱۰۰ گرم در روز) و حفظ انرژی (R).

۲-۲-۲۲) محدودیت های مربوط به محیط پرورش

در ارتباط با محیط پرورش عوامل مختلفی بر سطح غذادهی تاثیر گذارند که مهمترین آنها غلظت اکسیژن محلول است. نیاز ماهی به اکسیژن، مستقیما به مقدار غذای داده شده بستگی دارد. برای مثال قزل آلا برای متابولیسم یک کیلوگرم غذا به حدود ۲۵۰ تا ۳۰۰ گرم اکسیژن نیاز دارد. در صورتیکه کسب این مقدار اکسیژن از محیط برای ماهی دشوار باشد، به علت صرف انرژی زیاد برای جذب اکسیژن (کارکرد عضلانی مرتبط با تنفس)، بهره برداری موثر از غذا کاهش می یابد. کمتر از یک حد آستانه مشخص (۴ تا ۵ میلی گرم در لیتر برای قزل آلا) مصرف غذا کاهش یافته و نرخ رشد کند می شود. بالاتر از این سطح به رغم کافی بودن میزان اکسیژن در دسترس، به دلیل کاهش مصرف انرژی برای جذب اکسیژن، این امکان وجود دارد تا همراه با افزایش میزان اکسیژن محلول، مقدار مصرف و هضم و جذب غذا توسط ماهی افزایش یابد. در صورت نامناسب بودن سطح اکسیژن محلول متناسب با نیاز گونه ها، پرورش دهنده باید جیره غذایی را کاهش دهد. این امر در مورد مزارع نیمه متراکم و گونه هایی که قادر به ادامه حیات در سطوح پایین تر اکسیژن هستند (کپور معمولی) از اهمیت کمتری برخوردار است.

امروزه، روش های هوادهی به طور روز افزونی مورد استفاده قرار می گیرند تا امکان پرورش آبزیان در محیطی بدون محدودیت اکسیژنی فراهم شده و میزان تولید در واحد سطح در حد قابل توجهی نسبت به شرایط طبیعی بالا رود.

سایر عوامل محیطی به ویژه عوامل محدود کننده اکسیژن قابل دسترس برای ماهیها را باید در نظر گرفت. این عوامل عملکرد صحیح آبشش ها را از طریق مسدود کردن (مواد معلق، آهن کلوئیدی)، نکروز، هایپرپلازی (آمونیاک) و یا از طریق ترشح عصبی موکوس (pH اسیدی، مواد محرک) تحت تاثیر قرار می دهند. همچنین یون نیتریت نیز باید کنترل شود چون از طریق تشکیل متاهموگلوبین، استفاده از اکسیژن را در موجود زنده محدود می کند.

۳-۲-۲۲) تنظیم دفع مواد زائد

مراکز پرورش متراکم آبزیان از استانداردهای مربوط به دفع مواد زائد تبعیت می کنند که مقدار آن در مورد مزارع دارای آب جریان دار به صورت غلظت و در مورد مزارع پروش ماهی در دریا به صورت جریان (میزان تخلیه در واحد زمان) بیان می شوند. در حال حاضر آلایندهای تحت استاندارد شامل مواد دفعی حاصل از هضم (مواد معلق) و ترشحات متابولیک است. اکسیژن خواهی بیولوژیک (BOD) که به متابولیسم باکتریایی تجزیه کننده مواد زائد مربوط می شود، مستقیما با دفع مواد معلق ارتباط دارد. این شاخص معمولا طی یک دوره ۵ روزه (BOD5) اندازه گیری می شود. سایر شاخص ها نظیر دفع مواد دارویی احتمالاً در آینده تحت نظارت قرار می گیرند. این استانداردها میزان نهایی غذایی که در واحد زمان(برای مثال ۲۴ ساعت) توزیع می شود را محدود می کند. چنین شرایطی در بعضی مواقع در مزارع پرورشی آزاد ماهیان در فصل تابستان اعمال می شود.

تحت این شرایط، پرورش دهنده ماهی باید حداکثر مقدار توزیع غذا (Q) را برای ۲۴ ساعت با توجه به جریان آب و استانداردهای مربوط به مواد زائد، با استفاده از فرمول ذیل تعیین نماید:

$$Q_{kg/j} = \frac{D^3{}_{m/j} \times N_{mg/L}}{E_{g/kg}}$$

D = جریان عبور آب از مزرعه پرورش ماهی

N = استاندارد به کار رفته برای سیستم[1]

E = مقدار ماده دفع شده از طریق هضم یا ترشح به ازای هر کیلوگرم از غذا

باید توجه داشت که چون اکسیژن را می توان با استفاده از تجهیزات مناسب تعدیل کرد بنابراین، مقدار اکسیژن اولیه آب در فرمول در نظر گرفته نمی شود.

۳-۲۲ - تعیین سطح غذادهی

نرخ غذادهی را می توان با توجه به رشد مورد نظر، که می تواند رشد استاندارد یا یک مقدار خاص مورد نظر باشد، انتخاب کرد. این نرخ یا از طریق جداول غذادهی و یا استفاده از نتایج قبلی برآورد می شود.

۱-۳-۲۲) جداول غذادهی

در مورد غذاهای تجاری معمولا فقط گونه، اندازه یا وزن ماهی و دمای آب را در نظر گرفته می شود. این جداول در مورد غذای مورد مصرف و مزارعی که بهترین عملکرد از آنها انتظار می رود، اعمال میشوند (معمولا به صورتی مبهم بر اساس حد واسط بین بهینه سازی رشد و FCR تنظیم می شوند). بنابراین، این جداول باید به عنوان راهنما مورد ملاحظه قرار گرفته و نسبت به ویژگی های منحصر به فرد ماهی، محیط پرورش و حتی فصل تنظیم شوند.

یک جدول نیازهای انرژی، مقدار انرژی مورد نیاز برای یک ماهی با وزن متوسط و دمای مشخص را ارائه می کند. گاهی اوقات استفاده از جداول به دخالت ها یا تنظیماتی در مورد وزن بدن، دما یا هر دو عامل بطور همزمان نیازمند است (کادر ۱-۲۲).

نیازهای انرژی ماهی با توجه به نیازهای نگهداری (تغذیه در حد زنده ماندن)، نرخ رشد، دما و ضایعات غذایی در حین غذا خوردن، محاسبه می شود.

---

[1] این استاندارد از طریق قانون گذاری تعیین می شود. در فرانسه در مناطق مختلف، متغیر است. برای مثال، ppm ۱-۰/۱ در مورد نیتروژن آمونیاکی ($N.NH_4$)

کادر ۱-۲۲) محاسبه اندازه جیره غذایی روزانه از طریق اعمال تنظیمات در وزن بدن و دما

گرچه تغییرات اندازه جیره غذایی نسبت به وزن بدن و دما بصورت خطی نیست، اما یک تنظیم خطی برای یک برآورد کافی است.

تنظیم وزن ها

فرض می شود t_1 و t_2 دماها و P_1 و P_2 وزن های به دست آمده در جداول دماها و وزن های واقعی باشند، همچنین فرض می شود در دمای t_1 ، TP_1t_1 اندازه جیره برای وزن P_1 و TP_2t_1 برای وزن P_1 ، اندازه جیره TPt_1 برای وزن P طبق رمول زیر برابر خواهد بود با:

$$TPt_1 = TP_1t_1 + (TP_2t_1 - TP_1t_1) \times \frac{p - p_1}{p_2 - p_1}$$

TPt_2 برای دمای t_2 را می توان از روش مشابهی محاسبه نمود:

$$TPt_2 = TP_1t_2 + (TP_2t_2 - TP_1t_2) \times \frac{p - p_1}{p_2 - p_1}$$

تنظیم دماها

فرض کنیم TPt اندازه جیره به دست آمده برای وزن P و دمای t است.

$$TPt = TPt_1 + (TPt_1 - TP\,t_1) \times \frac{t - t_1}{t_2 - t_1}$$

یک روش ساده شده ای که در کادر۲-۲۲ خلاصه شده، توسط Cho (1992) پیشنهاد گردیده است. یک مثال از کاربرد این روش در جدول ۱-۲۲ آمده است. بر طبق محاسبات چو (۱۹۹۲)، ممکن است برآورد نظری FCR با کمک FR توصیه شده، نقطه عطفی برای پرورش دهنده باشد.

کادر ۲-۲۲) محاسبه نیازهای انرژی ماهی (Cho,1992)

تعیین ضریب رشد یک گونه

$$GC = \frac{M_f^{1/3} - M_i^{1/3}}{t \times \sum \theta}$$

این ضریب کاملا تجربی برای چند گونـه از آزادماهیـان (قـزل آلا، قـزل آلای قهـوه ای، آزادمـاهی اقیـانوس اطلس و چینوک) تعیین شده که از نظر مقدار، نسبتاً ثابت است. تعیین این ضریب و تایید ثابت بودن آن بـرای سایر گونه ها ضروری است.

پیش بینی وزن بدن در زمان t با توجه به وزن بدن در زمان صفر

$$M_1 = M_0^{1/3} + (GC \times t \times \sum \theta)^3$$

محاسبه افزایش انرژی GE از طریق افزایش بیوماس

$$GE = (M_t - M_0) \times dm \times ev$$

dm = مقدار مواد خشک

ev = مقدار انرژی

برآورد نیازهای انرژی به منظور نگهداری (EM) بر حسب کیلوژول در روز

$$EM = (-1.O4 + 3.26\theta + 0.05\theta^2) \times M^{0.824}$$

برآورد افزایش گرمای ناشی از خوردن غذا(HiF)

$$HiF = 0.6EM$$

محاسبه هدررفت انرژی از طریق ادرار و آبشش ها

$$ELUG = 0.06(GE + EM + HiF)$$

محاسبه کل نیاز انرژی (ER)

$$ER = GE + EM + HiF + ELUG$$

جدول ١-٢٢) پیش بینی های وزن بدن (گرم)، نیازهای انرژی (کیلـوژول انـرژی قابـل هضـم در ١٠٠ گرم در روز) و نرخ غذادهی (درصد) در٣ دما، در قزل آلا (Cho,1995)

١٥ درجه سانتیگراد			١٠ درجه سانتیگراد			٥ درجه سانتیگراد			هفته
درصد	کیلوژول	گرم	درصد	کیلوژول	گرم	درصد	کیلوژول	گرم	
		١			١			١	٠
٦/١٤	١/٠٤	١/٧	٣/٩٨	٠/٦٨	١/٤	١/٩٣	٠/٣٣	١/٢	١
٥/١٧	١/٤٥	٢/٥	٣/٥٦	٠/٨٥	١/٩	١/٨٢	٠/٣٧	١/٤	٢
٤/٤٧	١/٩٤	٣/٧	٣/٢٢	١/٠٥	٢/٥	١/٧٣	٠/٤٢	١/٧	٣
٣/٩٦	٢/٥٠	٥/٢	٢/٩٥	١/٢٨	٣/٣	١/٦٥	٠/٤٦	١/٩	٤
٣/٥٥	٣/١٤	٧/٠	٢/٧٢	١/٥٢	٤/٢	١/٥٨	٠/٥٢	٢/٢	٥
٣/٢٣	٣/٨٥	٩/٢	٢/٥٣	١/٧٩	٥/٢	١/٥١	٠/٥٧	٢/٥	٦
٢/٩٧	٤/٦٥	١١/٨	٢/٣٦	٢/٠٩	٦/٤	١/٤٥	٠/٦٣	٢/٩	٧
٢/٧٥	٥/٥٣	١٤/٩	٢/٢٢	٢/٤٠	٧/٧	١/٣٩	٠/٦٩	٣/٣	٨
٢/٥٦	٦/٥٠	١٨/٥	٢/١٠	٢/٧٥	٩/٢	١/٣٤	٠/٧٥	٣/٧	٩
٢/٤٠	٧/٥٥	٢٢/٦	١/٩٩	٣/١٢	١٠/٩	١/٢٩	٠/٨٢	٤/٢	١٠
٢/٢٦	٨/٦٩	٢٧/٣	١/٨٩	٣/٥١	١٢/٨	١/٢٥	٠/٨٩	٤/٧	١١
٢/١٤	٩/٩٢	٣٢/٦	١/٨٠	٣/٩٣	١٤/٩	١/٢١	٠/٩٦	٥/٢	١٢
٢/٠٣	١١/٢٣	٣٨/٥	١/٧٢	٤/٣٧	١٧/٣	١/١٧	١/٠٣	٥/٨	١٣
١/٩٣	١٢/٦٤	٤٥/١	١/٦٥	٤/٨٥	١٩/٨	١/١٤	١/١١	٦/٤	١٤
١/٨٤	١٤/١٤	٥٢/٤	١/٥٩	٥/٣٥	٢٢/٦	١/١٠	١/١٩	٧/٠	١٥
١/٧٧	١٥/٧٣	٦٠/٥	١/٥٣	٥/٨٧	٢٥/٧	١/٠٧	١/٢٨	٧/٧	١٦
١/٦٩	١٧/٤٢	٦٩/٣	١/٤٧	٦/٤٢	٢٩/٠	١/٠٤	١/٣٧	٨/٤	١٧
١/٦٣	١٩/٢٠	٧٩/٠	١/٤٢	٧/٠٠	٣٢/٦	١/٠٢	١/٤٦	٩/٢	١٨
١/٥٧	٢١/٠٨	٨٩/٥	١/٣٧	٧/٦١	٣٦/٤	٠/٩٩	١/٥٥	١٠/٠	١٩
١/٥١	٢٣/٠٥	١٠٠/٩	١/٣٣	٨/٢٥	٤٠/٦	٠/٩٧	١/٦٥	١٠/٩	٢٠
١/٤٦	٢٥/١٣	١١٣/٣	١/٢٩	٨/٩١	٤٥/١	٠/٩٤	١/٧٥	١١/٨	٢١
١/٤٢	٢٧/٣٠	١٢٦/٦	١/٢٥	٩/٦١	٤٩/٩	٠/٩٢	١/٨٦	١٢/٨	٢٢
١/٣٧	٢٩/٥٧	١٤١/٠	١/٢٢	١٠/٣٣	٥٥/٠	٠/٩٠	١/٩٦	١٣/٩	٢٣
١/٣٣	٣١/٩٥	١٥٦/٤	١/١٨	١١/٠٨	٦٠/٥	٠/٨٨	٢/٠٨	١٤/٩	٢٤
١/٣٠	٣٤/٤٢	١٧٢/٨	١/١٥	١١/٨٦	٦٦/٣	٠/٨٦	٢/١٩	١٦/١	٢٥
١/٢٦	٣٧/٠٠	١٩٠/٤	١/١٢	١٢/٦٧	٧٢/٤	٠/٨٥	٢/٣١	١٧/٣	٢٦
١/٢٣	٣٩/٦٩	٢٠٩/١	١/١٠	١٣/٥١	٧٩/٠	٠/٨٣	٢/٤٣	١٨/٥	٢٧
١/١٩	٤٢/٤٨	٢٢٩/١	١/٠٧	١٤/٣٨	٨٥/٩	٠/٨١	٢/٥٥	١٩/٨	٢٨
١/١٧	٤٥/٣٧	٢٥٠/٢	١/٠٥	١٥/٢٨	٩٣/٢	٠/٨٠	٢/٦٨	٢١/٢	٢٩
١/١٤	٤٨/٣٧	٢٧٢/٦	١/٠٢	١٦/٢١	١٠٠/٩	٠/٧٨	٢/٨١	٢٢/٦	٣٠
١/١١	٥١/٤٨	٢٩٦/٣	١/٠٠	١٧/١٧	١٠٩/١	٠/٧٧	٢/٩٥	٢٤/١	٣١
١/٠٩	٥٤/٦٩	٣٢١/٤	٠/٩٨	١٨/١٦	١١٧/٦	٠/٧٥	٣/٠٩	٢٥/٧	٣٢
١/٠٦	٥٨/٠٢	٣٤٧/٨	٠/٩٦	١٩/١٨	١٢٦/٦	٠/٧٤	٣/٢٣.	٢٧/٣	٣٣
١/٠٤	٦١/٤٥	٣٧٥/٦	٠/٩٤	٢٠/٢٤	١٣٦/١	٠/٧٣	٣/٣٨	٢٩/٠	٣٤
١/٠٢	٦٥/٠٠	٤٠٤/٩	٠/٩٢	٢١/٣٢	١٤٦/٠	٠/٧٢	٣/٥٢	٣٠/٧	٣٥
١/٠٠	٦٨/٦٦	٤٣٥/٧	٠/٩٠	٢٢/٤٤	١٥٦/٤	٠/٧٠	٣/٦٨	٣٢/٦	٣٦
٠/٩٨	٧٢/٤٣	٤٦٨/٠	٠/٨٩	٢٣/٥٩	١٦٧/٢	٠/٦٩	٣/٨٣	٣٤/٥	٣٧
٠/٩٦	٧٦/٣١	٥٠١/٨	٠/٨٧	٢٤/٧٧	١٧٨/٦	٠/٦٨	٣/٩٩	٣٦/٤	٣٨
٠/٩٤	٨٠/٣٠	٥٣٧/٢	٠/٨٦	٢٥/٩٨	١٩٠/٤	٠/٦٧	٤/١٦	٣٨/٥	٣٩
٠/٩٢	٨٤/٤١	٥٧٤/٣	٠/٨٤	٢٧/٢٢	٢٠٢/٨	٠/٦٦	٤/٣٢	٤٠/٦	٤٠

اطلاعـات مـورد نیـاز بـرای تشـکیل ایـن جـداول صـرفا بـرای تعـداد محـدودی از گونـه هـا (تعـدادی از آزادماهیان) موجود است. نیازهای انرژی در ماهی تحت تاثیر عوامل زیادی قرار دارد و به همین دلیل بایـد از طریق کنترل رشد آبزیان مورد پرورش، کافی بودن انرژی جیره غذایی توزیع شده با توجـه بـه نیازهـای ماهی تضمین شود.

۲-۳-۲۲) سطوح غذادهی بر اساس اطلاعات قبلی

سطوح غذادهی را می توان بر اساس وزن متوسـط گروهـی از ماهیهـا در پایـان یـک دوره زمـانی خـاص، تعیین نمود. این روش به دانش کامل و همه جانبه در مورد پتانسیل رشد و همچنین تغییر در FCR متناسب با اندازه ماهی نیاز دارد. همچنین فرض می شود که ماهی ها تحت شرایط بهینه ای پرورش داده مـی شـوند یا در صورت فقدان این شرایط، هدف مورد نظر کمتر یا برابر با پتانسیل آبزیان مورد پرورش خواهـد بـود. در صورت حصول وزن مشخص با جیره معین، دو پارامتر نرخ رشد و نسبت غذا بـه افـزایش وزن جیـره در طول دوره پرورش، مورد نیاز هستند.

۱-۲-۳-۲۲) استفاده از نرخ رشد ویژه بر طبق نتایج قبلی

اگر P_2 وزن نهایی مورد نظر باشد در نتیجه:

$$P_2 = P_1(1+SGR_P)^D$$

P_1= وزن در آخرین وزن کشی

SGR_P= نرخ رشد ویژه طی دوره قبلی

D = زمان بر حسب روز برای تغییر P_1 به P_2

بر حسب مورد، مقدار مجهول در معادله، P_2 یا D می باشد.

از معایب این روش تخمینی بودن رشد در دوره قبلی است. در صورت برآورد نادرست این مقدار، برآورد رشد دوره پیش بینی شده دقیق نخواهد بود. در صورتیکه اختلاف درجه حرارت بـین دو دوره زیـاد باشـد، از این روش استفاده نمی شود.

همچنین باید توجه نمود که SGR نمـی توانـد بهتـرین پـارامتر بـرای بـرآورد رشـد باشـد و ممکـن اسـت خطاهای مشخصی در برآورد مقادیر بالای D را موجب شود. بطورکلی، همین اصل را می تـوان در مـورد هر یک از دیگر پارامترهای رشد بکار برد.

٤-٢٢- روش های توزیع غذا

١-٤-٢٢) توزیع دستی

توزیع دستی غذا هنوز هم به میـزان گسـترده ای اسـتفاده مـی شـود. از مزیـت ایـن روش نظـارت بـر رفتـار ماهیهاست، بخصوص هنگامیکه به آسانی قابل مشاهده باشند. اما هزینه این روش نسبتاً بالاست.

٢-٤-٢٢) توزیع اتوماتیک

با توجه به تجهیزات انتخاب شده، توزیع اتوماتیک امکان توزیع چند مرحله ای یـا مسـتمر غـذا را در طـول دوره غذادهی فراهم می کند. در این رابطه سیستم های مختلفی از نوارهای نقاله توزیـع کننـده مـداوم غـذا در طول روز تا ماشین های اتوماتیکی که جیره های روزانه را محاسبه، وزن و توزیع می کنند، مـی تواننـد مورد استفاده قرار گیرند. مهمترین عامل تعیین کننده در مورد انتخاب این سیستم ها، هزینه است.

