

راهکارهای افزایش قابلیت هضم چربی در آبزیان با تأکید بر ماهیان خاویاری

فاطمه فداکار ماسوله^{۱*}، علینقی سرپناه^۲، محمود محسنی^۱، اسماعیل حسین نیا^۱، علیرضا عاشوری^۱

۱- انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵-۳۴۶۴

۲- مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، تهران، ایران

*نویسنده مسئول: Fadakarfatemeh62@gmail.com

چکیده

در انتخاب مواد تشکیل دهنده ی خوراک آبزیان، نه تنها مقدار اقلام برای تنظیم یک رژیم متعادل، بلکه کیفیت آن‌ها نیز ضروری است. ترکیب این مواد مغذی می تواند مستقیماً بر قابلیت هضم خوراک تأثیر بگذارد. قابلیت هضم نیز به نوبه خود بر تغذیه، سلامت، رشد و نمو آبزیان تأثیر می گذارد. به منظور حفظ بهره وری و کاهش هزینه های تولید، بهترین راهبرد، افزایش قابلیت هضم در آبزی پروری است. قابلیت هضم نه تنها بر اساس نوع خوراک، بلکه با توجه به نوع گونه و نحوه ی پرورش ماهی نیز می تواند متفاوت باشد. آگاهی از مفاهیم و پیشرفت‌های جدید در بازار تولید خوراک آبزیان بهترین راه برای بهینه کردن جایگزینی هوشمندانه و پایدار مواد تشکیل دهنده خوراک و فرمولاسیون آن می باشد و در نهایت بازدهی بهتری نیز حاصل خواهد شد. یکی از راهکارهای اصلی در کاهش هزینه ی خوراک آبزیان در حالی که بهترین کارایی را داشته باشد کاهش میزان پروتئین و افزایش میزان چربی در چارچوب رعایت نسبت های پروتئین به انرژی در جیره است. این افزایش میزان چربی همواره با افزودن مکمل هایی همراه است که آبزیان را در تسهیل هضم چربی یاری می رساند. در این مطالعه سعی بر آن است تا علاقمندان به حوزه علوم آبزی پروری و تغذیه آبزیان، با نمونه هایی از افزودنی های تسهیلگر هضم چربی در خوراک آبزیان آشنا شوند و بر غنای مدیریت آبزی پروری بیفزایند.

کلمات کلیدی: خوراک آبزیان، هضم چربی، آنزیم، امولسیفایر

بیان مسئله

با گسترش تولید جهانی آبی پروری، تقاضا برای مصرف آبزیان رو به افزایش است. روند افزایشی تقاضا نسبت به عرضه، منجر به بالا رفتن قیمت برخی از اقلام اساسی موجود در خوراک آبزیان شده که در نهایت موجب افزایش هزینه‌ی تمام شده‌ی خوراک خواهد شد. در میان اجزا خوراک، پروتئین‌ها گرانترین هستند. بنابراین، کاهش هزینه پروتئین جیره یکی از راهکارهای موثر برای مقابله با چالش افزایش قیمت خوراک است. برای دستیابی به این هدف، می‌توان دو استراتژی در نظر گرفت: اول کاهش سطح گنجاندن پروتئین در خوراک آبزیان از طریق افزایش استفاده از منابع انرژی غیر پروتئینی شامل چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها تحت عنوان "اثر حفاظت از پروتئین" و دوم جایگزینی منابع پروتئینی ارزشمند مثل پودر ماهی با پروتئین‌های گیاهی ارزان قیمت می‌باشد (Wen et al., 2022). البته استفاده بیش از حد از پروتئین‌های گیاهی در رژیم غذایی موجب بروز عوارض جانبی همچون کاهش عملکرد رشد، کاهش بازدهی خوراک، اختلال در متابولیسم لیپیدها و عملکرد کبد که عمدتاً به عوامل ضد تغذیه‌ای در مواد غذایی گیاهی نسبت داده می‌شود، خواهد شد. بنابراین، باید در مصرف آن احتیاط لازم صورت گیرد. احتیاجات تغذیه‌ای ماهیان در اندازه‌ها و مراحل مختلف زندگی متفاوت است. از آنجایی که، پروتئین‌ها به عنوان بلوک‌های ساختمانی پایه برای رشد محسوب می‌شوند، طبیعتاً ماهیان کوچکتر احتیاجات پروتئینی بیشتری از ماهیان بزرگتر داشته و میزان پروتئین بالا در جیره بچه ماهی و انگشت قد بدین معناست که قیمت خوراک نسبت به خوراک‌های دوره رشد و پایدانی که پروتئین کمتری دارند، گرانتر است. همچنان که احتیاجات پروتئینی ماهی در طی رشد کاهش می‌یابد، احتیاجات انرژی در جیره در حال افزایش تدریجی است. از اینرو، برقراری تعادل بین پروتئین و

انرژی جیره یکی از مسائل حیاتی در استفاده مطلوب از پروتئین خواهد بود. در شیوه‌های جدید فرمول نویسی آبزیان، استفاده از پروتئین صرفاً برای رشد، تولید بافت و برخی فعالیت‌های بیولوژیک و استفاده از چربی و کربوهیدرات‌ها بعنوان منابع عمده تامین انرژی در نظر گرفته می‌شوند (Houa et al., 2019).

۱- منابع انرژی در خوراک آبزیان

منابع تامین انرژی در ماهیان را می‌توان به ۳ گروه پروتئین-ها، چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها تقسیم بندی نمود. ماهی‌ها ترجیحاً از پروتئین به جای لیپیدها یا کربوهیدرات‌ها به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کنند. اسیدهای آمینه عملکردهای متعددی در ماهی دارند. آشناترین نقش اسیدهای آمینه به عنوان بلوک‌های سازنده پروتئین‌ها است. سنتز پروتئین می‌تواند ۲۰ تا ۴۲ درصد از انرژی مصرفی ماهی در حال رشد را بخود اختصاص دهد. حدود ۸۵ درصد از گونه‌های ماهیان گوشتخوار هستند و برای رشد مطلوب نیاز به سطوح پروتئینی بسیار بالا (۳۰ تا ۵۵ درصد) در رژیم غذایی خود دارند. کارایی تبدیل پروتئین جیره به پروتئین بافتی در ماهیان تا ۲۰ برابر بیشتر از مرغ، خوک و گاو گزارش شده است (Fry et al., 2018). البته مفهوم کارایی تبدیل پروتئین جیره به پروتئین بافتی تا حدودی متناقض است. زیرا ماهی‌ها به شدت به اسیدهای آمینه به عنوان منابع انرژی متکی بوده و از پیش سازهای پروتئین‌ها بعنوان تامین انرژی استفاده می‌کنند. چندین فرضیه برای توضیح این موضوع مطرح شده است. مطمئناً دفع مستقیم آمونیاک به عنوان محصول نهایی متابولیسم نیتروژن از نظر انرژی مطلوب‌تر از صرف انرژی برای تبدیل آن به اشکال با سمیت کمتر مانند اوره یا اسید اوریک است. همچنین اکسیداسیون مستقیم اسیدهای آمینه موجود در رژیم غذایی از هزینه‌های انرژی سنتز مولکول‌های ذخیره شده مانند