در برخی موارد، توزیع اتوماتیک غذا امکان اصلاح FCR را بویژه در مورد گونه هـایی کـه هنـوز بخـوبی اهلی نشده اند و به دلیل رفتارهای تغذیه ای خاص به سختی مشاهده می شوند (مثل قزل‌آلای قهـوه ای یـا آزاد ماهی اقیانوس اطلس)، فراهم می کند. همچنین، تفسیم بندی مناسب جیره روزانـه در محـدود نمـودن خطرات و عواقب ناشی از توزیع حجم زیادی از غـذا در زمـان هـای نامناسـب، حـائز اهمیـت اسـت؛ مثـل توزیع مقدار زیادی غذا در قفس های دریایی هنگام جزرکه جابجایی آب بـین قفـس هـا بـه منظـور تـامین اکسیژن مورد نیاز کافی نیست.

به منظور کاهش هزینه ها و بالا بردن سود حاصله ممکن است روش های مختلف غذادهی بـا هـم ترکیـب شوند. برای مثال، در پایان روز و به دنبال توزیع اتوماتیک ٨٠ درصـد از جیـره محاسـبه شـده، غـذادهی بـه صورت دستی می تواند علاوه بر مشاهده دقیق رفتار ماهیها، به منظور سیر کردن کامـل آنها مفید باشد. اما

دربیشتر موارد برآورد مقدار نیازهای ماهی به عنوان ضرورت کسب اطمینان از مدیریت غذادهی بـه قـوت خود باقی است.

۳-٤-۲۲) غذاده های تقاضایی

در این سیستم با استفاده از یک ابزار مناسب (پاندول تماسی بـا کنتـرل مکـانیکی یـا الکترونیکـی)، مـاهی میتواند مقدار غذایی که به آن تمایل دارد را دریافت نمایـد. مقـدار غـذایی کـه در داخـل دسـتگاه ریختـه می‌شود، بر اساس محاسبه جیره روزانه توسط پرورش دهنده ماهی تعیین می گردد. اما بطـورکلی، بیشـتر از میزان برآورد شده است. با نصب یک وسیله الکترونیکی مـی تـوان تـاخیر مـاهی در پاسـخ بـه تقاضـا را از طریق حرکت پاندول و همچنین مقدار غذای توزیع شده در هر نوبت تقاضا را به منظور محدود نمـودن هـدررفت غذایی مرتبط با به حرکت درآوردن پاندول توسط ماهی یا سایر عوامل بیرونی (حرکت آب، باد) کنترل نمود.
این سیستم غذادهی اغلب به سبب افزایش رقابت بین ماهیها و در نتیجه افزایش اختلاف وزن در آنها مـورد انتقاد قرار دارد. این مشکل را می توان با نصب تعـداد بیشـتری غـذاده یـا اصـلاح و بهبـود روش توزیـع تـا حدی کاهش داد. یک روش تکمیلی که در استخرهای جریان دار مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیـرد، نصـب غذاده ها در قسمت یک سوم پایانی استخرهاست تا بدین طریق، ماهیان غذاخورده به دلیل نیاز بـه اکسـیژن بیشتر به قسمت ورودی استخر حرکت کرده و امکان دسترسی سایر ماهی ها به نقاط غذادهی فراهم شـود. کاربرد غذاده های تقاضایی عملاً روشی نسبتا جدید است اما این روش به دلیـل برخـی ابهامـات در مـورد کیفیت محصول تولیدی به ویژه از نظر محتوای چربی مورد انتقاد است. ضمن آنکه، هزینه های مربـوط بـه نصب تجهیزات به منظور بهینـه سـازی توزیـع (کنتـرل الکترونیکـی)، پـرورش دهنـده را بـا تردیـد مواجـه می‌سازد. با این حال، مشخصه این روش فراهم نمودن شرایط مصرف اختیاری غذا توسط مـاهی اسـت کـه ممکن است در آینده به نحو مطلوبی توسعه یابد.

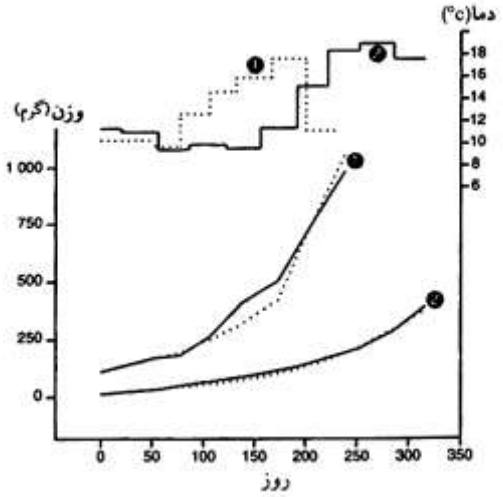
۵-۲۲ - خلاصه

پرورش دهندگان ماهی برخوردهای متفاوتی نسبت به روش های غذادهی دارند بطوریکه از روش های دستی با استفاده از نرخ های غذادهی تجربی گرفته تا روش های اتوماتیک با استفاده از برنامه ریزی های کامپیوتری را در سطح گسترده ای به کار می گیرند. اما تا به امروز، مدل های کمی برای ماشینی کردن غذادهی طراحی شده اند. محققان بیشتر به تعیین نیازها علاقه مندند تا تعیین روشی که در آن پرورش دهنده بتواند این نیازها را از طریق توزیع مناسب غذا برآورده سازد. استفاده از مایکروکامپیوترها به عنوان ابزاری قوی راههای زیادی را به منظور تلفیق پارامترهای موثر در احتیاجات غذایی آبزیان و تعیین جیره‌ای که باید دریافت کنند، پیش روی پرورش دهندگان باز می کند.

ضمیمه A

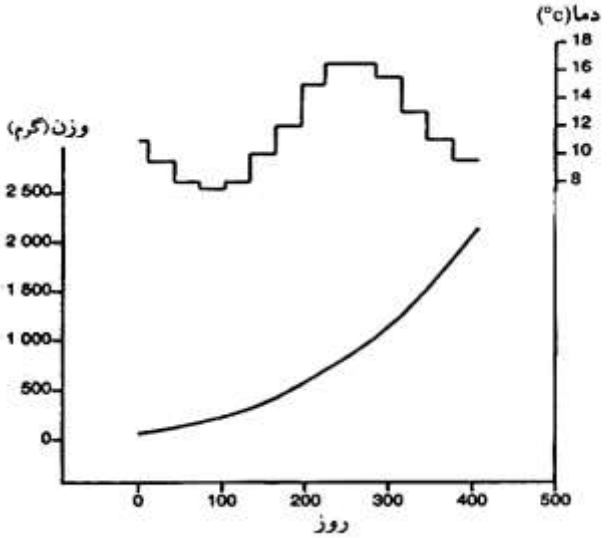
منحنی های تئوری رشد با استفاده از مدل Mueller-Feuga (فصل۲، کادرهای ۲-۱و۲-۲) در شکل های A-۱ تا ۸- A رسم شدند. مقادیر پارامترهای عملکردهای سوماتیک و دمایی در توضیحات و علائم ارائه شده در شکل ها بیان شده اند.

منحنی های رشد در اشکال ۹-A و ۱۰-A با استفاده از مدل بسیار ساده تر رسم شده اند، درحالیکه منحنی های شکل ۱۱-A مطابق با داده های واقعی و بدون هیچ گونه مدل سازی هستند.

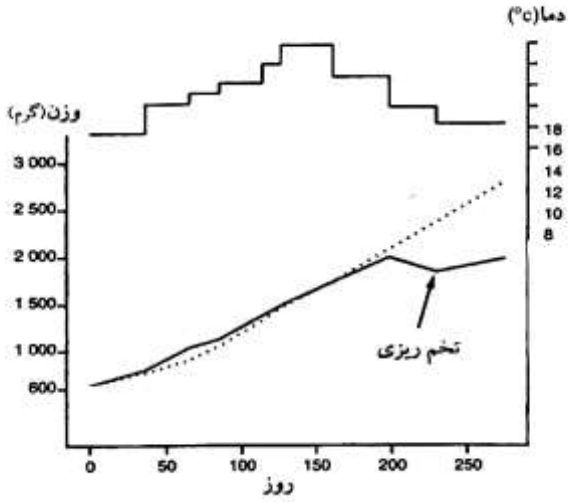


شکل ۱-A) منحنی رشد افزایش وزن بدن قزل آلای قهوه ای در آب شیرین. اثر دما(دوره گرمایی ۱و۲)، مقادیر مشاهده شده (ــ)، منحنی های مدل سازی شده (---)، ۰/۱۱۹= α، ۰/۱۴۰=β، ۲۴= θ_M و ۱=Γ (داده ها از SEMII[1])

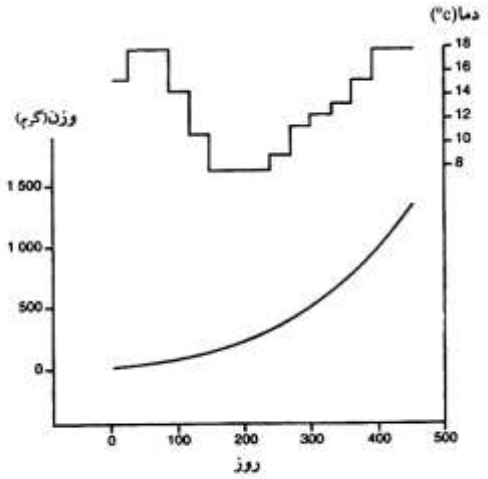
[1] Salmoniculture Experimental INRA-IFREMER,29450 Sizun



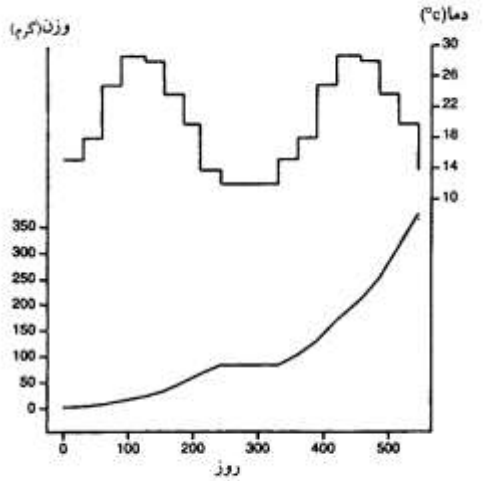
شکل ۲-A) افزایش وزن قزل آلای قهـوه ای (مرحلـه آب دریـا) بـرای رژیـم حرارتـی منظـور شـده α =۰/۱۲۸، β=۰/۱۵٦، θ_M =۲۰ و Γ=۱ **(داده ها از** SEMII)



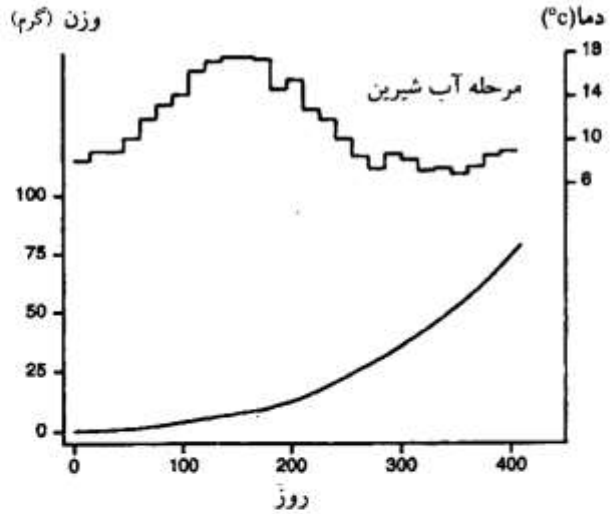
شکل ۳-A) اثر بلوغ جنسی بر افزایش وزن قزل آلای قهوه ای، مقیاس بندی مطابق با مدل محاسبه شده (خط نقطه چین) برای رژیم حرارتی منظور شده (داده ها از SEMII)

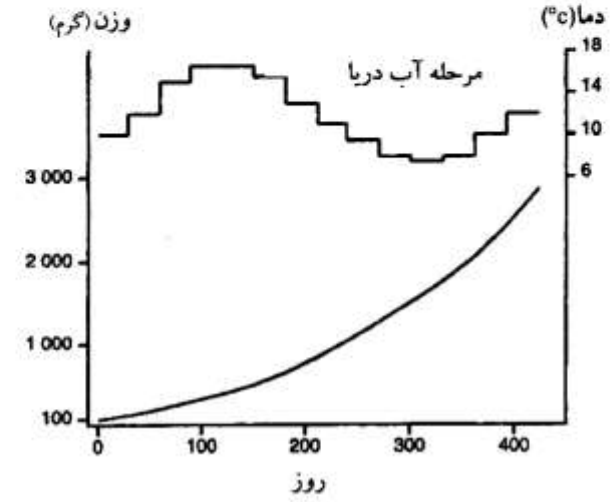


شکل ٤-A) افزایش وزن قزل آلا در دامنـه گرمـایی منظورشـده; ۰/۱۱۵ =α، ۰/۱۳۷ =β ، ۲۲ =θ_M و ۱ =Γ (داده ها از SEMII)

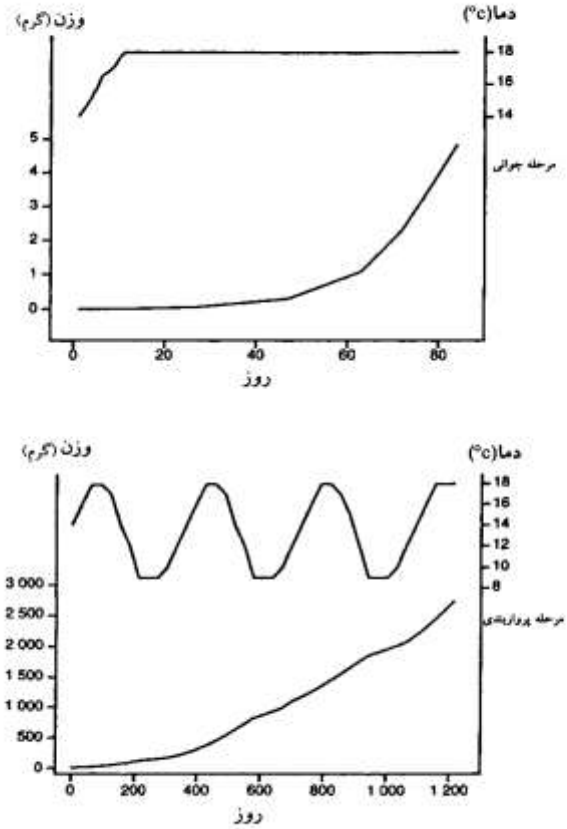


شکل ٥-A) افزایش وزن باس دریایی در مرحله رشد در رژیم هـای حرارتـی منظـور شـده; ۰/۱۲۳ =α، ۰/۱٤۰ =β، ۳۱/۵ =θ_M و ۱ =Γ (داده ها از IFREMER)



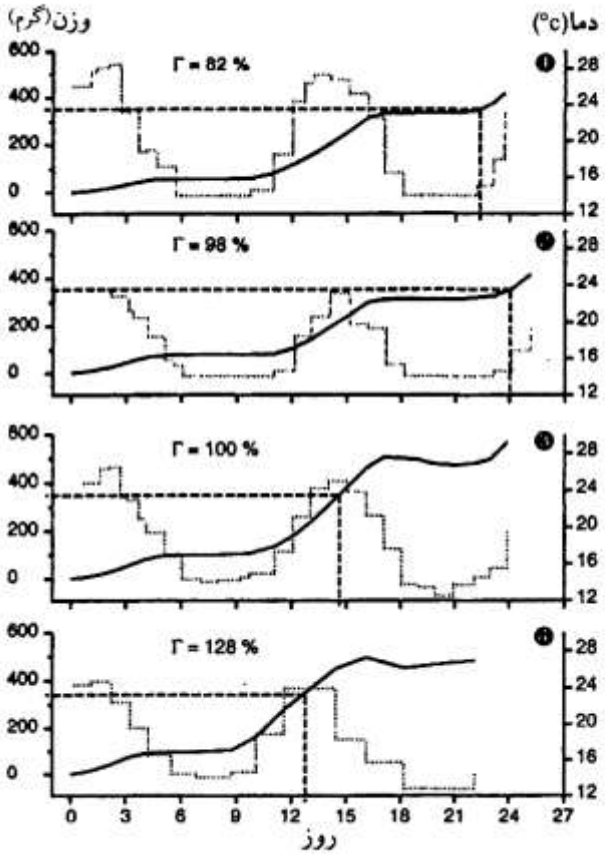


شکل ٦-A) افزایش وزن جمعیت نروژی آزاد ماهی اقیانوس اطلس در مراحل آب شیرین و آب شور در رژیمهای حرارتی منظور شده. بالا: مرحله آب شیرین: ۰/۱۲۹= α، ۰/۱۴۰= β، ۲۰= θ_M و ۱= Γ ; پایین: مرحله آب دریا: ۰/۱۲۸= α، ۰/۱۵۷= β، ۲۰= θ_M و ۱= Γ (داده ها از IFREMER و SEMII)



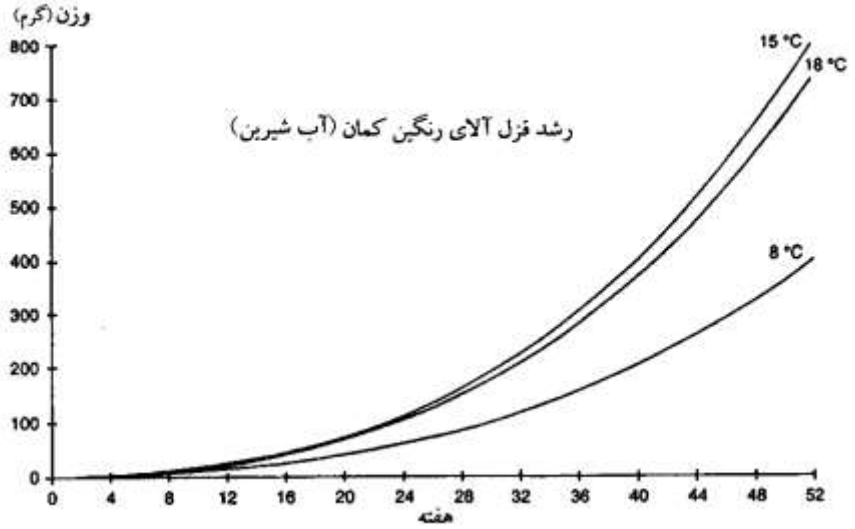
شکل ۷-A) افزایش وزن ماهی کفشک پرورشی در مرحله جوانی و پروار در رژیم های حرارتی منظـور شده. مقادیر پارامترها در جدول مشخص شده است (داده ها از IFREMER) :

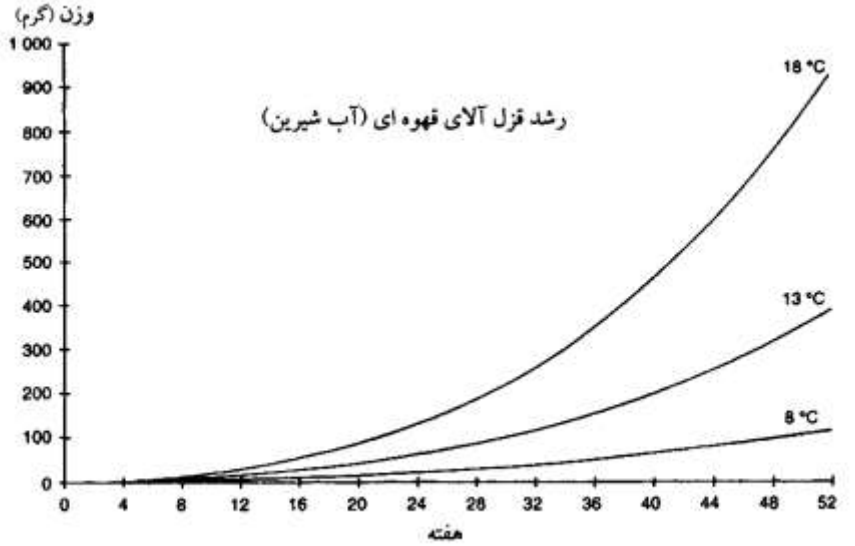
وزن	α	β	Θ_M
یک کیلوگرم >	۰/۱۲۳۵	۰/۱۴۰	۲۴/۸
یک کیلوگرم <	۰/۱۳۰۵	۰/۱۴۰	۲۴/۸



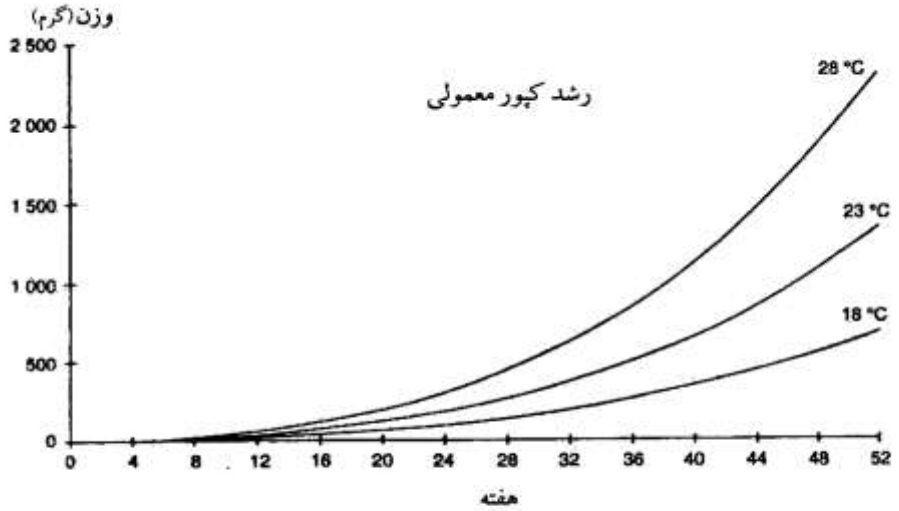
شکل ٨-A) افزایش رشد سیم دریایی سر طلایی تحت تاثیر عملکرد و نوع رژیم نوری. در هر مورد، ٠/٥= m ، ٠/١٣٦= α، ٠/١٩٦٥= β ، ٣١/٥= θ_M . شاخص Γ برای هر عملکرد و هر نوع مکان در جدول زیر مشخص شده است (داده ها از IFREMER):