گلوکز و لیپیدها برای استفاده‌های بعدی جلوگیری می‌کند. از نظر انرژی، عملکرد اصلی اسیدهای آمینه به عنوان بسترهای کاتابولیک برای تأمین ATP در فرآیندهای بیومکانیکی، سنتز و انتقال است. اسیدهای آمینه ۱۴ تا ۸۵ درصد انرژی مورد نیاز ماهی‌های استخوانی (Van Waarde, 1983) و ۱۰ تا ۴۰ درصد انرژی در گونه‌های غیر استخوانی مانند ماهیان خاویاری (Dabrowski et al., 1987) را تأمین می‌کنند. در ماهی قزل‌آلای رنگین کمان، ۳۵ تا ۴۰ درصد از اسید آمینه لوسین اکسید شده و بقیه به پروتئین تبدیل می‌شود. این میزان کاتابولیسم بطور قابل ملاحظه‌ای (۲۰٪) بالاتر از پستانداران است (Fauconneau and arnal, 1985). چربی‌ها، درشت مغذی‌های حیاتی هستند که ماهی‌ها برای حفظ سلامتی و رشد از طریق متابولیسم اسیدهای چرب، ویتامین‌های محلول در چربی، غشاهای چربی و تری گلیسیرید به آن‌ها نیاز دارند. لیپیدها در جیره در مقایسه با پروتئین به عنوان منبع انرژی ارزان‌تر شناخته می‌شوند و به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تغذیه‌ای موثر بر رشد و عملکرد ماهی در نظر گرفته می‌شوند. در برخی از مطالعات گزارش شده که افزایش چربی رژیم غذایی می‌تواند به طور متناسب نیاز ماهی به پروتئین را کاهش دهد. نیاز ماهیان خاویاری به اسیدهای چرب خاص به نقش‌های عملکردی متفاوت آنها و اینکه آیا ماهی می‌تواند آنها را به صورت درون‌زا سنتز کند یا خیر، بستگی دارد. ماهی قادر است تمامی اسیدهای چرب را به عنوان منابع انرژی ذخیره کند. اما برخی از اسیدهای چرب چند غیراشباع با زنجیره بلند، دارای برخی نقش‌های اساسی در متابولیسم هستند. ماهیان خاویاری برای رشد، کسب انرژی و سایر فعالیت‌های فیزیولوژیکی به سطوح مناسب چربی در رژیم غذایی نیازمندند. سطوح چربی جیره برای ماهیان خاویاری بر اساس مرحله زندگی، منبع مواد تشکیل دهنده و شرایط پرورش متفاوت است.

همچنین سطوح چربی جیره می‌تواند تحت تأثیر سطوح پروتئین و کربوهیدرات جیره که قادر به تأمین انرژی مورد نیاز ماهی هستند نیز باشد. افزایش نسبت کارایی پروتئین و وزن ماهی با افزایش چربی جیره در محدوده مناسب گزارش شده است. استفاده از رژیم‌های غذایی پرچرب علاوه بر اثرات صرفه جویی در پروتئین به منظور کاهش ضایعات نیتروژن نیز صورت می‌گیرد (Boujard et al., 2004). از آنجایی که، ماهیان گوشتخوار با مصرف چربی بعنوان منبع انرژی بخوبی تطابق یافته‌اند، میزان گنجاندن سطوح چربی در جیره می‌تواند همزمان با رشد ماهی افزایش یابد. بنابراین، کمبود انرژی حاصل از کاهش منابع پروتئینی، با منابع چربی جایگزین شده، جبران شده و سطوح انرژی جیره و خوراک می‌تواند در همان مقدار باقی مانده یا اضافه شوند. اما در ماهیان همه چیز خوار و علفخوار، کربوهیدرات در جیره بعنوان جایگزین‌های چربی برای تأمین منابع انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعنوان مثال، در خوراک ماهی کپور، زمانی که پروتئین جیره با افزایش وزن ماهی کاهش می‌یابد، میزان چربی در جیره همچنان ثابت باقی مانده، اما میزان کربوهیدرات جهت جبران کمبود انرژی حاصل از کاهش پروتئین افزایش داده می‌شود. در آبی‌زی پروری انتخاب درست خوراک که منطبق با اندازه و مرحله‌ی مناسب زندگی ماهی باشد، بسیار حائز اهمیت است. انتخاب خوراک صحیح کارایی آن را مطلوب کرده، رشد و بازگشت اقتصادی را به همراه خواهد داشت. اما انتخاب ناصحیح، برای مثال اختصاص دادن خوراکی با درصد پروتئین بالا که برای ماهی انگشت قد تهیه شده، به یک ماهی بزرگتر، رشد بیشتر و افزایش خروجی بیشتر را به دنبال نداشته، بلکه به سادگی افزایش هزینه تولید و آلودگی محیط زیست را همراه داشته و یا مصرف طولانی مدت رژیم غذایی با میزان چربی بالا یا کربوهیدرات فراوان اغلب باعث تجمع غیرعادی لیپید کبدی و اختلال متابولیک

برای حل مشکلات خوراک‌های با چربی بالا، تسهیل هضم و بمنظور جلوگیری از رسوب بیش از حد چربی، مکمل‌های بسیاری در بازار موجود می‌باشد. این مکمل‌ها توانایی تنظیم بیان غیر طبیعی ژن‌های کلیدی درگیر در متابولیسم چربی را نیز دارند. در ادامه به چند گزینه از مهمترین مکمل‌ها اشاره می‌شود:

افزودن آنزیم لیپاز

لیپازها آنزیم‌های هیدرولیتیک استر کربوکسیلیک هستند که به طور متوالی پیوندهای استری تری گلیسیرید را هیدرولیز نموده تا گلیسرول و اسیدهای چرب را تشکیل دهند. لیپازها و فسفولیپاز A2 دو نوع آنزیم لیپولیتیک هستند که بیشتر در متابولیسم ماهی مورد مطالعه قرار گرفته اند. لیپازها فعالیت متابولیک ماهی را افزایش داده و نقش مهمی در تعدیل بافت چربی در ماهی داشته و در نهایت بر عملکرد لاشه و کیفیت گوشت گونه‌های ماهی پرورشی تأثیر می‌گذارند. حفره دهانی لارو ماهیان اغلب حاوی لیپاز بوده و ماهیان نوجوان توانایی بهتری در هضم فسفولیپیدها نسبت به تری گلیسیریدها دارند. از آنجایی که، ارتباط لیپاز پانکراس در ماهیان نوجوان با سطح گوارشی تری گلیسیرید رژیم غذایی غیر خطی است بنابراین، لیپازها می‌توانند به عنوان یک جزء مهم خوراک برای افزایش سطح هضم چربی اضافه شده به خوراک مد نظر قرار گیرند. مطالعات بر روی لیپازها به عنوان یک آنزیم اگزوزن (برون‌زا) اضافه شده به خوراک ماهی و اثرات آنها بر عملکرد ماهی نسبتاً کم است و عمدتاً با استفاده از مخلوط با سایر آنزیم‌ها (تحت عنوان مولتی آنزیم) انجام می‌شود. افزودن آنزیم لیپاز به جیره ماهی خاویاری گونه *Huso huso* منجر به افزایش ضریب رشد ویژه (SGR) و افزایش وزن نهایی، همچنین افزایش میزان اسیدهای چرب ضروری امگا ۳ (EPA) و (DHA) در ماهیان تغذیه شده با آنزیم نسبت به ماهیان شاهد

چربی شده و در نتیجه بر رشد و وضعیت سلامت آبزیان تأثیر می‌گذارد. ماهیان خاویاری از جمله ماهیان پرورشی در سطح جهان می‌باشند که با توجه به سطح تروفیک بالا در هرم غذایی، از دیرباز پودر ماهی با پروتئین بالا یکی از مواد اولیه اساسی موجود در جیره آنان بوده است. نتایج در مطالعات مختلف روی ماهیان خاویاری، به وضوح نشان داده که این نوع ماهی‌ها می‌توانند از لیپیدها به طور مؤثرتری نسبت به کربوهیدرات‌ها به عنوان منابع انرژی استفاده کنند (Williot et al., 2018). این ماهیان قطعاً به منابع اسیدهای چرب امگا تری EPA و DHA در جیره‌ی غذایی خود نیازمند بوده و لاروهای حاصل از ماهیان مولدی که از این منابع چربی تغذیه کرده باشند ماندگاری و رشد بهتری خواهد داشت. امروزه، تأکید بر اصل آبی پروری پایدار، متخصصین تغذیه و جیره نویسی آبزیان در سرتاسر جهان را بر آن داشته تا فرمول‌هایی را با سطح چربی بالاتر در جیره‌ی ماهیان خاویاری با فرض اثرات صرفه جویی پروتئین طراحی کنند. بطوریکه گنجاندن منابع چربی در جیره‌های تجاری رشد (قطر ۳ تا ۶ میلیمتر) تا ۲۳ درصد نیز افزایش یافته است. رژیم‌های غذایی با چربی بیشتر معمولاً منجر به ذخیره بیشتر چربی در قسمت‌های مختلف بدن نسبت به رژیم‌های غذایی با سطوح چربی پایین‌تر می‌شوند. رسوب چربی در قسمت‌های مختلف بدن مشابه نیست. مقدار زیادی چربی ممکن است در احشاء، کبد و یا تخمدان ذخیره شده و منجر به کاهش عملکرد رشد ماهیچه (Jobling et al., 1998)، اختلال در عملکرد کبد (Sargent et al., 1989)، سرکوب سیستم ایمنی و در نهایت، تولید خاویار با کیفیت پایین در مولدین گردد (Van Eenennaam et al., 2004).