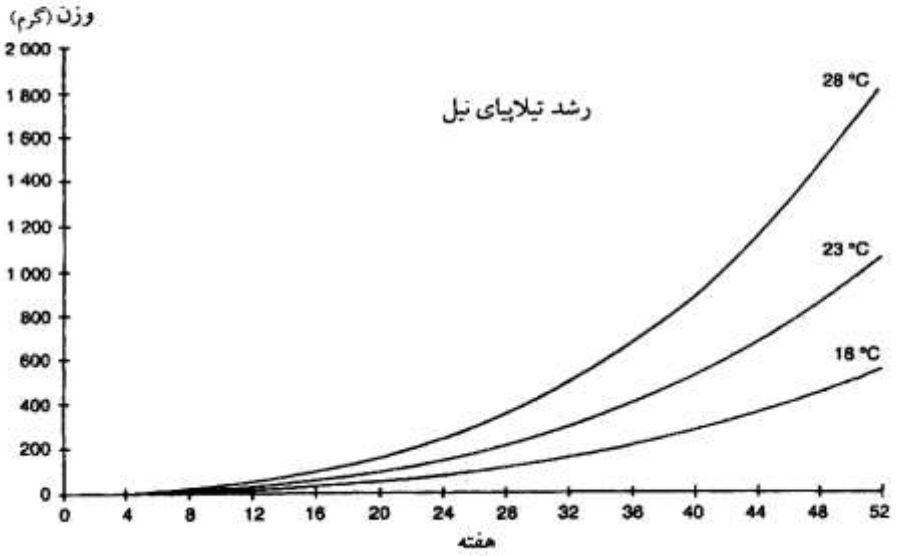
Γ	نوع مکان	عملکرد
٠/٨٢	بسته	١
٠/٩٨	بسته	٢
١	باز	٣
١/٢٨	باز	٤



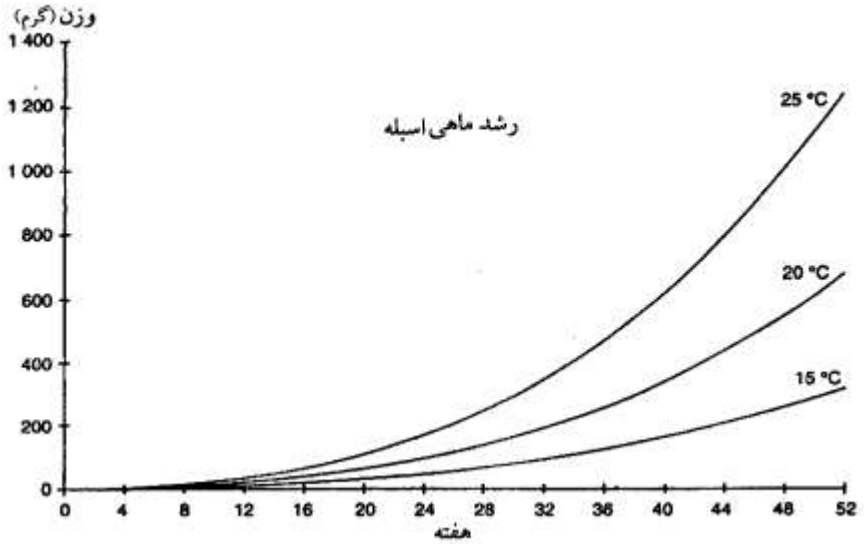


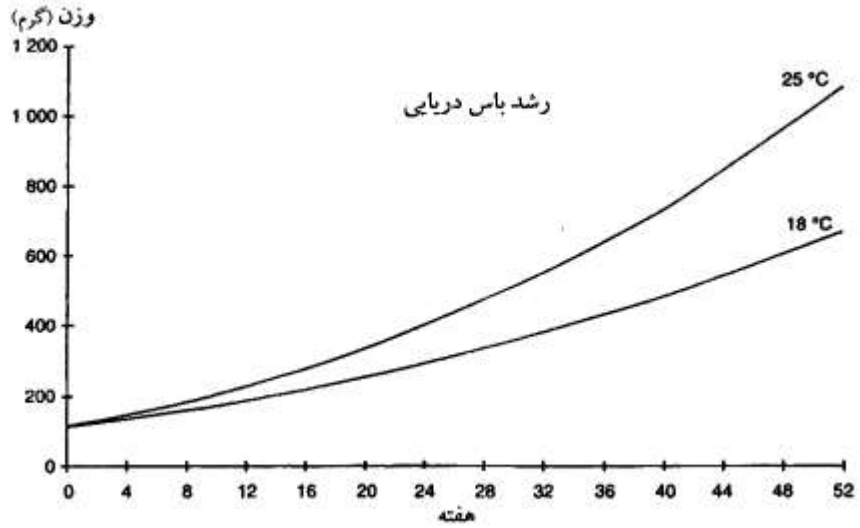
شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



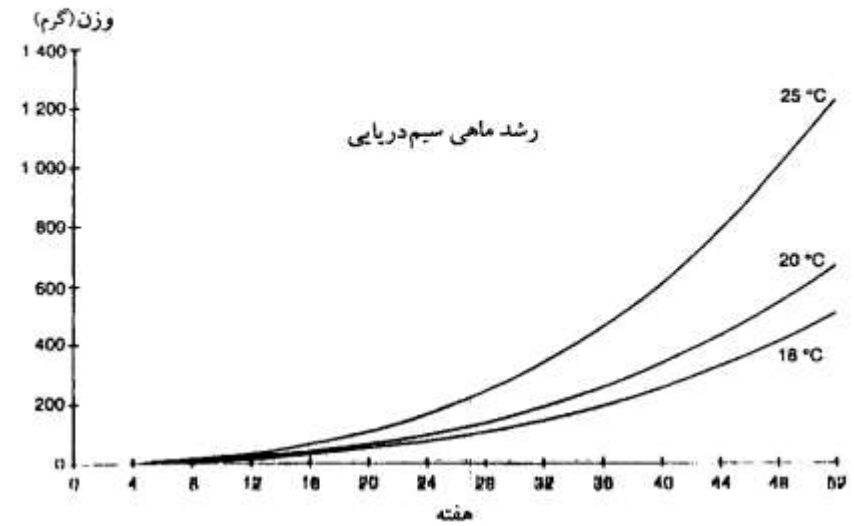


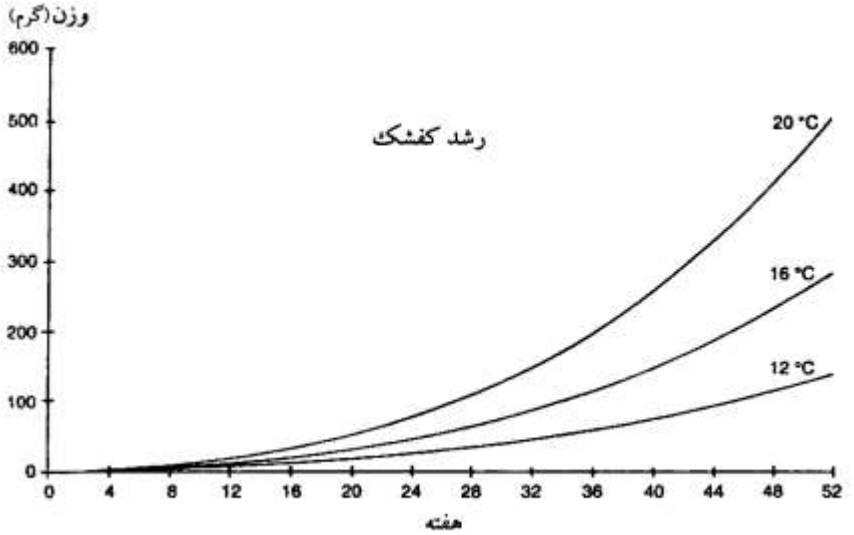
ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



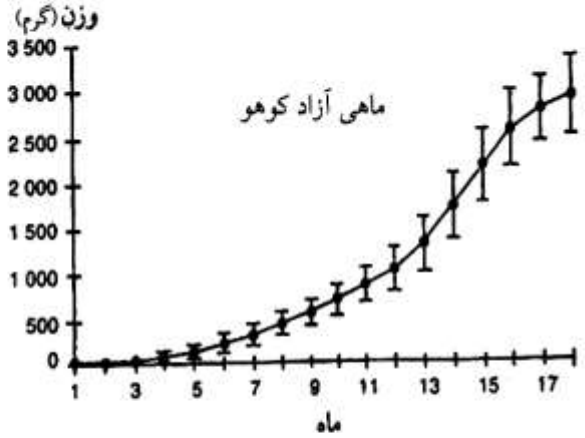


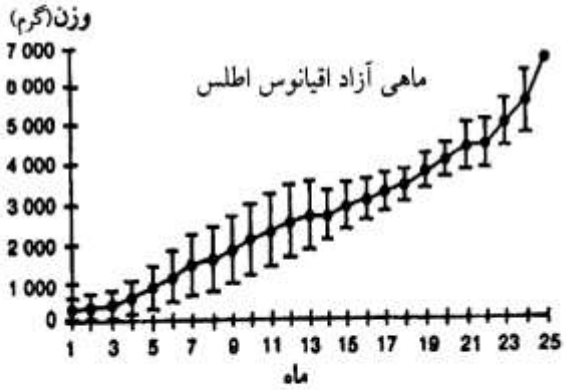
ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)



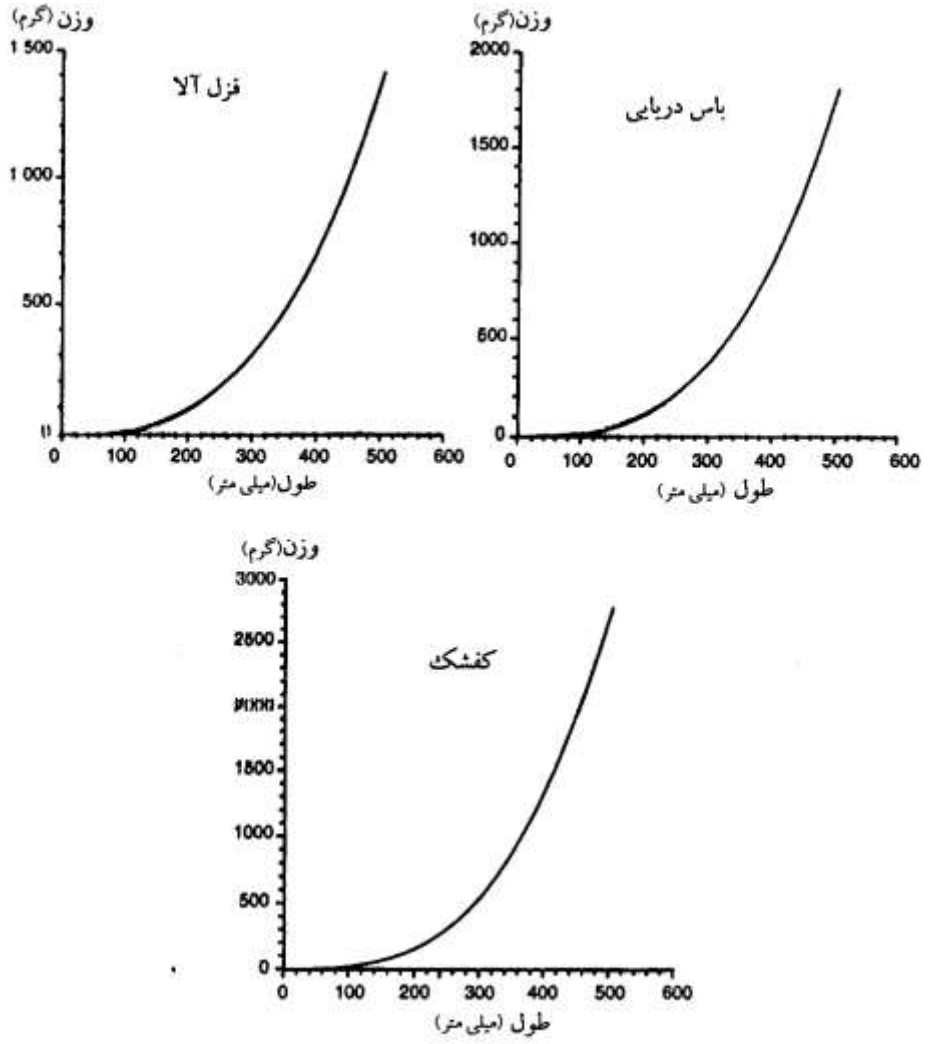


ادامه شکل ۹-A) منحنی های تئوری رشد (وزن) تحت شرایط ایده آل در چند دمای فرض شده بصورت ثابت در طول دوره پرورش (مدل از S.Kaushik)





شکل ۱۰-A) منحنی های رشد واقعی (وزن) مشاهده شده در ماهی آزاد اقیانوس اطلس و ماهی آزاد کوهو تحت شرایط مطلوب



شکل ۱۱-A) ارتباط بین طول و وزن بدن در سه گونه ماهی

ضمیمه B

ترکیب و ارزش تغذیه ای مواد خام

جداول این ضمیمه ترکیب شیمیایی و سایر خصوصیات تغذیه ای (انرژی و پروتئین های قابل هضم، فسفر قابل دسترس) چند ماده غذایی اصلی مورد استفاده در غذای ماهی و سخت پوستان را ارائه می کنند.
این جداول به طور عمده از نتایج منتشر شده از تحقیقات توسط INRA ، تحت عنوان غذادهی حیوانات تک معده ای، خوک ها، خرگوش ها و ماکیان (INRA,1984) گرفته شده است، ضمن آنکه برخی از اجزاء اوایه سازنده غذا به این جداول اضافه شده اند. این مواد شامل فرآورده هایی هستند که به صورت تخصصی تر در غذادهی حیوانات آبزی مورد استفاده قرار می گیرند (برای مثال آرد میگو و اسکوئید).
سایر موارد اضافه شده اسیدهای چرب ضروری سری n-3 و n-6 هستند که در تغذیه آبزیان پرورشی بسیار مهم می باشند مثل کلسترول که یک ماده غذایی ضروری برای سخت پوستان محسوب می شود.
علائم اختصاری اقتباس شده شامل موارد ذیل است:

- اسیدهای چرب غیر اشباع زنجیره بلند (HUFA) : اسیدهای چرب n-3 و n-6 با بیش از ۱۸ اتم کربن.
- اسیدهای چرب چند غیر اشباع (PUFA):اسیدهای چرب n-3 یا n-6 شامل ۱۸ اتم کربن

باید توجه داشت که بطور کلی PUFAs با ۱۸ اتم کربن، C18:3 , n-3 و C18:2 , n-6 صرفا می توانند نیازهای اسیدهای چرب ضروری ماهیان آب شیرین را تامین کنند(فصل ۷).

جدول B.1) ترکیبات شیمیایی برخی مواد اولیه غذایی (مقدار به درصد)

جدول شماره ۱

ویژگی های ماده غذایی	آرد ماهی			
	کم چرب ۷۲	کم چرب ۶۵	پرچرب ۷۲	پرچرب ۶۵
ماده خشک	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲
کربوهیدرات	–	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–	–
قندها	–	–	–	–
سلولز	–	–	–	–
ADF	–	–	–	.–
NDF	–	–	–	–
پروتئین های خام	۷۱/۳	٦٤/۹	۷۱/٦	٦٦/۲
لایزین	٥/٤۲	٥/۰٤	٥/٤۸	٥/۰۳
متیونین	۲/۰۷	۱/۸۱	۲/۰۸	۱/۹۲
متیونین-سیستئین	۲/۷۱	۲/۳۹	۲/۸۰	۲/٥۲
ترپتوفان	۰/۷٥	۰/٦٥	۰/۷۹	۰/۷۰
ترئونین	۳/۱۰	۲/۷۳	۳/۰٦	۲/۸۸
لوسین	٥/۲۰	٤/۸۱	٥/۲۰	٥/۱۰
ایزولوسین	۳/۳٥	۳/۰٤	۳/٤۲	۳/۱۱
والین	۳/۸۰	۳/٥٥	۳/۸۸	۳/٦۷
هیستیدین	۱/٦۳	۱/٥۸	۱/٦۱	۱/٥۲
آرژنین	٤/۰٦	۳/۷۱	۳/۹۲	۳/۷۷
فنیل آلانین+تیروزین	٥/۰۰	٤/۸۱	٤/۸٥	٤/۸۳
چربی ها	۱/۸۰	٥/٥	۹/٥	۹/٦
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۳۹	۱/۱۹	۲/۰٥	۱/٦
اسیدهای چرب تک اشباع	۱/۰۰	۳/۰۷	٥/۳۰	٤/۸۲
n-6 HUFA	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰٦	۰/۰٥
n-6 PUFA	۰/۰٤	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۷
n-3 HUFA	۰/۲٦	۰/۸۰	۱/۳۹	۱/۲۷
n-3 PUFA	۰/۲۸	۰/۸۷	۱/٥۰	۱/۳۷
کلسترول	–	–	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	۱٦/۸	۲۱/٤	۱۱/۰	۱٥/٦
کلسیم	٤/۲۰	٦/۳۰	۲/۷۰	۳/۹۰
فسفر کل	۲/۷٥	۳/٥۰	۱/۸۰	۲/٥٥
سدیم	۰/۹٥	۱/۰۰	۰/۷۷	۰/۹۰
پتاسیم	۰/۷٤	۰/۷۰	۰/۹۰	۰/۷٥
کلرین	۱/۲۰	۱/۳۰	۱/۰۰	۱/۱٥
منیزیم	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۲۰
انرژی خام				
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۳۰	٤/٦۰	٤/۹٤	٤/۷۸
MJ.kg $^{-1}$	۱۸/۰	۱۹/۳	۲۰/۷	۱۸/۷
انرژی قابل هضم				
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۷۷	۳/۷۳	٤/٤۱	٤/۱٤
MJ.kg $^{-1}$	۱٥/۸	۱٥/٦	۱۸/٥	۱۷/۳
پروتئین های قابل هضم	٦٤/۲	٥۸/۱	٦٤/٤	٥۹/٦
فسفر قابل دسترس	۲/۳٥	۳/۰۰	۱/٥۳	۲/۲۰

جدول شماره ۲

ویژگی های ماده غذایی	پروتئین تغلیظ شده قابل حل ماهی		
	آردماهیLT (با دمای پایین)	CPSP G	CPSP 90
ماده خشک	**۹۲**	۹۵	۹۵
کربوهیدرات	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	–	–	–
ADF	–	–	–
NDF	–	–	–
پروتئین های خام	**۷٤/۲**	**۷۰/۰**	**۸۳/۳**
لایزین	٦/۹٤	٤/٦۷	٥/٦۷
متیونین	۲/٤۳	۲/۰۸	۲/٤۸
متیونین-سیستئین	۲/۹۳	۲/۲۳	۳/۲٥
تریپتوفان	۰/۷٥	۰/٥۲	۰/٦۲
ترئونین	۲/٦٥	۲/٦٦	۳/۱٦
لوسین	٦/٦۸	٤/۱۸	٤/۹۸
ایزولوسین	٤/۰٤	۲/٥۲	۳/۰۰
والین	٤/۳۸	۳/۰۰	۳/٥٦
هیستیدین	۱/۷٤	۱/٤۱	۱/٦۸
آرژنین	٥/٥٥	٤/٥۲	٥/۳۸
فنیل آلانین+تیروزین	٥/۹٤	٤/٤۰	٥/۲٤
چربی ها	**۱۱/۰**	**۱۸-۲۰**	**۷/٥**
اسیدهای چرب اشباع شده	۲/۱٦	–	–
اسیدهای چرب تک اشباع	٥/۹٤	–	–
n-6 HUFA	۰/۰٦	–	–
n-6 PUFA	۰/۲۰	–	–
n-3 HUFA	۱/٤۷	–	–
n-3 PUFA	۱/٥۸	–	–
کلسترول	–	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	**۱۱/۷**	**٥/۳**	۷/۱
کلسیم	۳/۲۷	۰/٦۰	۰/٦۰
فسفر کل	۰/۷۰	۰/٦۰	۰/۸۰
سدیم	–	–	–
پتاسیم	–	–	–
کلرین	–	–	–
منیزیم	–	–	–
انرژی خام			
Mcal.kg $^{-1}$	٥/۲۳	٥/۹۰	٥/۳۸
MJ.kg $^{-1}$	۲۱/۹	۲٤/٦	۲۲/٥
انرژی قابل هضم			
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۷٦	٥/۲۳	٥/۱٦
MJ.kg $^{-1}$	۱۹/۹	۲٤/۰	۲۱/٦
پروتئین های قابل هضم	٦۷/۹	٦٥/٦	۷۹/۱
فسفر قابل دسترس	۰/٦۰	۰/٥۱	۰/٦۰

جدول شماره ۳

ویژگی های ماده غذایی	آرد اسکوئید	آرد میگو
ماده خشک	**۹۲/۰**	۸۸/۰
کربوهیدرات	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**۷۸/۰**	**۳۹/۵**
لایزین	٤/۸۵	۲/۱۷
متیونین	۲/۱٦	۰/۸۲
متیونین–سیستئین	۳/۱۷	۱/٤۱
تریپتوفان	–	۰/٤۲
تریونین	۳/۱۷	۱/٤۲
لوسین	۵/۱۰	۲/٦۰
ایزولوسین	۳/۰۰	۱/٤٦
والین	۲/۸۲	۱/۸۳
هیستیدین	۲/۱۲	۰/۹۰
آرژنین	۵/۲۰	۲/۳۵
فنیل آلانین+تیروزین	–	۱/۵۹
چربی ها	**٦/۰**	**۳/۲**
اسیدهای چرب اشباع شده	۱/۷۸	–
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۵٦	–
n-6 HUFA	۰/۰۳	–
n-6 PUFA	۰/۰٤	–
n-3 HUFA	۲/۷۲	–
n-3 PUFA	۲/۷۲	–
کلسترول	–	–
املاح معدنی (خاکستر)	**۱۱/۰**	**۲۷/۲**
کلسیم	۰/۱۰	–
فسفر کل	۰/٦۰	–
سدیم	۱/۱۰	–
پتاسیم	–	–
کلرین	–	–
منیزیم	–	–
انرژی خام	٤/۷۰	
$Mcal.kg^{-1}$	۱۹/۸	۳/٦۰
$MJ.kg^{-1}$		۱۵/۰
انرژی قابل هضم	٤/۰	
$Mcal.kg^{-1}$	۱٦/۸	۳/۳۰
$MJ.kg^{-1}$		۱۳/۸
پروتئین های قابل هضم	۷۰/۰	۳٦/۳
فسفر قابل دسترس	–	–

جدول شماره ٤

ویژگی های ماده غذایی	آرد گوشت	
	۵۰	۶۰
ماده خشک	**۹۳/۰**	**۹۳/۰**
کربوهیدرات	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**۵۰/۰**	**٦۰/۰**
لایزین	۲/۸۰	۳/٤٦
متیونین	۰/۷۰	۰/۸۵
متیونین-سیستئین	۱/۲۰	۱/۳۹
تریپتوفان	۰/۲۸	۰/۳٦
ترئونین	۱/۷۹	۱/۱۵
لوسین	۳/۱۰	۳/۸۲
ایزولوسین	۱/٤۰	۱/۹٤
والین	۲/۳۰	۲/۸۰
هیستیدین	۰/۹۵	۱/۱۳
آرژنین	۳/٤۸	۳/۸۹
فنیل آلانین+تیروزین	۲/۷۵	۳/۳٦
چربی ها	**۵/۰**	**٤/۰**
اسیدهای چرب اشباع شده	۲/۳۸	۱/۹۰
اسیدهای چرب تک اشباع	۲/۰۱	۱/٦۱
n-6 HUFA	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز
n-6 PUFA	۰/۱٦	۰/۱۲
n-3 HUFA	–	–
n-3 PUFA	۰/۰۳	۰/۰۲٤
کلسترول	۰/۰۳۵	۰/۰۲۸
املاح معدنی (خاکستر)	**۳۲/٦**	**۲۲/۵**
کلسیم	۱۰/۲۰	۷/۰۵
فسفر کل	٤/۸۵	۳/۳۵
سدیم	۰/۷٦	۰/۵۲
پتاسیم	۰/۵٤	۰/۳۷
کلرین	۰/٦۵	۰/٤۵
منیزیم	۰/۷٦	۰/۵۲
انرژی خام	۳/۲۸	۳/۷۵
Mcal.kg $^{-1}$	۱۳/۷۰	۱۵/٦۹
MJ.kg $^{-1}$		
انرژی قابل هضم	۲/۸۱	۳/۲۱
Mcal.kg $^{-1}$	۱۱/۷	۱۳/٤
MJ.kg $^{-1}$		
پروتئین های قابل هضم	٤۲/۵	۵۱/۰
فسفر قابل دسترس	۳/۹۰	۲/۷۰

جدول شماره ٥

ویژگی های ماده غذایی	آرد بافت های پیوندی	آرد پر هیدرولیز شده	آرد خون
ماده خشک	**٩٣/٠**	**٩٣/٠**	**٩٣/٠**
کربوهیدرات	–	–	–
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	–	–	–
ADF	–	–	–
NDF	–	–	–
پروتئین های خام	**٦٧/٢**	**٨٥/٨**	**٨٤/٠**
لایزین	٣/٧٢	١/٨٤	٧/٦٢
متیونین	٠/٩٥	٠/٥٣	٠/٩٣
متیونین–سیستئین	١/٥٧	٤/٠٨	١/٦٨
تریپتوفان	٠/٣٨	٠/٤٣	١/٠٦
ترئونین	٢/٢٧	٣/٩١	٤/٠٠
لوسین	٤/٠٠	٧/١٤	١١/٥٨
ایزولوسین	١/٩٦	٣/٩٥	٠/٧٩
والین	٣/١٠	٦/٨٨	٧/٠٢
هیستیدین	١/١٢	٠/٥٨	٥/١٨
آرژنین	٤/٤٢	٥/٦٦	٣/٦٣
فنیل آلانین+تیروزین	٣/٧٤	٧/٠١	٦/٩٧
چربی ها	**١٠/١**	**٣/٥**	**١/١**
اسیدهای چرب اشباع شده	٤/٨٠	٠/٩٣	–
اسیدهای چرب تک اشباع	٤/٠٦	١/٥١	–
n-6 HUFA	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز	–
n-6 PUFA	٠/٣١	٠/٦٨	–
n-3 HUFA	–	–	–
n-3 PUFA	٠/٠٦	٠/٠٤	–
کلسترول	٠/٠٧	٠/٠١	–
املاح معدنی (خاکستر)	**١٥/٠**	**٣/٢**	**٤/٥**
کلسیم	٤/١٠	٠/٢٠	٠/٣٠
فسفر کل	٢/١٠	٠/٧٠	٠.٢٥
سدیم	١/٠٠	–	٠/٣٢
پتاسیم	٠/٤٠	٠/٢٤	٠/١٠
کلرین	–	–	٠/٤٠
منیزیم	٠/١٢	٠/١٨	٠/٢٢
انرژی خام			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/٧١	٥/١٦	٤/٨٥
$MJ.kg^{-1}$	١٩/٦٩	٢١/٦٠	٢٠/٢٧
انرژی قابل هضم			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/٠٨	٤/٥٠	٤/٣١
$MJ.kg^{-1}$	١٧/١	١٨/٨	١٨/١
پروتئین های قابل هضم	٥٧/٨	٧٤/٦	٧٤/٨
فسفر قابل دسترس	١/٨٠	٠/٦٠	٠/٢٢

جدول شماره ٦

ویژگی های ماده غذایی	لاکتروسرم	کازئین لاکتیک
ماده خشک	**٩٥/٠**	**٩١/٠**
کربوهیدرات	٧١/٦	٤/٨
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	٦٦/٥	–
سلولز	–	–
ADF	-.	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**١٣/٣**	**٨٢/٠**
لایزین	١/١٢	٦/٧٢
متیونین	٠/٢٢	٢/٢٩
متیونین-سیستئین	٠/٥٠	٢/٥٧
تریپتوفان	٠/١٥	١/٣٩
ترئونین	٠/٧٢	٤/٠٢
لوسین	١/١٤	٧/٥٤
ایزولوسین	٠/٧٢	٥/٠٠
والین	٠/٦٧	٥/٩١
هیستیدین	٠/٢٤	٢/٥٤
آرژنین	٠/٣٣	٣/٣٦
فنیل آلانین+تیروزین	٠/٧٧	٩/٢٦
چربی ها	**١/٣**	**١/٥**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	٠/٨١
اسیدهای چرب تک اشباع	–	٠/٣٧
n-6 HUFA	–	مقدار ناچیز
n-6 PUFA	–	٠/٠٣
n-3 HUFA	–	٠/٠٠
n-3 PUFA	–	٠/٠٠
کلسترول	–	٠/٠١
املاح معدنی (خاکستر)	**٨/٨**	**٢/٧**
کلسیم	٠/٩٤	٠/١٢
فسفر کل	٠/٧٠	٠/٤١
سدیم	٠/٨٠	٠/٠٠٤
پتاسیم	٢/٢٣	٠/٠٠٦
کلرین	١/٢٠	٠/٠٤
منیزیم	٠/١٢	٠/٠٠٢
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٧٢	٥/٠١
MJ.kg $^{-1}$	١٥/٥٨	٢٠/٩٥
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٢٠	٤/٧٨
MJ.kg $^{-1}$	١٣/٤٠	٢٠/٠
پروتئین های قابل هضم	١١/٥	٧٨/٧
فسفر قابل دسترس	–	–

جدول شماره ۷

ویژگی های ماده غذایی	کنجاله سویا		کنجاله کلزا (نوع دو صفر)
	۴۴	۵۰	
ماده خشک	۸۸/۰	۸۸/۰	۸۹/۰
کربوهیدرات	۳۰/۳	۲۸/۵	۳۳/۳
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۳/۳	۳/۱	۵/۲
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–	–
قندها	۱۰/۰	۸/۷	۸/۳
سلولز	۷/٤	۳/٤	۱۱/۷
ADF	۹/٦	۵/۳	۱۸/۵
NDF	۱۳/۵	۷/۵	۲۵/۵
پروتئین های خام	٤۲/۵	٤۸/۰	**۳۸/۷**
لایزین	۲/۷۰	۳/۰۵	۱/۹۷
متیونین	۰/۵۹	۰/٦٦	۰/۷٦
متیونین–سیستئین	۱/۲۷	۱/٤۳	۱/۷۳
تریپتوفان	۰/۵۷	۰/٦۵	۰/٤۳
ترئونین	۱/٦۷	۱/۸۸	۱/۵۷
لوسین	۳/۲٦	۳/٦۸	۲/٤۳
ایزولوسین	۲/۱٤	۲/٤۲	۱/٤٤
والین	۲/۱۸	۲/٤٦	۱/۸٤
هیستیدین	۱/۰۵	۱/۱۹	۰/۹۲
آرژنین	۳/۱۸	۳/۵۹	۲/۱۹
فنیل آلانین+تیروزین	۳/٦۵	٤/۱۲	۲/٤۵
چربی ها	**۱/۸**	**۱/۹**	**۱/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۲۳	۰/۲٤	۰/۱۱
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۹٤
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۳٤
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱٤
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**٦/۰**	**٦/۲**	**۷/۰**
کلسیم	۰/۳۰.	۰/۲۷	۰/۷۵
فسفر کل	۰/٦۲	۰/٦۹	۱/۱۰
سدیم	۰/۰۱	۱/۰۱	۰/۰۷
پتاسیم	۱/۷۰	۲/۲۰	۱/۲۵
کلرین	مقدار ناچیز	مقدار ناچیز	–
منیزیم	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/٤۵
انرژی خام			
$Mcal.kg^{-1}$	٤/۱۵	٤/۲۰	٤/۱۱
$MJ.kg^{-1}$	۱۷/۳٦	۱۷/۵۷	۱۷/۱۸
انرژی قابل هضم			
$Mcal.kg^{-1}$	۳/۱۱	۳/۲۳	
$MJ.kg^{-1}$	۱۳/۰	۱۳/۵	۳/٤۰
پروتئین های قابل هضم	۳٤/۱	٤۱/۱	۱٤/۲
فسفر قابل دسترس	۰/۱۰	۰/۱۰	۳٦/۰
			۰/۲۲

جدول شماره ۸

ویژگی های ماده غذایی	کنجاله نارگیل	کنجاله پنبه
ماده خشک	۹۰/۰	۹۱/۰
کربوهیدرات	٤۳/۹	۲۹/۱
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	۹/۰	–
سلولز	١٦/۰	۱۳/۰
ADF	۳۰/۰	۲۱/۱
NDF	٥٤/۰	۲۹/۸
پروتئین های خام	**۲۱/٥**	**٤۱/۰**
لایزین	۰/٦٦	۱/۷۲
متیونین	۰/۳۲	۰/٥۹
متیونین–سیستئین	۰/٦۳	۱/۲٤
تریپتوفان	۰/۱٥	۰/٤۹
تریونین	۰/٦۷	۱/۳۹
لوسین	۱/۳۳	۲/٤٤
ایزولوسین	۰/۷٦	۱/۳۹
والین	۱/۱۸	۱/۹۷
هیستیدین	۰/٤۷	۱/۱۱
آرژنین	۲/٦۲	٤/۳۳
فنیل آلانین+تیروزین	۱/٥۰	۳/۳۰
چربی ها	**۱/٦**	**۱/٤۰**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۹۹	۰/۳٦
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/۹۹	۰/۲٥
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۰/۰۳	۰/۷۲
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	–	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۷/۰**	**٦/٥**
کلسیم	۰/۱۸	۰/۲۰
فسفر کل	۰/٦۰	۱/۰۰
سدیم	۰/۰٤	۰/۰٥
پتاسیم	۱/۲۰	۱/۲٥
کلرین	۰/۱۰	۰/۰٤
منیزیم	۰/۳۰	۰/٥۰
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۸٥	٤/۲۸
MJ.kg $^{-1}$	۱٦/۱۱	۱۷/۹۱
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	–	۲/۱٦
MJ.kg $^{-1}$	–	۹/۱
پروتئین های قابل هضم	۱۸/٥	۳۲/۸
فسفر قابل دسترس	۰/۰۹	۰/۱۰

جدول شماره ۹

ویژگی های ماده غذایی	گلوتن گندم	گلوتن ذرت
ماده خشک	**۹٤/۰**	**۹۰/۰**
کربوهیدرات	–	۳۷/۷
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۱۰	–
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	–
سلولز	–	٤/۰
ADF	–	۵/۰
NDF	–	۱٤/٤
پروتئین های خام	**۷۹/۰**	**٦۰/۰**
لایزین	۱/٤٤	۰/۷۷
متیونین	۱/۲۱	۱/۰۲
متیونین-سیستئین	۲/٦۵	۱/٦۵
تریپتوفان	۰/۷٦	۰/۲۱
تریونین	۲/۰۵	۱/٤۸
لوسین	۵/۳۹	۷/۲۰
ایزولوسین	۲/۸۱	۲/۱۲
والین	۳/۱۹	۲/۲۲
هیستیدین	۱/۵۹	۱/۰۱
آرژنین	۲/۸۱	۱/٤۱
فنیل آلانین+تیروزین	٦/۲۲	٤/٦۹
چربی ها	**۵/۰**	**۲/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	۰/۹۵	۰/۳۱
اسیدهای چرب تک اشباع	۰/٤۸	۰/٦۲
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۲/۷٤	۱/٤۱
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۱٦	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۱/۰**	**۲/۸**
کلسیم	–	۰/۱۵
فسفر کل	–	۰/٤۳
سدیم	–	۰/۰۰۸
پتاسیم	–	۰/۰۳
کلرین	–	۰/۱۰
منیزیم	–	۰/۰۸
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	۵/۳۳	٤/۵٤
MJ.kg $^{-1}$	۲۲/۳۲	۱۹/۰۰
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٤/۷۳	٤/۲۱
MJ.kg $^{-1}$	۱۹/۸	۱۷/٦
پروتئین های قابل هضم	۷۵/۱	۵۷/٦
فسفر قابل دسترس	–	۰/۱۳

جدول شماره ۱۰

ویژگی های ماده غذایی	لوپن سفید پوسته دار اکسترود شده	نخود پوسته دار اکسترود شده
ماده خشک	**۸۷/۰**	**۸۶/۰**
کربوهیدرات	۲۷/۶	۵۲/۷
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	–	۴۲/۴
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	۰/۳	–
قندها	–	۲/۱
سلولز	–	۶/۳
ADF	–	۸/۷
NDF	–	۱۲/۰
پروتئین های خام	**۴۷/۱**	**۲۲/۰**
لایزین	۱/۶۸	۱/۶۰
متیونین	۰/۲۸	۰/۲۵
متیونین–سیستئین	۰/۸۰	۰/۵۹
تریپتوفان	۰/۲۸	۰/۲۰
تریونین	۱/۲۹	۰/۸۷
لوسین	۲/۵۰	۱/۵۳
ایزولوسین	۱/۵۷	۰/۹۷
والین	۱/۵۰	۱/۰۱
هیستیدین	۰/۸۲	۰/۵۲
آرژنین	۳/۷۵	۲/۱۲
فنیل آلانین+تیروزین	۳/۰۰	۱/۷۳
چربی ها	**۹/۶**	**۱/۶**
اسیدهای چرب اشباع شده	۱/۱۹	–
اسیدهای چرب تک اشباع	۴/۹۶	–
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	۱/۱۲	–
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	۰/۴۴	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	**۳/۴**	**۳/۴**
کلسیم	۰/۱۸	۰/۰۸
فسفر کل	۰/۴۰	۰/۴۰
سدیم	۱/۰۱	۰/۰۱
پتاسیم	۰/۹۰	۱/۱۰
کلرین	۰/۰۲	۰/۰۳
منیزیم	۰/۱۵	۰/۱۲
انرژی خام	۴/۳۵	۳/۵۷
$Mcal.kg^{-1}$	۱۸/۲	۱۴/۹
$MJ.kg^{-1}$		
انرژی قابل هضم	۳/۱۴	۳/۱۸
$Mcal.kg^{-1}$	۱۳/۱۴	۱۳/۳
$MJ.kg^{-1}$		
پروتئین های قابل هضم	**۵۴/۹**	**۲۱/۲**
فسفر قابل دسترس	**۰/۰۸**	**۰/۱۵**

جدول شماره ١١

ویژگی های ماده غذایی	گندم تازه	ذرت
ماده خشک	٨٦/٠	٨٦/٠
کربوهیدرات	٦٨/٨	٩٦/٠
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	٥٦/٠	٦٠/٥
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	–	٢/١
سلولز	٢/٣	٢/٢
ADF	٣/٣	٣/٠
NDF	١٠/٥	٩/٠
پروتئین های خام	**١١/٣**	**٩/٠**
لایزین	٠/٣٢	٠/٢٥
متیونین	٠/١٩	٠/١٩
متیونین–سیستئین	٠/٣٧	٠/٣٩
تریپتوفان	٠/٢	٠/٠٦
تریونین	٠/٥	٠/٣٢
لوسین	٠/٨	١/١٣
ایزولوسین	٠/٤	٠/٣٥
والین	٠/٥	٠/٤٦
هیستیدین	٠/٢٤	٠/٢٦
آرژنین	٠/٤٩	٠/٤٣
فنیل آلانین+تیروزین	٠/٨٢	٠/٨٥
چربی ها	**١/٩**	**٤/٢٠**
اسیدهای چرب اشباع شده	٠/٢٥	٠/٤٦
اسیدهای چرب تک اشباع	٠/٢٦	٠/٩٨
n-6 HUFA	٠/٠٠	٠/٠٠
n-6 PUFA	٠/٧٧	٢/١١
n-3 HUFA	٠/٠٠	٠/٠٠
n-3 PUFA	٠/١٢	–
کلسترول	٠/٠٠	٠/٠٠
املاح معدنی (خاکستر)	**١/٧**	**١/٦**
کلسیم	٠/٠٦	١/٠١
فسفر کل	٠/٣٣	٠/٢٧
سدیم	٠/٠٥	٠/٠١
پتاسیم	٠/٠٤٠	٠/٣٣
کلرین	٠/٠٦	٠/٠٥
منیزیم	٠/١٢	٠/١١
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٧٨	٣/٨٦
MJ.kg $^{-1}$	١٥/٨٣	١٦/١٣
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٠٣	٣/٥٩
MJ.kg $^{-1}$	١٢/٧	١٥/٠
پروتئین های قابل هضم	١٠/٣	٧/٨
فسفر قابل دسترس	٠/١٨	٠/٠٥

	سبوس گندم	سبوس برنج	گندم دوبار آسیاب شده
ماده خشک	۸۸/۰	**۹۰/۰**	۸۸/۰
کربوهیدرات	۵۳/۰	۴۱/۰	۵۴/۶
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	۵۳/۰	۴۱/۰	۵۴/۶
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	۱۹/۰	–	–
قندها	–	–	–
سلولز	۱۰/۰	۱۱/۶	۸/۲
ADF	۱۲/۱	–	۹/۹
NDF	۳۶/۹	–	۳۲/۸
پروتئین های خام	**۱۵/۶**	**۱۲/۸**	**۱۶/۴**
لایزین	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۷۴
متیونین	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۴
متیونین–سیستئین	۰/۶۲	۰/۴۲	۰/۵۶
تریپتوفان	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۰
تریونین	۰/۵۴	۰/۴۴	۰/۵۲
لوسین	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۰۶
ایزولوسین	۰/۵۳	۰/۵۱	۰/۵۶
والین	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۷
هیستیدین	۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۳۹
آرژنین	۱/۰۴	۰/۹۷	۱/۰۳
فنیل آلانین+تیروزین	۱/۱۰	۱/۱۹	۱/۰۸
چربی ها	**۶/۵**	**۱۳/۸**	**۴/۸**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	۰/۸۱	–
اسیدهای چرب تک اشباع	–	۶/۰۰	–
n-6 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-6 PUFA	–	۵/۵۰	–
n-3 HUFA	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
n-3 PUFA	–	۰/۱۱	–
کلسترول	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
املاح معدنی (خاکستر)	۴/۴	**۱۰/۷**	۴/۰
کلسیم	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۱۳
فسفر کل	۰/۹۳	۱/۴۰	۰/۹۰
سدیم	–	۰/۰۵	–
پتاسیم	۱/۰۰	۱/۵۰	–
کلرین	۰/۰۶	۰/۰۶	–
منیزیم	۰/۳۵	۰/۸۵	–
انرژی خام			
Mcal.kg $^{-1}$	۴/۰۰	۱/۹۷	۴/۲
MJ.kg $^{-1}$	۱۶/۷	۸/۲	۱۷/۶
انرژی قابل هضم			
Mcal.kg $^{-1}$	۳/۷	–	۳/۸
MJ.kg $^{-1}$	۱۵/۵	۵/۷	۱۵/۹
پروتئین های قابل هضم	۱۳/۹	۱۱/۹	۱۳/۹
فسفر قابل دسترس	–	۰/۱۴	۰/۱

جدول شماره ۱۲

	مخمر آبجو	مخمر لاکتیک
ماده خشک	**٩٣/٠**	**٩٥/٠**
کربوهیدرات	**٣٢/٧**	**٣٠/٣**
نشاسته(هیدرولیز اسیدی)	٤/٩	٠/٥
نشاسته (هیدرولیز آنزیمی)	–	–
قندها	٦/٩	–
سلولز	٢/٨	–
ADF	–	–
NDF	–	–
پروتئین های خام	**٤٨/٤**	**٥٠/٧**
لایزین	٣/٣٨	٣/٧٠
متیونین	٠/٦٧	٠/٦٦
متیونین-سیستئین	١/١٩	١/١٦
تریپتوفان	٠/٥٥	٠/٥٥
تریونین	٢/٢١	٢/٩٩
لوسین	٣/١١	٣/٨٠
ایزولوسین	٢/١٥	٢/٢٨
والین	٢/٤٨	٢/٦٨
هیستیدین	١/١٢	٠/٩٦
آرژنین	٢/٢٧	٢/٤٣
فنیل آلانین+تیروزین	٣/٣٦	٣/٧٤
چربی ها	**١/٨**	**٦/٢**
اسیدهای چرب اشباع شده	–	٢/١٣
اسیدهای چرب تک اشباع	–	٤/٤٠
n-6 HUFA	–	٠/٠٠
n-6 PUFA	–	١/٤٠
n-3 HUFA	–	٠/٠٠
n-3 PUFA	–	–
کلسترول	٠/٠٠	٠/٠٠
املاح معدنی (خاکستر)	**٧/٣**	**٧/٨**
کلسیم	٠/١٤	٠/٢٣
فسفر کل	١/٤٠	١/٨٠
سدیم	٠/٠٧	٠/١٢
پتاسیم	١/٧٠	٢/٢٠
کلرین	٠/١٥	٠/٢٢
منیزیم	٠/٢٠	٠/١٤
انرژی خام		
Mcal.kg $^{-1}$	٤/٣٠	–
MJ.kg $^{-1}$	١٨/٠٠	–
انرژی قابل هضم		
Mcal.kg $^{-1}$	٣/٣٢	٣/٣٩
MJ.kg $^{-1}$	١٣/٩	١٤/٢
پروتئین های قابل هضم	**٤٠/٤**	**٤٤/٨**
فسفر قابل دسترس	**٠/٩١**	**١/٢٠**

جدول شماره ١٣

جدول B.۲) محدوده ترکیب شیمیایی آردهای ماهی، برحسب ماده خشک (Anderson *et al*.,1993)[1].

ترکیب شیمیایی	محدوده
پروتئین خام (درصد)	۷۷/۸–۸۳/۷
چربی های خام (درصد)	۹/٤–۱۵/۰
مینرال ها (درصد)	۱۱/۰–۱٤/٦
انرژی خام ($kJ.\ g^{-1}$)	۲۱/٤–۲۲/۹
کلسیم (درصد)	۲/۱٦–۳/۹٤
فسفر (درصد)	۱/٦۹–۲/٤٤
منیزیم (درصد)	۰/۲۰–۰/۳۰
منیزیم (درصد)	۰/٤۳–۱/۰۵
مس (میلی گرم در لیتر)	۳/۲۰–٦/۵۰
آهن (میلی گرم در لیتر)	۷٦–۲۲۰
منگنز (میلی گرم در لیتر)	۷–۱٦
روی (میلی گرم در لیتر)	۷۸–۱۲۰
لایزین قابل دسترس	۷/۱۳–۹/۰۰
نیتروژن فرار (mg%)	٤٦–۱۵٦
گروههای سولفیدریل (SH) ($mM.16gN^{-1}$)	۰/٤۸–٤/۱۹
بیوسولفات ها ($mM.16gN^{-1}$)	۰/٦۵–۳/۳٤
سولفیدایل ($mM.16gN^{-1}$)	۱/۸٦–۵/٦۲
سیستئین ($mM.16gN^{-1}$)	۱/۹۸–۵/۹۸

[1] Anderson, J.S.,Anderson, D.M. and Mivray, M.A. (1999) Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. Aquaculture, 115, 305-325.

جدول B.۳) قابلیت دسترسی فسفر(درصد) از منابع مختلف در کپور، قزل آلا وگربه ماهی(NRC,1983, McVey,1991)[1].

منبع	کپور معمولی	گربه ماهی	قزل آلا
نمک های غیرآلی			
مونوسدیم فسفات	٩٤	٩٠	٩٨
مونوپتاسیم فسفات	٩٤	–	٩٨
فسفات های کلسیم			
مونو کلسیم	٩٤	٩٤	٩٤
بی کلسیم	٤٦	٦٥	٧١
تری کلسیم	١٣	–	٦٤
مواد خام			
آردهای ماهی	١٨–٢٤	٣٩–٤٠	٦٦–٧٤
کازئین	٩٧	٩٠	٩٠
مخمر آبجو	٩٣	–	٩١
گندم	٥٧	–	٥٨
ذرت	–	٢٥	–
آرد سویا	–	٢٩–٥٤	–
فیتات ها	٨–٣٨	–	١٩

ضمیمه C

[1] NRC (National Research Council) (1983) Nutrient requirements of warm water fishes and shellfishes. In: Nutrient requirements of domestic animals VIII. National Academy Press, Washington D.C.

احتیاجات تغذیه ای، انواع فرمول های غذایی، جداول غذادهی و سایر اطلاعات

جدول C.۱) سطح بهینه پروتئین برای برخی ماهی ها

سطح بهینه (درصد از ماده خشک)	گونه ها
٤٥	ماهی آزاد اقیانوس اطلس
٤٠	ماهی آزاد چینوک
٤٠	ماهی آزاد کوهو
٤٥	ماهی آزاد سوکای
٤٠	قزل آلای رنگین کمان
٣٢-٣٦	گربه ماهی کانالی
٣١-٣٨	کپور معمولی
٤١-٤٣	کپور علفخوار
٤٤	مارماهی ژاپنی
٤٠	ماهیهای خاویاری
٣٠	تیلاپای نیل
٤٠	تیلاپای موزامبیک
٣٥	تیلاپیای زیلی
٣٤	تیلاپای آبی
٤٠	خامه ماهی
٥٠	ماهی پهن
٥٠	ماهی بادکنکی ژاپنی
٤٥-٥٠	باس دریایی
٥٥	کفشک
٤٠-٥٠	گروپر
٤٠	سیم دریایی سرطلایی
٤٥-٥٥	سیم دریایی ژاپنی
٤٥	باس دهان کوچک
٤٠	باس دهان بزرگ
٤٧	باس مخطط
٥٥	ماهی دم زرد

جدول C.۲) مقدار نیاز آمینواسیدهای ضروری تعدادی از ماهیان استخوانی (درصد از پروتئین خام مورد نیاز)

باس	باس	سیم	خامه	مار	تیلاپیا	کپور	گربه	آزاد	اسید آمینه

	ماهیان	ماهی	ماهیان	ماهیان	ماهیان	ماهی	دریایی	دریایی	دریایی حاره ای
آرژنین	٤/٤	٤/٣	٤/٤	٤/١	٤/٥	٥/٦	<٠/٦	٤/١	٣/٦
هیستیدین	١/٦	١/٥	٢/٤	١/٧	٢/١	٢//٠	–	–	–
ایزولوسین	٢/٠	٢/٦	٣/٠	٣/١	٤/٠	٤/٠	–	–	–
لوسین	٣/٦	٣/٥	٤/٧	٣/٤	٥/٣	٥/١	–	–	–
لایزین	٤/٨	٥/٠	٦/٠	٤/٦	٥/٣	٤/٠	٥/٠	٤/٨	٤/٥
متیونین+هیستیدین	٣/٣	٣/٢	٣/٥	٣/٢	٣/٢	٤/٨	٤/٠	٤/٤	٣/٤
فنیل آلانین+تیروزین	٥/٣	٤/٨	٨/٢	٣/٦	٥/٨	٥/٢	–	–	–
ترئونین	٢/٠	٢/١	٤/٢	٣/٨	٤/٠	٤/٩	–	–	–
تریپتوفان	٠/٦	٠/٥	٠/٨	١/٠	١/١	٠/٦	٠/٦	–	٠/٥
والین	٥/٣	٤/٨	٨/٢	٥/٦	٥/٨	٥/٢	–	–	–

توجه: این مقادیر که به صورت درصد از پروتئین خام بیان شده، در مورد سطوح پروتئین تایید شده و مورد استفاده توسط محققان معتبر است. در حالیکه ممکن است سطوحی بالاتر یا پایین تر از مقادیر ذکر شده در جدول مورد استفاده قرار گیرند.

جدول٣.C) نیاز اسیدهای چرب ضروری تعدادی از ماهیان استخوانی

گونه ها	اسیدهای چرب ضروری	نیاز(درصد جیره)
قزل آلا	n–٣ ٣: ١٨	٠/٨–١/٧
ماهی آزاد چام	n–٦ ٤: ٢٠ یا n–٦ ٢: ١٨	١
(آب شیرین یا شور)	n–٣ ٣: ١٨	١
ماهی آزاد کوهو	n–٣ ٣: ١٨	١/٠–٢/٥
کپور معمولی	n–٦ ٢: ١٨	١
	n–٣ ٣: ١٨	١
مارماهی	n–٦ ٢: ١٨	٠/٥
	n–٣ ٣: ١٨	٠/٥
تیلاپیای زیلی	n–٦ ٤: ٢٠ با n–٦ ٢: ١٨	١
تیلاپیای نیل	n–٦ ٢: ١٨	٠/٥
گربه ماهی	یا n–٣ ٣: ١٨	١/٠–٢/٠
	AGPI n–٣	٠/٥–٠/٧٥
ماهی آیو	n–٣ ٥: ٢٠ یا n–٣ ٣: ١٨	١
ماهی دم زرد	n–٣ ٦: ٢٢ یا n–٣ ٥:٢٠	٠/٥
کفشک	AGLPI n –٣	٠/٨
سیم دریایی قرمز	AGLPI n –٣	٠/٤
سوف مخطط	AGLPI n –٣	١/٧

جدول ٤.C) نیازهای ویتامینی قزل آلا و کپور معمولی (واحد بین المللی یا میلی گرم بر کیلوگرم غذا)

ویتامین	قزل آلا	کپور معمولی
ویتامین A (IU)	۲۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰
ویتامین D (IU)	۲۴۰۰	-
ویتامین E	۵۰	۸۰-۳۰۰
ویتامین K	۱۰	-
تیامین (B_1)	۱/۵	۲-۳
ریبوفلاوین (B_2)	۴	۴-۵
پیرودوکسین (B_6)	۳	۴-۱۰
اسید پنتوتنیک	۱۲	۲۵-۴۰
نیاسین (PP)	۱۰	۳۰-۵۰
اسید فولیک	۵	۳۵
بیوتین	۰/۱۵	۱-۱/۵
ویتامین B_{12}	۰/۰۱۵	-
ویتامین C	۱۰-۵۰	۱۰۰-۱۵۰
کولین	۳۰۰۰	۵۰۰-۳۰۰۰
اینوسیتول	-	۲۰۰-۴۴۰

جدول C.۵) نیازهای املاح معدنی و عناصر کمیاب (درصد از ماده خشک) **تعدادی از ماهیان استخوانی**

گونه ها	فسفر	کلسیم	منیزیم	پتاسیم	روی	منگنز
ماهی آزاد اقیانوس اطلس*	۰/۶	-	-	-	-	۲۰
ماهی آزاد اقیانوس آرام	۰/۶	-	-	۰/۸	R	R
قزل آلا	۰/۵-۰/۸	۰/۰۳-۰/۲۴	۰/۰۵	-	۲-۱۵	۱۲
گربه ماهی کانالی	۰/۴۵	۰/۴۵**	۰/۰۴	۰/۲۶	۲	۲/۴
کپور معمولی	۰/۶۵	۰/۳	۰/۰۵	-	۲۵	۱۳
تیلاپیاماهیان	۰/۹	۰/۶۵**	۰/۰۶	-	۱	۱۲
مارماهیان	۰/۳	-	۰/۱۴	-	-	-
باس کانالی	۰/۸۶	-	-	-	۲۰	-
سیم دریایی	-	۰/۳۴	-	-	-	-

* در آب شیرین و شور
** در آب های فاقد کلسیم
R : مورد نیاز

جدول C.۶) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم تعدادی از ماهیان آب شیرین (گرم برکیلو گرم)

اجزاء سازنده	قزل آلا	کپور	گربه ماهی	تیلاپیا ماهیان	مارماهیان
آرد ماهی	۳۰۰	۲۷۰	۸۰	۱۵۰	۶۵۰
سرم لاکتوز	۱۰۰	–	–	–	–
کنجاله سویا	۱۳۰	۶۰	۴۸۲	۲۰۰	–
گلوتن ذرت	۱۷۰	۵۰	–	–	–
جوانه گندم	۱۶۵	۴۱۰	۱۰۰	–	–
ذرت	–	–	۳۱۲	–	–
گندم	–	–	–	۲۰۰	–
سورگوم	–	–	–	۴۵۰	–
سبوس برنج	–	۵۵	–	–	–
نشاسته ژلاتینه/اکسترود شده	–	–	–	–	۲۱۰
روغن ماهی	۱۱۵	–	۱۵	–	۵۰
روغن گیاهی	–	۵۰	–	–	۲۰
پیه	–	۵۰	–	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۵	۰/۵	–	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۱۰	۵	۰/۵	۲۰	–
فسفات بی کلسیم	–	۲۵	۱۰	–	–
عوامل همبند	–	–	–	–	۳۰
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۳۸۰	۳۱۰	۳۲۰	۲۹۰	۳۶۰-۴۰۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۱۵۰	۱۲۵	۴۰	۸۰	۱۲۰-۱۵۰
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۷/۲	۱۶/۴	۱۳/۰	۱۴/۵	۱۸/۰

جدول C.۷) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم تعدادی از ماهیان دریایی (گرم بر کیلو گرم)

اجزا سازنده	آزاد ماهی اقیانوس اطلس	قزل آلای خالدار	سوف دریایی	سیم دریایی	کفشک
آرد ماهی	۵۵۰	۳۴۰	۳۶۰	۴۳۰	۳۰۰
CPSP	–	۱۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰
کنجاله سویا	–	–	۵۰	۱۰۰	۱۰۰
مخمر	–	۵۰	–	–	–
گلوتن ذرت	–	–	۹۰	۱۰۰	–
گندم اکسترود شده	۲۵۰	۹۰	–	–	۱۴۵
آرد گندم	–	–	–	–	۱۵۰
نشاسته اکسترود/ ژلاتینه شده	–	۱۲۰	۲۳۰	۱۷۰	–
روغن ماهی	۱۷۰	۱۲۰	۱۲۰	۵۰	۵۰
روغن گیاهی	–	۵۰	–	–	۲۰
لسیتین سویا	۱۰	۱۰	–	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
عوامل همبند	–	۲۰	۲۰	۲۰	۲۵
پروتئین (گرم برکیلوگرم مواد خشک)	۴۲۰	۵۰۰	۴۰۰	۵۲۰	۴۸۰-۵۲۰
لیپید(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۲۱۰	۱۵۰	۱۸۰	۱۲۰	۱۲۰
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۹	۱۹	۲۱	۱۹	۱۸

جدول C.۸) ترکیب غذاهای نیمه خالص برای تعدادی از ماهیان آب شیرین (گرم برکیلوگرم)

اجزاء غذایی	آزاد ماهیان	گربه ماهی	تاسماهیان	کپورماهیان، تیلاپیاماهیان
کازئین	۴۰۰	۳۲۰	۳۱۰	۳۳۰
ژلاتین	۴۰	۸۰	–	–
گلوتن گندم	–	–	۱۵۰	–
سفیده تخم مرغ	–	–	۴۰	–
نشاسته	۱۱۵	–	–	۲۰۰
دکسترین	۹۰	۳۳۰	۲۸۰	۲۷۰
گلوکز	۵۰	–	–	–
روغن ماهی	۱۵۰	۳۰	۴۰	–
روغن گیاهی	–	۳۰	۸۰	۸۰
دی- ال - متیونین	۵	–	–	–
ال- آرژنین	۱۰	–	–	–
مخلوط ویتامین	۳۰	۱۰	۴۰	۲۰
مخلوط املاح معدنی	۸۰	۴۰	۳۰	۵۰
کربوکسی متیل سلولز*	–	۲۰	–	–
سلولز	۳۰	۱۴۰	۳۰	۵۰

* عامل همبند

جدول C.۹) ترکیب غذاهای نیمه خالص برای تعدادی از ماهیان دریایی (گرم برکیلوگرم)

اجزاء سازنده	شانک دریایی	کفشک	سوف دریایی حاره ای	ماهی دم زرد
کازئین	۵۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۶۴۰
cpsp	–	۳۱۳	–	–
ژلاتین	–	–	۱۰۰	–
نشاسته	–	–	۵۰	–
دکسترین	۱۰۰	۵۰	–	۳۰
گلوکز	۵۰	۵۰	–	–
روغن ماهی	۱۲۰	۸۰	۶۰	۱۴۰
روغن گیاهی	–	–	۳۰	–
DL – متیونین	–	۱۰	–	۵
L – آرژنین	–	۷	–	۲۰
مخلوط آمینو اسیدها	–	–	۷۰	۱۷-۲۷
مخلوط ویتامین	۱۰	۲۸	۲۰	۳۰
مخلوط املاح معدنی	۴۰	۵	۴۰	۸۰
جذب کننده ها	۲۰	۵۰	–	۱/۵۳
کربوکسی متیل سلولز*	۵۰	–	۵۰	۲۶/۳
سلولز	۱۱۰	۱۵۷	۸۰	–

*: عامل همبند

جدول C.۱۰) ترکیب غذاهای ساده برای پرورش غیرمتراکم ماهی در استخرهای مناطق گرمسیری (گرم بر کیلوگرم)

اجزاء غذایی	تیلاپیاماهیان	کپورماهیان	میگوها
آرد ماهی	۱۵۰	–	۴۰۰
ضایعات جنبی میگو	–	–	۱۰۰
آرد سویا	۲۰۰	–	–
آرد گیاهان روغنی	–	۲۰۰–۵۰۰	۴۰۰
آرد گندم	۲۰۰	–	–
سورگوم	۴۵۰	–	–
سبوس برنج	–	۵۰۰–۸۰۰	–
مانیوک (کاساوا)	–	–	۹۰
مخلوط ویتامینی و املاح معدنی	–	–	۱۰

جدول C.۱۱) ترکیب غذایی برای پرورش متراکم و نیمه متراکم میگوهای پنئیده (گرم برکیلوگرم)
(Penaeu stylirostris,P.monodon,P.chinensis)

اجزاء سازنده	نوع پرورش	
	گسترده	متراکم
آرد ماهی	۴۰۰	۱۰۰
آرد میگو	۶۰	۶۰
آرد سویا	۱۰۰	۱۹۰
آرد گندم	۲۵۰	–
نبم دانه گندم	۱۵۰	۶۰۰
روغن ماهی	۲۰	۲۰
لسیتین سویا	۵	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۵
مخلوط املاح معدنی	۵	۱
عوامل همبند	–	۲۴
پروتئین (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)	۴۰۰	۱۵۰
چربی(گرم بر کیلوگرم ماده خشک)	۸۰	۵۰

برای مقادیر بهینه پروتئین به مقادیر ذکر شده در جدول ۱–۱۷ مراجعه شود.

جدول C.۱۲) ترکیب غذایی برای میگوهای جنس *Penaeus* (گرم برکیلوگرم)

اجزاء سازنده	*P.monodon*	*P.stylirostis*	*P.vannamei*	*P.chinensis*

پودر ماهی	۳۶۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰
پودر میگو	۷۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ضایعات اسکوئید	۳۰	–	–	۵۰
CPSP G	۱۰	–	۲۰	–
مخمر	۵۰	۵۰	–	۵۰
پودر سویا	۱۰۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۵۰
گلوتن گندم	۵۰	۵۰	–	–
آرد گندم	۲۶۰	۳۷۰	۴۵۰	۳۹۰
روغن ماهی	۲۰	۳۰	۲۵	۲۰
لیسیتین سویا	۱۰	۱۰	۱۰	۵
کلسترول	–	–	۵	۵
مخلوط ویتامینی	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مخلوط املاح معدنی	۲۰	۲۰	۲۰	۱۰
عوامل همبند	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰

جدول۱۳.C) چند نوع غذای ترکیبی برای اولین تغذیه لاروی ماهیها (گرم برکیلوگرم)

اجزاء غذایی	جیره ها				
	۱	۲	۳	٤	۵
آرد ماهی	۳۸٦	–	٤٤۵	–	–
پروتئولیسات ماهی	۱۸۰	٤۰	–	–	–
آرد صدف خوراکی ماسل	–	٤۰	–	–	–
آرد اسکالوپ	–	–	۸۳	–	–
آرد اسکوئید	–	۱٤۰	۵۳	–	–
آرد خرچنگ نروژی	–	۱٤۰	–	–	–
گناد ماهی	–	۱۹۰	–	–	–
آرد بافت پیوندی	۱۸۰	–	–	–	–
کبد گاو	–	–	–	۳۵۰	–
زرده تخم مرغ	–	۱٤۰	–	–	–
کازئین	–	٤۰	–	–	–
کازئین بازیک	–	–	–	–	۹٤۰
پروتئین حبوبات	–	–	۹٤	–	–
مخمر لاکتیک	–	٤۰	–	–	–
مخمر آبجو	٦۰	–	–	–	–
مخمر رشد یافته روی ترکیبات نفتی	–	–	–	۵۰۰	–
روغن ماهی	۳۸	۵۰	٦۰	–	–
روغن بادام زمینی	–	–	–	–	٤۰
لسیتین سویا	۱۰	۳۰	۳۰	–	–
مخلوط ویتامینی	۱۰	۲۵	٦۰	۱۰۰	۱۰۰
ویتامین C	۲/۸	۲/۵	–	–	–
ویتامین E	۰/۳۵	–	–	–	–
کلرید کولین	٦	–	–	–	–
فسفاتیدیل کولین تخم مرغ	–	–	–	–	۲۰
اسید کولیک	–	۰/۰۲	–	–	–
مخلوط املاح معدنی	۱۰	٤۰	۵۰	۵۰	۵۰
جذب کننده ها	–	–	۳٦	–	–
BHT	۰/۱	–	–	–	–
نشاسته پیش ژلاتینه شده	۱۱۷	–	–	–	–
زئین	–	٦۰	۸۰	–	–
سلولز	–	–	۳	–	–
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۳۸۰	۳۱۰	۳۲۰	۲۹۰	۳٦۰-٤۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۱۵۰	۱۲۵	٤۰	۸۰	۱۲۰-۱۵
انرژی قابل هضم (مگا ژول برکیلوگرم ماده خشک)	۱۷/۲	۱٦/٤	۱۳	۱٤/۵	۱۸

جدول۱۴.C) ترکیب غذایی آلژینات دار مبتنی بر اسکوئید برای لارو میگوی بزرگ آب شیرین : ذرات ریز Acal

اجزاء سازنده	گرم در هر کیلوگرم
اسکوئید نرم	۴۰۰
میگوی نرم	۱۵۰
صدف های خوراکی	۱۰۰
اشبل (تخم ماهی)	۵۰
تخم مرغ تازه	۳۰
مخلوط مواد معدنی و ویتامین ها	۱۲۰
آلژینات سدیم	۱۵۰
مقدار رطوبت	۱۰
پروتئین (گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۴۰
چربی(گرم برکیلوگرم ماده خشک)	۲۳

جدول۱۵.C) نمونه ای از یک مخلوط ویتامینی برای ماهی

ویتامین ها	واحد بین المللی یا میلی گرم در هر کیلوگرم غذا
ویتامین A استات (واحد بین المللی)	۲۵۰۰
ویتامین D3 (واحد بین المللی)	۲۴۰۰
ویتامین E استات	۵۰
ویتامین K3	۱۰
تیامین	۱
ریبوفلاوین	۴
پیرودوکسین	۳
پنتوتنات کلسیم	۲۰
نیاسین	۱۰
بیوتین	۰/۱۵
اسید فولیک	۱
ویتامین B12	۰/۰۱
مونوفسفات اسکوربیل	۵۰
کولین	۱۰۰۰

سطوح توصیه شده : ۱ درصد در غذاهای حاوی اجزاء غذایی معمولی (پودر ماهی، کنجاله و...) و ۳-۲ درصد در غذاهای نیمه خالص

جدول٦.C) نمونه ای از یک مخلوط مواد معدنی برای ماهی

گرم در هر کیلوگرم مخلوط	اجزاء سازنده مخلوط
٥٠٠/٠٠	فسفات بی کلسیم ($CaHPO_4.2H_2O$)
٢١٥/٠٠	کربنات یا کلرید کلسیم ($CaCO_3/CaCL_2$)
٤٠/٠٠	نمک طعام (NaCL)
٩٠/٠٠	کلراید پتاسیم (KCL)
١٢٤/٠٠	هیدروکسید منیزیم یا کرینات منیزیم *($Mg(OH)_2$)
٢٠/٠٠	سولفات یا سیترات آهن ($FeSO_4.7H_2O$)
٤/٠٠	سولفات مس ($CuSO_4.7H_2O$)
٣/٠٠	سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$)
٠/٠٠٤	یدید پتاسیم (KCL)
٠/٠٢	سولفات کبالت ($CoSO_4$)
٣/٠٠	سولفات منگنز ($MnSO_4. H_2O$)
١/٠٠	فلوئورید سدیم (NaF)

تمام اجزاء باید قبل از مخلوط شدن کاملا خرد شوند (کمتر از ٣٠٠ میکرو متر). سطح توصیه شه در غذا : ٢-١ درصد .

* ١٢٤ گرم ازآن می تواند با ١٢٤ گرم سولفات منیزیم ($MnSO_4. 7H_2O$) جایگزین شود.

جدول٧.C) نمونه ای از مخلوط ساده املاح معدنی برای غذاهای حاوی اجزاء طبیعی(آرد ماهی، کنجاله ها و غیره)

گرم در هر کیلوگرم مخلوط	اجزاء سازنده مخلوط
٣٠٠/٠٠	نمک طعام (Na .NaCL ٪ ٣٩)
٦/٣٠	سولفات آهن (Fe. $FeSO_4.7H_2O$ ٪ ٢١)
١٤/٤٠	سولفات روی (Zn. $ZnSO_4.7H_2O$ ٪ ٣٦)
٢/٥٠	سولفات مس (Cu.$CuSO_4.7H_2O$ ٪ ٢٥)
٢/٨٠	یدید پتاسیم (I.KCL ٪ ٧٦)
٨/٦٠	سولفات منگنز (Mn.$MnSO_4. H_2O$ ٪ ٣٣)
١٠٠٠/٠٠	سلولز یا گلوکز

سطح توصیه شده در غذا : ٢-١ درصد

جدول۱۸.C) ترکیب آمینو اسید درگونه های مختلف ماهی (گرم در ۱۶ گرم از نیتروژن)

آمینواسید	عضله		کل ماهی	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
آلانین	۵/۷۴	۰/۱۴	۵/۶۰	۰/۹۶
آرژنین	۵/۷۰	۰/۴۷	۵/۲۵	۱/۳۱
اسید آسپارتیک	۱۰/۱۸	۰/۲۶	۸/۸۳	۱/۱۰
سیستین	۰/۹۴	۰/۳۷	۰/۹۳	۰/۳۲
اسید گلوتامیک	۱۳/۸۷	۰/۲۹	۱۳/۰۳	۱/۲۶
گلایسین	۴/۶۰	۰/۱۳	۵/۹۳	۲/۵۷
هیستیدین	۳/۱۵	۰/۳۶	۳/۳۶	۰/۸۲
ایزولوسین	۴/۶۰	۰/۵۶	۴/۰۸	۰/۴۹
لوسین	۸/۰۰	۰/۵۸	۴/۰۶	۰/۳۷
لایسین	۹/۱۱	۰/۴۵	۷/۸۲	۰/۸۵
متیونین	۲/۲۸	۰/۸۱	۲/۹۰	۰/۳۱
فنیل آلانین	۴/۳۳	۰/۴۱	۴/۱۴	۰/۷۱
پرولین	۳/۳۷	۰/۳۷	۴/۱۳	۱/۱۶
سرین	۳/۹۲	۰/۱۸	۳/۹۷	۰/۷۵
تریونین	۴/۷۱	۰/۳۰	۴/۳۸	۰/۸۵
تریپتوفان	۱/۱۸	۰/۱۵	۰/۹۳	۰/۰۵
تیروزین	۳/۲۹	۰/۳۷	۳/۰۴	۰/۳۹
والین	۵/۳۳	۰/۵۲	۵/۱۰	۰/۶۴
متیونین + سیستین	۳/۲۱	۱/۰۷	۳/۴۶	۰/۷۲
فنیل آلانین + تیروزین	۷/۶۱	۰/۷۴	۷/۱۸	۱/۰۶

جدول۱۹.C) ترکیب اسیدهای چرب عضله در تعدادی از گونه های ماهی (درصد از اسیدهای چرب)

اسیدهای چرب	قزل آلا	کپور معمولی	باس دریایی	کفشک
C14:0	٦/٤٠	٢/٣	٣/٢٧	٤/٣٠
C15:0	٠/٤٤	–	٠/٢٦	٠/٣٠
C16:0	٢٣/٨٧	١٩/٦	١٨/٣٣	١٣/٥٠
C18:0	٣/٨٩	٤/٥	٠/١٥	٢/٥٠
C20:0	٠/١١	–	٦/٦٥	–
C16:1	٠/٩٣	–	٣/٣٨	٧/٩٠
C17:1	٠/٤٩	–	٦/٠٥	.–
C20:1	٢٤/٤٥	٢٣/٤	١٦/٦٩	٢٠/٩٠
C22:1	٣/٥٢	٠/٨	٣/٨٢	٧/٥٠
C24:1	٢/١٦	–	٨/٢٤	٠/٥٥
18:2n-6	–	–	٢/٠٤	٠/٤٥
20:2n-6	٤/٣٣	٣/٩	٠/٤٨	٧/٧٠
20:3n-6	٠/٢٦	–	٠/١٠	٠/٢٠
20:4n-6	٠/١٣	–	٠/٥٨	–
18:3n-3	٠/٥٦	٣/٥	٠/٩٥	٠/٧٠
18:4n-3	١/٠٢	٦/٠	٠/٣٧	١/٤٠
20:3n-3	١/١٦	٠/٢	٤/٠١	٢/٢٣
20:4n-3	٠/١١	–	١/٧١	–
20:5n-3	٠/٤٦	–	٠/٥٦	٠/٦٠
22:5n-3	٣/٥١	٠/٦٠	١٣/٩٥	٧/٦٠
22:6n-3	٠/٩١	١/٢	١/٠٧	٢/٢٥
اشباع شده	٨/٦٠	٥/١	٣/٧٠	١١/٢٠
یک غیر اشباعی	٣٥/٨٣	٦٣/٣	٢٩/٢٢	٢٠/٦٠
n-6	٣٩/٧٦	٣٥/٦	٤٣/٢٨	٣٦/٨٠
n-3	٥/٥٥	٩/٤	٢/١٢	٨/٦٠
PUFA	١٥/٧٧	١٨/٥	٢٥/٣٨	٢٥/٤٠
PUFA / اشباع شده	٢١/٣٢	٢٧/٩	٢٧/٤٩	٣٤/٠
n-3/n-6	٠/٥٩	٠/٧٨	٠/٩٤	١/٦٥
	٢/٨٤	٢/٠	١١/٩٩	٢/٩٥

توجه : این ترکیب کاملا تحت تاثیر چربی های جیره غذایی می باشد.

جدول C.۲۰) مقدار جیره و دفعات وعده غذایی در تیلاپیای پرورش یافته در استخر (۲۵ تا ۲۸ درجه سانتیگراد) **بر حسب مقدار غذای خشک** (گرم در هر صد گرم بیوماس در روز)

تعداد وعده ها	جیره (در هر صد گرم)	وزن زنده (گرم)
> ۸	۱۰-۳۰	< ۱
٦	٦-۱۰	۱-۵
٤	٤-٦	۵-۲۰
٤-۳	۳-٤	۲۰-۱۰۰
۳	۳	> ۱۰۰

جدول C.۲۱) مقدار جیره توصیه شده برای میگوهای جنس *Penaeus* (*P.vannamei* ، *P.stylirostis* ، *P.monodon*) **نسبت بـه وزن بـدن : مقادیر غذای خشک** (گرم در هر ۱۰۰ گرم بیوماس در روز)

مقدار جیره	وزن بدن (گرم)
۱۱-۱٦	۱
۸-۱۱/۷	۲
٤/۷-۸/٦	۳
٤/۲-۷/۲	٤
۳/۹-٦/۲	۵
۳/٦-٦/۰	٦
۳/۲-۵/۰	۷
۳/۰-٤/٤	۸
۲/۹-٤/۰	۹
۲/۸-۳/۹	۱۰
۲/٦-۳/٦	۱۱
۲/۵-۳/٤	۱۲
۲/۳-۳/۲	۱۳
۲/۲-۳/۰	۱٤
۲/۱-۲/۹	۱۵
۲/۰-۲/۸	۱٦
۲/۰-۲/۷	۱۷
۱/۹-۲/۷	۱۸
۱/۸-۲/٦	۱۹
۱/۸-۲/٦	۲۰

جدول C.۲۲) مقدار جیره توصیه شده برای قزل آلا نسبت به اندازه ماهی و دمای آب : مقادیر غذای خشک
(گرم در هر ۱۰۰ گرم بیوماس در روز)

طول (سانتی متر)	دما (درجه سانتیگراد)								
	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
۲/۵-۳/۵	۲/۶	۳/۰	۳/۵	۴/۱	۴/۸	۵/۶	۶/۵	۴/۶	۲/۸
۳/۵-۵	۲/۴	۲/۸	۳/۳	۳/۹	۴/۶	۵/۴	۶/۳	۴/۴	۲/۶
۵-۷/۵	۲/۱	۲/۵	۲/۹	۳/۴	۴/۰	۴/۶	۵/۳	۳/۷	۲/۳
۷/۵-۱۰	۱/۸	۲/۱	۲/۴	۲/۸	۳/۲	۳/۷	۴/۳	۳/۰	۲/۰
۱۰-۱۲/۵	۱/۵	۱/۷	۱/۹	۲/۲	۲/۵	۲/۹	۳/۵	۲/۴	۱/۶
۱۲/۵-۱۵	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۲/۶	۳/۰	۲/۲	۱/۴
۱۵-۱۷/۵	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۲/۶	۱/۹	۱/۲
۱۷/۵-۲۰	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۲/۳	۱/۶	۱/۰
۲۲-۲۲/۵	۰/۸	۱/۰	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۸	۲/۱	۱/۵	۰/۹
۲۲/۵-۲۵	۰/۷	۰/۹	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۷	۲/۰	۱/۴	۰/۸

منابع

Alami-Duranté, H. (1990) Growth of organs and tissues in carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Growth, Development and Aging,* 54, 109—I 16.

Ali, M. A. (1992) *Rhythms in Fishes.* New York, Plenum Press.

Altman, P. L. and Dittner, D. S. (1974) Nutrition, digestion and excretion. In: *Biologv Data Books,* 2nd ed., pp 1433—1446, Bethesda, Maryland.

Andrews, J. W. and Sick, L. V. (1972) Studies on the nutritional requirements of penaeid shrimps. In: *Proc. 3rd Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 402—414.

Aquacop (1977) Reproduction in captivity and growth of *Penaeus monodon Fabricius* in Polynesia. In: *Proc. 8th Annual Meeting World Mariculture Soc., 927—945.*

Aquacop (1978) Study of nutritional requirements and growth of *Penaeus merguiensis* in tanks by means of purified and artificial diets. In: *Proc. 9th Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 225—233.

Bauernfeind, J. C. (1981) *Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors.* Academic Press, New York.

Bell, M. V., Henderson, R. J. and Sargent, J. R. (1986) The role of polyunsaturated fatty acids in fish. *Cotnp. Biochern. Physiol.,* 83B, 711—719.

Bergot, F. (1979) Effects of dietary carbohydrates and of their mode of distribution on glycaemia in rainbow trout *(Salmo gairdneri* Richardson). *Comp. Biochem. Physiol.,* 64A, *543—547*

Bergot. P. (1981) Structure de l'appareil digestif. II. Structure et fonction des caeca pyloriqucs. In: Fontaine, M. (ed) *Nutrition des Poissons.* CNRS, Paris, *45-53.*

Bertin, L. (1958) Appareil digestif. In: Grassé. P-P. (ed.) *Trailé di' Zoologle. Anatomie, Si'steinauque, Biologic. Viii. Agnathes ci Poissoiis, hiScicule No. 2: Analomie, Ethologie. Si'sfrn?aiiquc.* Masson et ('ic, Paris. 1 248— 1302.

Blaxter, K. (1989) *Energy Metabolism in Animals and Man.* Cambridge University Press.

Boeuf, 0. (1987) Bases physiologiques de Ia salmoniculture: osmorégulation et adaptation a l'eau de mer. *La Piscicultur(' Franpaise,* 87, 28—41.

Bouroche, A. and Le Bars, M. (1996) *La Cuisson-E.vtru.cioi,.* Vocahulaire francais-anglaisallemand. INRA, Paris.

Brafield, A. E. (1985) Laboratory studies of energy budgets. In: Tytler, P. and Calow, P. (eds) *Fish Energetics. New Perspecilves.* Croom Helm, London, 257—281.

Brett, J. R. (1972) The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respir. Physiol.,* 14, 15 1—170.

Brett, J. **R.** (1976) *Feeding metabolic rates of young sockeye salmon,* Oncorhynchus nerka, *in relation to ration level and temperature.* Research Techniques *675,* Ministry of Environment, Fisheries and Science, Ottawa, Canada.

Brett, J. R. and Groves, T. D. D. (1979) Physiological energetics. In: Hoar, W. S. and Randall, D. J. (eds) *Fish Physiology.* Vol. III. Academic Press, London, 279—343.

Cahu, C., Cuzon, G. and Quazuguel, P. (1995) Effect of highly unsaturated fatty acid, alphatocopheol and ascorbic acid in broodstock diet on egg composition and development of *Penaeus indicus. Comp Biochem. Phv.siol.,* 11 2A, 417—424.

Cahu, C., Sévêre, A. and Quazuguel, P. (1988) *Variation de la composition en lipides de* Penaeus indicus *au cours de son développement larvaire.* ICES Annual Congress.

Carré, B. and Brillouet. J. M. (1989) Determination of water unsoluble cell walls in feeds: inter-laboratory study. *J. Assoc. Off Anna!. Chem.,* 72, 463-467.

Castell, J. D. and Tiews. K. (1980) *Rapport du groupe de travail de la CECPJ, de I'UISN el dii CIEM stir Ia norrnalisaiion de Ia mithodologie dons la recherche sur la nutrition des poissons.* United Nations Organisation for Food and Agriculture.

Ceccaldi, H. J. (1994) Appareil digestif: anatomic et physiologic. In: Grassé, P.-P. (ed.) *Traité de Zoologie. Anatomie, Sysrémarique, Biologie. VII. Cru,ctacés 1. Morphologie. Physiologie, Reproduction, Systématique.* Masson et Cie, Paris, 487—527.

Ceccaldi, H. J. (1998) A synopsis of the morphology and physiology of the digestive system of some crustacean species studied in France. *Rev. Fish. Science., 6,* 13—39.

Charlon, N. (1990) Technologie: automatisation de l'élevage larvaire en eau douce. *Aqua Revue,* 33, 19—22.

Charlon, N., Durante, H., Escaifre, A. -M. and Bergot, P. (1986) Alimentation artificielle des larves de carpe *(Cyprinus carplo* L.). *Aquaculture,* 54, 83—88.

Cho, C. Y. and Slinger, S. (1980) Effect of water temperature on energy utilization in rainbow trout *(Salino gairdneri).* In: *Proceedings of 8th Symposium on Energy MetabolLcm.* Butterworth, London, 287—291.

Cho. C. Y.. Kaushik, S. J. (1985) Effect of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. In: Cowey, C. B.. Mackie. A. M. (eds) *Nuirilion and Feeding in Fish.* Academy Press. London.

Cho, C. Y. and Kaushik, S. J. (1990) Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout. *World Review of Nutrition and Dietetics,* 61, 132—172. .

Cho, C. Y. (1992) Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimate of energy and protein requirement. *Aquaculture,* 100, 107—123.

Cho, C. Y. and Bureau, D. p. *(1995)* Determination of the energy requirements of fish with particular reference to salmonids. *J. AppI. Ichlyol.,* 11, 141—163.

Choubert, G. (1982) Method for colour assessment of canthaxanthin pigmented rainbow trout *(Salmo gairdneri). Sd. Alimenis,* 2, *451* --463.

Choubert, G., de Ia Noue, J., Luquet, P. (1983) Un nouveau collecicur autoniatique quantitatif de feces de poissons. *Bull. Fr. Piscic.,* 288, 68—72

Chotabert, G. *(1985)* Effects of starvation and feeding on canthaxanthin depletion in the muscle of rainbow trout *(Salmo gairdneri* Rich.). *Aquaculture,* 46, 293—298.

Choubert, G. and Storebakken. T. (1989) Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various carotenoid concentrations. *Aquaculture,* 81, 69—77.

Choubert, G. and Blanc, J. M. (1993) Muscle pigmentation changes during and after spawning in male and female rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss,,* fed dietary carotenoids. *Aquat. Living Resource,* 6, 163-168.

Choubert, G, Gomez, R. and Milicua, J.-C. G. (1994) Response of serum carotenoid levels to dietary astaxanthin and canthaxanthin in immature rainbow trout *Oncorhynchus mykiss. Comp. Biochem. Physiol.,* 109A, 1001-1006.

Colvin, L. B. and Brand, C. W. (1977) The protein requirement of penaeid shrimp at various life cycle stages in controlled environment systems. In: *Proc. 8th Annual Meeting World Mariculture Soc.,* 821—840.

Colonna, P. and Della Valle, G. (1994) *Cuisson-Extrusion.* Tec & Doc Lavoisier, Paris.

Combs, G. F. Jr. (1992) *The Vitamins — Fundamental Aspects in Nutrition and Hetilth.* Academic Press, San Diego.

Conklin. 11 E. (1977) Vitamins. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds.) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquacula'ure, Vol 6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge. LA, 123—149.

Corraze, G. (1994) Nutrition lipidique des poissons: importance et consequences. *La Pisciculture Françaice.* 117, *25—36.*

Cowey, C. B. and Sargent, J. R., (1972) Fish nutrition. *Ac/v. Mar. Riol.* 10, 383—492.

Cowey, C. B. and Walton, M. J. (1989) Intermediary metabolism. In: Halver, J. E. (ed) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego. 259—329.

Cowey, C. B. (1992) Estimating requirements of rainbow trout. *Aquacuuiure,* 100, 177—189.

Cousin, M., Cuzon, G., Blanchet, E., Ruefle, F. and AQUACOP (1993) Protein requirements following an optimum dietary energy to protein ratio for *Penacus vannami* juveniles. In: Kaushik, S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice,* INRA, Paris, 599—606.

Csavas, I. (1991) Physical and nutritional properties of aquafeeds. In: *Feed Production Tomorrow.* VICTAM, Asia, 2—19.

Cuzon, G. (1998) Nutritional review of *Penaeu.s stvllro.ctris. Reviews in Fisheries ScienceSpecial Issue,* 61, 129—141.

Cuzon, G. and Guillaume, J. (1997) Protein and energy. In: D'Abramo. 1. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds.) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculture, Vol 6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, 51 —70.

D'Abramo, L. R., Bordner, C. E. and Conklin, D. E. (1982) Relationship between dietary phosphatidylcholine and serum cholesterol in the lobster *Homarus* sp. *Mar. Biol.,* 67, 231—235.

D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (1997) (eds) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculture, Vol* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA.

Dall, W. and Moriarty, D. J. W. (1983) Functional aspects of nutrition and digestion. In: Mantel, L. H. *et al.* (eds.) *Internal Anatomy and Physiological Regulation.* Academic Press, New York, 215—261.

David, L. (1972) *Conduite et Eniretien des Presses.* La Jarrie.

David, L. and Lefumeux, J. (1972) *Pralique de Ia Compression el Techniques Nouvelles.* La Jarrie.

De Ia Noue, J.. Choubert, G., Pagniez, B.. Blanc, J. M., Luquct, P. (1979) Digestihilité *chcz* Ia truite arc—en—ciel *(Salnio gairdneri)* lors de l'adaplation I un nouveau régime alimentaire. *(Can. J. Fish Aquat. Sd..* 37, 2218—2224.

Dianzani, M. U. and Ugazio, G. (1978) Lipid peroxidation. In: Slater, T.F. (Ed.) *Biochemical Mechanisms of Liver Injury.* Academic Press, London, 669—707.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1984) Utilization of the yolk in rainbow trout alevins *(Salmo gairdneri* Richardson): effect of egg size. *Reprod. Nutr. Develop.,* 24, 449—460.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1985) Effet d'une alimentation précose ou retardée sur Ia croissance d'alevens de truites are-en-soleil *(Salmogairdneri)* issus d'oeufs de taille differ- ante. *Bull. Fr. Péche. Piscic.,* 2%, 17—28.

Escaffre, A.-M. and Bergot, P. (1990) Resorption du vitellus chez les alevins de truite commune *(Salmo lruua* L.) gardés a jeun ou nourris. *Bull. Fr. Péche Pi,scic.,* 317, 58—67.

Escaffre, A.-M., Bergot, P. and Szlaminska, M. (1989) Site of absorption of protein macromolecules in the intestine of carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae and rainbow trout *(Salmo gairdnerl* Rich.) fry. *Pol. Arch. HydrobioL,* 36, 263—271.

Fauconneau, B. (1983) La biosynthèse des protéines chez les poissons. *Ichtyophysio1ogica Acta, 7, 34—75.*

Ferraris, R. P., Ahearn, G. A. (1984) Sugar and amino acid transport in fish intestine. *Camp. Biochem, Phvsiol.,* 77A, 397--4 1 3.

Finn, R. N., Ronnestad, I. and Fynh, H. J. *(1995)* Respiration, nitrogen and energy metabolism of developing yolk-sac larvae of Atlantic halibut *(Hippoglossus Hippoglossus* L.). *Comp. Biochem. Physiol.,* l1lA, 647—671.

Fletcher, D. J. (1984) The physiological control of appetite in fish. *Coinp. Biochem. Physiol.,* 78A, 617—628.

Guillaume, J. (1996) Protein, and aminoacids. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nutrition: Advances in World Aquaculiure,* Vol *6.* World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, 26-50.

Garcia Gallego, M. (1987) Formulacion de dietas experimentales y piensos comerciales. In: Espinosa de los Monteros, J., Labarta, U. (eds) *Alimentacion en Acuicultura.* Industrias Grafica Espana, Madrid.

Gas, N., Noaillac-Depeyre, J. (1981) Structure (Ic I'apparcil digestil. 1. Organisation. ultra-structure ci fonction du tube digestif des telcosleens d'eau douce. In: Fontaine, M. (ed.) *Nuirlilon de.c Poissoizs.* CN RS, Paris, I 9 44.

Gatesoupe, F. J. (1994) Development of fish larvae and rearing conditions in hatcheries. In: Lahlou, B. and Vitiello, P. (eds.) *Coastal and Estuarine Studies. Aquaculture: Fundamental and Applied Research.* American Geophysical Union, Washington, DC, *159—172.*

Geurden, I., Radünz-Neto, J. and Bergot, p. (1995) Essentiality of dietary phospholipids for carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture,* 131, 303—3 14.

Giger, S. (1985) Revue sur les méthodes de dosage dc Ia lignine utilisées en alimentation animate. *Ann. Zootech.,* 34, 85—122.

Giger, S., Thivend, P., Sauvant, D., Dorleans, M. and Journaix, P. (1987) Etude de l'influence préalable de différentes enzymes amylolytiques sur la teneur en résidu NDJd'a1iments du bétail. *Ann. Zootech.,* 36, 39—48.

Goodwin, T. W. *(1952) The Comparative Biochemistry of the carotenoids.* Chapman and Hall, London.

Greene, D. H. S. and Selivonchick, D. p. (1987) Lipid metabolism in fish. *Prog. Lipid Rs.,* 26,*53—85.*

Gropp, .J. M., Tacon, A. G. J. (1994) *Rcport of the EIFAC(workshop on methodology for determination of nutrient requirement in fish.* El FAC Occasional Paper 29. FAO, Rome.

Guillaume, J. (1990) La nutrition des salmonidés. I — généralités, besoins qualitatifs. *La Pisciculture Française,* 100, *47—59.*

Guillaume. J. (1990) The nutritional characteristics and the formulation of diets for cultivated fish and crustaceans. In: Mellinger. J. (ed.), *Animal Nutrition and Transport Processes. Vol. 2. Nutrition in Wild and Domestic Animals,* Karger, Basle, pp. 203—214.

Guillaume, J. (1991) La nutrition des salmonidés. 11 — besoins quantitatifs. *La Pisciculture Française,* 103, 4—20.

Halver, J. E. (1972) The role of ascorbic acid in fish disease and tissue repair. *Jap. Soc. Sd. Fish,* 38, 79—92.

Halver, J. E. (1989) The vitamins: In: Halver, J. E. (ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press, San Diego, 31—109.

Hara, T. J. (1982) *Chemoreception in Fishes.* Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 8, Elsevier.

Heming, T. A. (1982) Effect of temperature on utilization of yolk by chinook salmon *(Oncorhynchus tshawytscha)* eggs and alevins. *Can. J. Fish Aquat. Sci.,* 39, 184-190.

Henderson, R. J. and Tocher, D. R. (1987) The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid. Re,c.,* 26, 281—347.

Hendriks, J. D. and Bailey, G. S. (1989) Adventitious toxins. In: 1-lalver, J. I. (ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press. San Diego. 605—651.

Houlihan, D. F. (1991) Protein turnover in ectotherms and its relationships to energetics. In: Gilles, R. (ed) *Advances in Comparative and Environmental Physiology, 7.* Springer-Verlag, Berlin, 1-43.

Houser, H. and Akiyama, D. M. (1997) Feed formulation principles. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. E. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture. Volume* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, *493—519*

Isler, 0. (1971) *Carotenoids.* Birkhaüser Verlag, Basel.

Jackson, A. A. (1983) Amino acids: essential or not essential? *The Lancel,* 1 8332, 1034—1036.

Jobling. M.. (Iwytlier. 0., Grove. 0. J. (1977) Sonic eflcc(s of temperature, meal size and body weight on gastric evacuation time *in* the dab *Limanda Iimtmda* (L.). .1. Fish Biol., 10, 291 -298.

Jobling, M., Arnessen, A. M., Baardvick, B. M., Christiansen, J. S., and Jørgensen, E. H. (1995) Monitoring feeding behaviour and food intake: methods and applications. *Aqua- culture Nutrition,* 1, 131—143.

Jones, D. A., Kamarudin, M. S. and Le Way, L. *(1985)* The potential for replacement of live feeds in larval culture. *J. World Aquaculture Society,* 24, 199—210.

Jones, D. A., Kamarudin, M. S. and Le Vay, L. (1993) The potential for replacement of live feeds in larval culture. *J. World Aquac. Soc.,* 24, 199—2 10.

Kamler, E. (1976) Variability of respiration and body composition during early developmental stages of carp. *Pal. Arch. Hydrobiol.,* 23, *431—485.*

Kamler, *F.* (1992) *Early Ljfe History of Fish: An Energetic Approach.* Chapman and Hall, London.

Kamler, E., Szlaminska, M., Kuczynski, M., Hamackova, J., Kouril, J. and Dabrowski, R. (1994) Temperature-induced changes of early development and yolk utilization in the African catfish *Clarias gariepinus. J. Fish Biol.,* 44, 311—326.

Kanazawa, A., Shimana, M., Kawasaki, M. and Kashiwada, K. 1. (1970) Nutritional requirements of prawn. I. Feeding on artificial diet. *Bull. Jap. Soc. Sd. Fisk,* 36, 949—954.

Kanazawa, A., Teshima, S.-I. and Ono. S. (1979) Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and the capacity for hioconversion of linolenic acid to highly unsaturated fatty acids. *Comp. Biochem. Phv.ciol.*. 63B, 295—298.

Kanazawa, A., Teshima, S-I. and Sakamoto, M. *(1985)* Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholids on growth and survival of prawn *(Penaeus japonicus)* larvae. *Aquaculture,* 50, 39—49.

Kanazawa, A. (1990) Protein requirements of shrimp. In: *Advances in Tropical Aquacuhure.* IFREMER, Plouzané, 26 1—270.

Kanazawa, A. (1993) Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: Kaushik. S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice.* INRA, Paris, 519—530.

Kaushik, S. J. (1980) Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp *(Crprinus carpio* L.) and the rainbow trout *(Sahno gairdneri* R.). *Repr. Nuir. Develop.*, 20. 1751—1765.

Kaushik, S. J. and Médale, F. (1994) Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture,* 124, 8 1—97.

Kearns, J. P. (1988) Preparation of fish and shrimp feeds by extrusion. In: Applewhite, T. H. (ed.) *Proceedings of World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Food and Animal Feedstuffs.* AOCS, Champaign, 111, 152—161.

Kearns, J. P., Huber, G. H., Dominy, W. G. and Freeman, D. W. (1988) Properties of extrusion cooked shrimp feeds containing various commercial binders. Presented at World Aquaculture Society 19th Annual Conference. 4—8 January 1988, Waikiki. Hawaii

Koshlo, S., Teshima, S.-I., Kanazawa, A. and Watase, T. (1993) The effect of dietary protein content on growth, digestion efficiency and nitrogen cxcretion of juvenile kuruma prawns, *Penáeusjaponicus. Aquaculture,* 113, 101—114.

Larbier, M. and Leclercq, B. (1992) Les matiéres premieres utilisées en aviculture. In: *Nutrition et Alimentation des Volailles.* INRA, Paris, 255—301.

Lall, S. P. (1989) The minerals. In: Halver, J. E. (ed.) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego. 219—257.

Laplace. J. P.. C'orring. T, Rérat, A.. Demarne, Y. (1986) Digestion. In: Perez, 1. M.. Mornet, P., Rérat, A (eds) *Le Porc et son Elevuge. Buses Scientifiqucs et Techniques.* Malotne, Paris, 1 120.

Lapierre. D. (1979) *La Formulation des Ailments des Animaux. cycles Apprqfondi d'Alimenta110,1 Animale.* INA-PG, Paris.

Larbier, M. and Lecierq, B. (1992) Modélisation des besoins et formulation des ailments. In: *Nutrition et Alimentation des Voiailles.* INRA, Paris.

Lee, 0. C. (1971) Studies on the protein utilization related to growth of *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture,* 1, 119—211.

Legrow, S. M., Beamish, F. W. H. (1986) Influence of dietary protein and lipid on apparent heat increment of feeding of rainbow trout, *Salmo gairdneri. Can. J. Fish. Aqua!. Sd.,* 43, 19—25.

Le Grusse, J. and Watier, B. (1993) *Les Vitamines. Données Biochimique.c, Nuiritionnelles el Cliniques.* Centre d'Etudes et d'Information sur les Vitamines. Produits Roche, Neuilly sur Seine.

L.e Moullac, G. and Van Wormhoudt, A. (1994) Adaptation of digestive enzyme to dietary protein, carbohydrate, and fibre levels and influence of protein and carbohydrate quality in *Penaeus vannamei* larvae (Crustacea, Decapoda). *Aquat. Living Resour., 7,* 203—210.

Lend, R., Ngre-Sadargues, G. and Castillo, R. (1978) Les pigments caroténoides chez les crustacés. *Arch. Zoo!. Exp. Géné.,* 119, 297—334.

Liener, I. E. (1980) *Toxic Constituents of Plant Foodstuff.* Academic Press, New York.

Liu, F., Liang, D., Sun, F., Li, H. and Lan, X. (1990) Effects of copper on the prawn *Penaeus orientalis. Oceanol. Limnol. Sinica,* 21, 404—410.

Love, R. M. (1980) *The ('heinical Biology of Fishes.* Vol. 2. Academic Press. London.

Lovett, D. L. and Felder, D. L. (1990) Ontogenic change in digestive enzyme activity of larval and postlarval white shrimp *Penaeus setiferus* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). *Biol. Bull.,* 178, *144—159.*

Melcion, J-P., Guillaume, J.. Méhu, J., Métailler, R. Cuzon. 0. (1983) Prépa ration d'aliments pour animaux marins par cuisson-extrusion. *Rev.Alim. Anim.,* 371, 26—31.

Mommsen, T. P. and Plisetskaya E. M. (1991) Insulin in fishes and agnathans: history, structure and metabolic regulation. *Rev. Aquatic Sd., 4,* 225—259.

Muller-Feuga, A. (1990) *Modélisation de Ia croissance des poissons en elevage.* Scientific and Technical Report 21, IFREMER, Plouzané, France.

Nagayarna. F., Saito, Y. (1968) Distribution of amylase and β-glucosidase and β—galactosi—dase in fIsh. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 34, 944 949.

National Research Council (NRC) (1993) *Nutrient Requirements of Fish.* National Academy Press, Washington D.C.

Osse, J. W. M. (1990) Form changes in fish larvae in relation to changing demand of function. *Neil,. J. Zool.,* 40, *362—385.*

Quantz, G. *(1985)* Use of endogenous energy sources by larval turbot *Scophthalmus maximus. Trans. Am. Fish Soc.,* 114, *558—563.*

Palmer, T. N. and Ryman, B. E. (1972) Studies on glucose intolerance in fish. *J. Fish Biol.* 4,311—319.

Panserat, S., Médale, F., Bun, C., Brèqu, J., Vachot, C., Plagne-Juan, E., Gomes, E., Krishnamoorthy, R., Kaushik, S. J. (2000) Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout. gilthead seabream and common carp. *Am. J. Physiol.,* 278: R1164—R1 170.

Perez, J. M., Mornet, P., Rérat, A. (1986) *L' Pore ci son LIei'age. Bases Scientifiques et Techniques.* Maloin, Paris.

Person-Le Ruyet, J., Alexandre, J. C., Thébaud, L. and Mugnier, C. (1993) Marine larvae feeding: formulated diets or live prey? *J. World Aquac. Soc.,* 24. 211—224.

Person-Le Ruyet, J., Fisher, C. and Thébaud, L. (1993) Sea bass *(Dicenirarchus labrax)* weaning and ongrowing onto Sevbar. In: Kaushik, S. J. and Luquet, P. (eds.) *Fish Nutrition in Practice.* INRA, Paris, 623—628.

Philippeau, G. (1984) *Puissance dune expérience Nombre de répcti!ions nécessaires pour comparer deux ou plusleurs Iraitements.* ITCF, Paris.

Pike, I. H. and Hardy, R. W. (1997) Standards for assessing quality of feed ingredients. In: D'Abramo, L. R., Conklin, D. F. and Akiyama, D. M. (eds) *Crustacean Nuirit ion:Advances in World Aquaculiure, Vol* 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA. 475—492.

Radůrnz-Neto, J., Corraze, G., Charlon, N. and Bergot, P. (1994) Lipid supplementation of casein-based purified diets for carp *(Cyprinus carpio* L.) larvae. *Aquaculture,* 128, 153—161.

Sargent, J., Henderson, R. J. and Tocher, D. R. (1989) The lipids. In: Halver, i.E. (Ed.) *Fish Nutrition.* Academic Press. San Diego, 153—218.

Schumacher, A., Gropp, J., Tacon, A. G. J., Huge, V. and Rosenthal. H. (eds)(1995) Proceedings of the EIFAC workshop on methodology for determination of nutrient requirements in fish. *J. App!. Jchthvol.,* 11, 129-400

Segner, *J.,* Storch, V., Reinecke, M., Kloas, W. and Hanke, W. (1994) The development of functional digestive and metabolic organs in turbot, *Scophihalmus maximus. Mar. Biol,*119, 471—486.

Sheridan, M. A. (1988) Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilisation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90B, 679—690.

Shewbart, K. J. and Mies, W. I. (1973) Studies on nutritional requirements of brown shrimp: the effect of linolenic acid on growth of *Penaeus aziecus.* In: *Proc. 4th Annual Meeting World Mariculture Soc.*, 277—287.

Shiau. S. Y. (1989) Role of fibre in fish feed. In: Shiau, S.-Y. (ed.) *Progress in Fish Nutrition. Proceedings of the Fish Nutrition Si'mposium.* Keelung, Taiwan. ROC, 6—7 September 1989.

Shiau, S. Y. and Huang, S. L. (1989) Optimal dietary protein level for hybrid pilapia *(Oreochromis nh/oticus x 0. aureus)* reared in sea water. *Aquaculture,* 81, 119—127.

Slater, T. F. (1972) *Free Radical Mechanism in Tissue Injury.* Pion Ltd. London.

Smith, L. S. (1989) Digestive functions in teleost fishes. In: Halver. J. E. (Cd.) Fish *Nutrition.* Academic Press, San [)iego, 331 421.

Spyridakis. P.. Metailler, R.. Gabaudan, J., Riaza, A. (1989) Studies on nutrient digestibility in European sea bas *(Dicenirarchus labrax).* I. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture, 77.* 61 70.

Stevens, B. R. (1992) Vertebrate intestinal apical membrane mechanisms of organic nutrient transport. *Ann. J. Phrcio/* 263. 458 463.

Tacon, A. G. J. and Cowey C. B. (1985) Protein and amino acid requirements. In: Tytler, P, and Calow, P. (eds) *Fish Energetics. New Perspectives.* Croom Helm, London, 155—183.

Takeuchi. T., Watanabe, T. and Ogino, C. (1979) Digestibility of hydrogenated fish oil in carp and rainbow trout. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 45, 1521—1525.

Talbot, C. (1993) Some aspects of the biology of feeding and growth in fish. *Proc. Nuir. Soc.,* 52, 403—416.

Tan. R. K. H. (1988) Pelleting for aquaculture feeds. In: Applewhite, T. H. (ed.) *Proceedings of World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Food and A nimal Feedstuffs. AOCS,* Champaign. II, 162—166.

Tandler, A., Berg, B. A., Kissil, G. W. and Mackie, A. M. (1982) Effects of food attractants on appetite and growth rate of gilthead seabream, *Sparus aura'a* L. *J. Fish Biol.,* 20, 676—681.

Teshima, S. I., Kanazawa, A. and Sakamoto, M. (1982) Microparticulate diets for the larvae of aquatic animals. *Mine Review Data File Fisheries Research,* 2, 67—86.

Teshima, S.-1., Kanazawa, A., Sasada, H. and Kawasaki, H. (1982) Requirements of the larval prawn *Penaeus japonicus* for cholesterol and soybean phospholids. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.,* 31, 193--199.

Teshima, S.-I. and Kanazawa, A. (1984) Effects of protein, lipid, and carbohydrate levels in purified diets on growth and survival rates of the prawn larvae. *Bull. Jpn. Soc. Sd. Fish,* 50, 1709—1715.

Teshima, S.-I., Kanazawa, A. and Koshio, S. (1993) Recent developments in nutrition and microparticulate diets of larval prawns. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh,* 45, 175—184.

Tytler, P. and Calow, P. *(1985) Fish Energetics. New Perspectives.* Croom Helm, London.

Uys, W.. Hecht, T. (1987) Assays on the digestive enzymes of sharptooth catfish, (larias gariepinus *(Pisces. C/uric/ac). Aquaculture,* 63, 301 3 I 3.

Van Wormhoudt, A. and Bellon-Humbert, C. (1991) Bases biologiques de Ia culture des crustacés. In: Barnabé, .G. (ed.) *Bases Biologiques el Ecologiques de l'Aquaculture.* Lavoisier, Paris. 212—270.

Verigina, I. A. (1991). Basic adaptation of (he digestive system in bony lishes as a function of diet. *J. Ichi vol.,* 31. 8—21).

Vernier, J. M., Sire, Nil. F. (1989) L'absorption intestinale des proteines sous Forme macromoleculaire chez les vertebrés. Implications physiologiques. *Année Biologiques,* 28. 255 288.

Verreth, J. (1994) Nutrition and related ontogenetic aspects in larvae of the African catfish, *Clarlas lazera.* Thesis, University of Wageningen.

Walton, M. J. and Cowey, C. B. (1982) Aspects of intermediary metabolism in fish. *Comp. Biochem. Physiol.,* 73B, *59—79.*

Watanabe, T. (1982) Lipid nutrition in fish. *Comp. Biochem. Physiol.,* 73B, 3—15.

Watanabe, T. and Kiron, V. (1994) Prospects in larval fish dietetics. *Aquaculture,* 124, 223— 251.

Westertep-Plantenga, M. S.. Sleflens, A. B., and Tremblay. A. (1999) Regulation of food intake and energy expenditure. Milan: DRA.

Wilson, R.P (1989) Amino acids and protein. In: Halver, J. E. (ed) *Fish Nutrition,* 2nd edition. Academic Press, San Diego, 111—151.

Wilson, R. P. and El Naggar, 0. (1992) Potassium requirement of fingerling channel catfish, *Ictalurus punctarus. Aquaculiure,* 108, 1 69—1 75.

Wilson, R. P. (1994). Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture,* 124. 67—80.

Woodward, B. (1994) Dietary vitamin requirements of cultured young fish, with emphasis on quantitative estimates for salmonids. *Aquaculture,* 124, 133—168.

Yufera, M., Fernandez-Diaz, C. and Pascual, E. (1995) Feeding rates of gilthead seabream *(Sparus aurala)* larvae on microcapsules. *Aquaculture,* 134, 257—258.

Zambonino Infante, J. L. and Cahu, C. (1994) Development and response to a diet change of some digestive enzymes in sea bass *(Dicenirarchus labrax)* larvae. *Fish Physiol. Biochem.,* 12, 399-408.

فهرست اختصارات و لغات تخصصی

آمینو اسید	AA
نیازهای مطلق یا نیازهـای مـرتبط بـا حیـوان، بـرای مثـال، مقـدار در روز(فصل۲)	absolute requirements
مسیرهای جذب	Absorption routs
عبور (مواد مغذی) از دیواره روده(فصل ٤)	Absorption
افزایش در وزن جزئی از یک ارگانیسم، برای مثال، پروتئین ها در طول رشد	accretion
یکی از فرآیندهای جذب مواد مغذی(فصل ٤)	active transport
فیبر دترژنت اسیدی (فصل ۸)	ADF
آدنوزین دی فسفات	ADP
خصوصیت ارگانیسم هایی که آمونیاک را بـه عنـوان نیتروژنـی اصـلی حاصل از متابولیسم پروتئین تولید می کنند.	Ammonotelic
آدنوزین مونوفسفات	AMP
عوامل ضد تغذیه ای	antinutritional factors
در آناتومی، نزدیک به راس(سر)	apical
یکی از تعاریف ضریب بهره وری گوارشی(فصل٤)	apparent digestibility coefficient (ADC)
تمایل حیوان به مصرف غذا	appentence
از سخت پوستان ابتدایی(آبشش پایان) از جنس *Artemia* که به عنـوان غذای زنده در آبزی پروری استفاده می شود (فصل ۱۳)	artemia
غذای ساختنی	Artificial food
آدنوزین تری فسفات	ATP
جاذب ها	Attractants
این اصطلاح در مورد مواد مغذی هضم نشده (هیدرولیز شـده)م بکـار می رود(فصل ۲)	Availability
ترکیبات همبند	Binding agents
تغییر شکل یک مولکول توسط موجود زنده، مثل فرآیند افزایش طول و غیر اشباع شدن PUFAs در علم تغذیه(فصل ۷)	Bioconversion
برآورد کمی وزن کل موجودات زنده در مقایسه با کـل یـا بخشـی از یک جمعیت	biomass
وزن بدن (اصطلاحی که در این کتاب به جـای body weight بـه کـار رفته است)	body mass
یک جنس از شاخه روتیفرا که در سطح وسیع به عنوان غذای زنـده در آبزی پروری استفاده می شود(فصل ۱۳)	*Brachionus*
آمینواسیدهای منشعب	Branched amino acids

سلول های گوارشی سطح روده میانی با تعداد زیادی میکروپرز (فصل ٤)	brush border
شناوری	buoyancy
ارزش بیولوژیکی (یک پروتئین) : درصد نیتروژن غذایی مصرف شده برای رشد و نگهداری بدن (فصل ٦)	BV
دریافت شیمیایی	Chemoreception
پوشش دار کردن	Coating
ضریب بهره وری هضم	Coefficient of DigestiveUtilization (CDU)
در علم آمار به ارتباط بین واریانس و میانگین اتلاق شده و به صورت درصد بیان می شود (فصل ۲)	Coefficient of variation(CV)
ترکیب غذایی حاصل از چند جزء سازنده	Compound feed
گرفتن غذا از محیط	Consumption
زیر رده ای از سخت پوستان، از انواع زئوپلانکتون ها (فصل ۱۳)	Copepod
فیبر خام اندازه گیری شده به روش Weende (فصل ۸)	Crude fibre
پروتئین برآورد شده از طریق محتوای نیتروژنی (N×٦/٢٥)	Crude protein
خرد کردن	Crumbling
نرخ رشد روزانه، ضریب مورد استفاده در رسم منحنی رشد(فصل ۲)	daily growth rate
انرژی قابل هضم (فصل ۵)	DE
شاخص رشد روزانه	DGI
غذا یا جیره غذایی	Diet
جیره غذایی	Dietary
نرخ نسبی هضم پذیری غذا (فصل ٤)	digestibility
قابلیت هضم یک ماده غذایی	digestible
غده ای در بسیاری از بی مهرگان از جمله سخت پوستان با عملکردهای مختلف خصوصاً جذب و هضم (فصل ۱۵)	digestive gland
بهره وری غذایی در دستگاه گوارش (از هضم تا جذب)(فصل ۲)	digestive utilisation
در آناتومی، دورتراز انتهای قدامی و مقابل proximal	distal
پروتئین های قابل هضم	DP
بخش قدامی روده کوچک	Duodenum
آمینو اسیدهای ضروری(فصل ٦)	EAA
(واژه مترادفpoikilothermy). حیوانات بدون مکانیسم تنظیم دمای داخلی بدن (دمای داخلی آنها نزدیک به دمای محیط است)	Ectothermy
زیر شاخه ای از Chondrichthyes	Elasmobranch
نفوذ مولکول ها به داخل سلول پیش از هیدرولیز(فصل ٤)	Endocytosis
مرحله تغذیه داخلی	Endotrophic phase
مصرف انرژی	Energy expenditure
غنی سازی	Enrichment
سلول تشکیل دهنده بخشی از دیواره روده(فصل ٤)	Enterocyte
مقدار گرما (فصل ۵)	enthalpy

مواد‌ی که موجود زنده قادر به سنتز آنها نیست و باید در جیره غـذایی گنجانده شوند (مانند آمینواسید، اسیدهای چرب) (فصل ۲)	essential
ارگانسیم های قادر به تنظیم اسمزی در دامنه وسیع شوری	euryhaline
ارگانیسم های قادر به تحمل دامنه وسیع حرارتی	eurythermic
فرآیند تخلیه مواد زائد ناشی از کاتابولیسم (فصل۷)	Excess
مقادیر اضافی	Excretion
مرحله تغذیه خارجی	Exotrophic phase
پخت به روش اکستروژن	Extrusion cooking
اسید چرب	FA
یکی از مکانیسم های مرتبط با جذب مواد مغذی (فصل ٤)	facilitated diffusion
مدفوع	Faeces
ارتباط بین تولید و مصرف غذا برای ارزیابی عملکرد جیره های غذایی (معمولا به صورت افزایش وزن بدن)(فصل ۲)	feed conversion efficiency
نسبت بین غذای خورده شده به تولید(معمولا به صورت افزایش وزن بدن)	feed conversion ratio (FCR)
کربوهیدرات های غیر قابل هضم (فصل ۸)	fibre
ترکیبات پرکننده	Filling agents
زنجیره ای از موجودات زنده در سطوح غذایی متوالی در یک اکوسیستم بطوریکه در ابتدای زنجیره تولید کننده های اولیه، سپس علفخواران و در آخر گوشتخواران قرار دارند.	Foodchain
جنین آزاد	Free embryo
پرورش و نگهداری یک موجود زنده تا رسیدن به اندازه برداشت	growing out
ضریب رشد	Growth Coefficient (GC)
غده اصلی گوارشی در سخت پوستان و صدف داران	hepatopancreas
روده خلفی	Hindgut
اسیدهای چرب به شدت غیر اشباع	HUFA
بخش میانی روده کوچک	ileum
اندازه گیری غیر مستقیم انرژی حرارتی رها شده در جریان تبادلات تنفسی موجود زنده (فصل ٤)	indirect calorimetry
مصرف غذا	Ingestion
همه غذاها به جز غذای زنده	inert feed
مواد خام یا سایر ترکیبات تشکیل دهنده غذاهای ساختنی	ingredient
مصرف (با اصطلاح جذب اشتباه نشود)	intake
بخش میانی روده کوچک، بین ileum وduodenum	jejunum
هر عامل زیست محیطی که در سطحی زیر سطح اپتیمم وجود داشته و موجود زنده را از رسیدن به سطح کاملی از پتانسیل بیوتیک خود باز می دارد	limiting factor
غذای زنده	Live prey
مولکولی که پس از هضم مواد مغذی تولید می شود (فصل ۲)	Macronutrient

فرآیندی تضمین بقاء موجود زنده بدون هیچ گونه مواد و ترشحات دفعی	Maintenance
نیازهای نگهداری	Maintenance requirments
انرژی قابل سوخت و ساز	ME(Metabolised energy)
سیر متابولیک	Metabolic flux
بهره وری غذا درون موجود زنده (تجمع، تغییر و تبدیل زیستی، کاتابولیسم و غیره) (فصل ۲)	metabolic utilisation
تکنیکی که پرورش لارو ماهی یا سخت پوستان را از طریق تغذیه با جیره های ساختنی تسهیل می کند؛ شامل تولید یک جیره میکرو با اندازه مناسب حاوی اجزاء سازنده غذای نظیر مخمر که توسط یک غشا یا چسب کپسول دار می شوند.	Microencapsulation
روده میانی	Midgut
نیاز مواد معدنی	Mineral requirements
بهره وری	Mobilization
سازمانی آمریکایی که کمیسون های تخصصی آن استاندارهای مربوط به تغذیه حیوانات را منتشرمی کنند	National Research Council (NRC)
اولین مرحله لاروی اکثر سخت پوستان (فصل ۱۶)	nauplius
فیبر دترژنتی خنثی	NDF
انرژی پایه (فصل۵)	NE
آمینواسیدهای غیر ضروری(فصل۶)	NEAA
مصرف پروتئین خالص	Net protein utilisation
معیار توصیف بهره وری پروتئین کل (فصل ۵)، بخشی از پروتئین (نیتروژن) نسبت به کل پروتئین مصرف شده که توسط حیوان در بدن ذخیره می شود.	net protein value (NPV)
کل کربوهیدرات برآورد شده که از طریق تفاضل کل مواد آلی و مجموع پروتئین ها، لیپیدها و فیبرهای خام به دست می آید.	nitrogen-free extracted
ماده ای که غذا را تامین می کند	Nutrient
سطوحی از مواد مغذی مورد نیاز برای بهترین عملکرد یک حیوان (فصل ۲)	nutritional requirements
مری	Oesophagus
عوامل استروژنی	Oestrogenic factors
تاریخچه تکامل	Ontogeny
عناصر ریز مغذی کمیاب	Oligo- elements
ویژگی یک غذا که منجر به ایجاد اشتها در حیوان می شود	palatibility
یکی از مکانیسم های مرتبط با جذب ماده مغذی (فصل ٤)	passive diffusion
فرآیند اکسیداسیونی موثر بر برخی اسیدهای چرب (فصل ۷)	Peroxidation
اغلب با endocytosis مترادف بوده اما در جذب مایعات دخالت دارد	pinocytosis
فسفولیپید	PL
پست لارو n روزه	PLn

مترادف با ectothermy	Poikilothermy
آلاینده ها	Pollutants
محدوده (دما، شوری و غیره) ایجاد کننده بهترین شرایط برای یک گونه	preferendum
اصطلاح تخصصی مربوط به شروع دوره پرواربندی قبل از انتقال حیوان به واحدهای اصلی پرواربندی	pre-grow out
ذخیره انرژی موجود در مواد آلی توسط یک ارگانیسم، جمعیت یا جامعه	production
نسبت افزایش وزن بدن به پروتئین (فصل ٦)	protein efficiency ratio (FER)
ارزش پروتئین تولیدی	Protein Productive Value (PPV)
ضریب مصرف پروتئین	Protein Utilization Coefficient (PUC)
در آناتومی، نزدیک به انتهای پیشین	proximal
اسیدهای چرب چند غیر اشباعی (فصل ۷)	PUFA
غذای تولید شده از عناصر خالص شده از طریق آنالیزهای ویژه	purified diet
ضریبی که توسط آن نرخ فرآیند بیوشیمیایی یا فیزیولوژیکی (برای مثال فعالیت آنزیمی) به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتیگراد دما، افزایش می یابد	Q_{10}
مقدار غذای داده شده	ration
برقراری یا تعیین جیره ها. ضرورتا به معنی محدود شدن غذا نیست(فصل ۲۲)	rationing
نیازهایی که نسبت به غذا بیان می شوند (برای مثال، به صورت درصد)(فصل ۲)	relative requirements
تعداد گروههایی که در یک آزمایش تحت تیمار مشابه قرار می گیرند	replication
نیازهای تولید مثل	Reproduction requirements
اختلاف بین جذب و دفع در یک حیوان، با بازدهی مثبت	Retention
نوزاد دارای کیسه زرده	Sac fry
فعالیت دینامیکی ویژه (بهره گرمایی در فصل ۵ ملاحظه شود)	SDA
از زیر شاخه های ماهیان غضروفی شامل کوسه ها و سپرماهیان	Selachii
ترشح	Secretion
برای توصیف یک ماده مغذی مهم که صرفا توسط موجود زنده از ماده مغذی ضروری سنتز می شود	semi-essential
ضریب تعیین کننده منحنی رشد (فصل ۲)	specific growthrate (SGR)
موجودات زنده ای که در یک دامنه محدودی از شوری قادر به زندگی هستند	stenohaline
پایداری	Stability
موجودات زنده ای که در دامنه محدودی از دما قادر به زندگی هستند	stenotherm
نگهداری	Storage

اصطلاحی که برای توصیف وجود مواد رسوبی در آب محیط پـرورش استفاده می شود	suspended solid
تری آسیل گلیسرول (نام جدید تری گلیسریدها)	TAG
چرخه تری کربوکسیلیک اسید	TCA cycle
بزرگترین گروه از ماهیان استخوانی متعلق به زیر رده Actinopterygii	Teleostei
عناصر کمیاب	Trace elements
اسیدهای چرب اشباع نشده	Unsaturated fatty acids
مواد زائد حاصل از متابولیسم پروتئین مثل اوره و اسید اوریک	urotelic
تغییر پذیری	Variability
مصرف ارادی غذا	Voluntary intake
افزایش وزن	Weight gain
ذخیره زرده	Yolk

فهرست اسامی متداول و علمی گونه‌های مذکور در کتاب

South Pacific anchovy, South American anchovy	*Engraulis ringens*
European eel	*Anguilla anguilla*
Japanese eel	*Anguilla japonica*
Artemia, brine shrimp	*Ariemia sahna*
Atipa	*Hoplostermurn littorale*
Ayu	*Plecoglossus altivelis*
Sea bass	*Dicentrarchus labrax*
Striped bass	*Morone* sp.
Tropical sea bass	*Lales calcarjfer*
Brill	*Scophthalmus rhombus*
Smailmouth	*Micropterus dolomieui*
Largemouth	*Micropterus salmoides*
Pike	*Esox* sp.
Capeli n	*Malltotus villosus*
Goldfish	*Carassius carassius*
Silver carp	*Hypophtalmichrhys molitrix*
Common carp	*Cyprinus carpio*
Grass carp	*Crenopharyngodon idella*
Indian major carp	*Catta catta*
Sculpin	*Coitus* sp.
Giant fresh water shrimp (prawn)	*Macrobrachiurn rosenbergii*
White fish	*Coregonus* sp.
Fiddler crab	*Uca pugilator*
Blue shrimp (prawn)	*Penaeus vannamei*
Common prawn	*Palacmon serratus*
Chinese shrimp (prawn)	*Penaeus chinensis (orientalis)*
Indian shrimp (prawn)	*Penaeus indicus*
Japanese shrimp (prawn)	*Penaeus japonicus*
Tiger shrimp (prawn)	*Penaeus monodon*
Red sea bream	*Chrysophrys major*

Gilthead sea bream	*Chrysophrys aurata*
European crayfish (crawfish)	*Astacus fluviatilis*
Haddock	*Gadus eglefinus*
Smelt	*Osmerus* sp.
Stickleback	*Gasterosteus aculeatus*
White sturgeon	*Acipenser transmontanus*
Siberian sturgeon	*Acipenser baeri*
FIounder	*Platichthys flexus*
Halibut	*Hypoglossus* sp.
(Japanese) puffer	*Fugu* sp.
Herring	*Clupea harengus*
Japanese flounder	*Paralichihys olivaceus*
American lobster	*Homarus americanus*
Knit	*Euphasia superba*
Sand eel	*Ammodytes tobianus*
Saithe	*Pollachius virens*
Dab	*Limanda limanda*
Blue ling	*Mova dypterygia* or *M.byrkelange*
M ackerel	*Scomber* sp.
Medaka	*Oryzias latipes*
Menhaden	*Brevoortia* sp.
Hake	*Merluccius* sp.
Grouper	*Epinephelus* sp.
Cod	*Gadus morhua*
Mullet	*Mugil* sp.
Grayling	*Thymallus thymallus*
Red drum	*Scianops ocellatus*
Couch’s sea bream	*Pagrus pagrus*
Perch	*Perca flu viatilis*
Plaice	*Pleuronectes platessa*
African catfish	*Clarias gariepinus*
Channel catfish	*Ictalurus punctatus*
Milk fish	*Chanos chanos*

Skate	*Raja* sp.
Yellow pickerel	*Stizostedion vitreurn*
Pilcharcl, sardine	*Sardina pitchardus*
American. South African, Japan plichard	*Sardinops* sp.
Pacific salmon	*Oncorhynchus* sp.
Sockeye salmon	*Oncorhynchus gorbuscha*
Coho salmon	*Oncorhynchus kisutch*
Atlantic	*Salmo salar*
Chum sa	*Oncorhynchus keta*
Chinook	*Oncorhynchus tshawytscha*
Red fish	*Sehastes* sp.
Cuttlefish	*Sepia* sp.
Yellowtail	*Seriola quinqueradiata*
Sheatfish	*Silurus glanis*
Sprat	*Sprauus sprattus*
Dover sole	*Solea solea*
Pout	*Trisopterus luscus*
Zilli tilapia	*Tilapia zilli*
Blue tilapia	*Oreochromis aureus*
Mozambique tilapia	*Oreochromis mozambicus*
Nile tilapia	*Oreochromis niloticus*
Rainbow trout	*Oncorhynchus mykiss* (ex. *Salmo gairdneri)*
Brown trout	*Salmo trutta*
Turbot	*Scophthalmus maximus*