۲- راهکارهای تسهیل و افزایش هضم چربی در جیره

محسوب می شود (Wee et al., 2023). لسیتین سویا با غالبیت فسفاتیدیل کولین و به دنبال آن فسفاتیدیل اتانول آمین و فسفاتیدیل اینوزیتول منبع عالی فسفولیپیدها و اسیدهای چرب برای آبزیان محسوب می شود. اجزای فسفولیپیدی لسیتین سویا که عمدتاً در خوراک آبزیان به عنوان یک عامل امولسیون کننده محسوب شده، یک لایه محافظ در اطراف قطرات چربی موجود در خوراک تشکیل می دهد. از این رو، پایداری خوراک را بهبود بخشیده و سرعت شستشوی ویتامین ها و مواد معدنی محلول در آب را کاهش می دهد. لسیتین سویا با کاهش اندازه ذرات چربی و افزایش سطح آن قابلیت دسترسی آنزیم های گوارشی برای تجزیه لیپیدها به مولکول های کوچک تر را بیشتر نموده و به دنبال آن قابلیت هضم را افزایش می دهد. این خصوصیت به ویژه در گونه های ماهی گوشتخوار که برای رشد بهینه به سطح بالایی از لیپیدهای غذایی نیاز دارند، اهمیت دارد. فسفولیپیدها برای حفظ ساختار غشای زیستی و تشکیل اندامک های سلولی، نسبت به لیپیدهای خنثی به عنوان منبع اصلی انرژی در مراحل اولیه زندگی ماهیان ارجحیت دارند (Gisbert et al., 2005). کمبود فسفولیپید در جیره لارو ماهی به دلیل سنتز ناکافی کیلومیکرون و کاهش فعالیت اختصاصی لیپاز باعث ایجاد رسوب نابجای چربی در انتروسیت های روده می شود (Cai et al., 2016). همچنین فسفولیپیدها در ممانعت از جذب کلسترول از طریق دستگاه گوارش موثر گزارش شده اند (Rampone and Machida, 1981). در مطالعه ای که توسط Hung سال ۱۹۸۸ صورت گرفت، لسیتین سویا را حاوی مواد نایاب بهبود دهنده ی رشد ماهیان خاویاری اعلام نمودند، اما بلافاصله در سال بعد پژوهشی انجام شد و لزوم مصرف قطعی لسیتین را در خوراک ماهی خاویاری سفید (*Acipenser transmontanus*) رد نموده و حضور کولین کلراید در جیره را نسبت به استفاده از لسیتین سویا ارجح

گردید (Ghomi et al., 2012). علاوه بر افزودن لیپاز آگروژن به خوراک ماهی، افزودن مقدار زیادی لیپاز تولید شده توسط تخمیر میکروبی نیز یک راه موثر برای ترویج تجزیه لیپید در خوراک ماهی است. مخمر *Yarrowia lipolytica* پرمصرف ترین میکروارگانیسم در حال حاضر بوده و ثابت شده وقتی به غذای ماهی اضافه شود، در تقویت رشد ماهی موثر می باشد اضافه شدن این مخمر به جیره به طور قابل توجهی باعث افزایش سرعت رشد و وزن بدن تاسماهی روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*) همچنین افزایش غلظت EPA و DHA در ماهیچه شده که نشان دهنده پیشرفت میزان مواد مغذی و طعم ماهیان پرورشی است. لیپاز همچنین با افزایش قابلیت هضم چربی و تولید اسید های چرب زنجیره متوسط می تواند بر متابولیت های باکتریایی روده تأثیرگذار بوده و سلامت روده را بهبود بخشد.

استفاده از امولسیفایرها

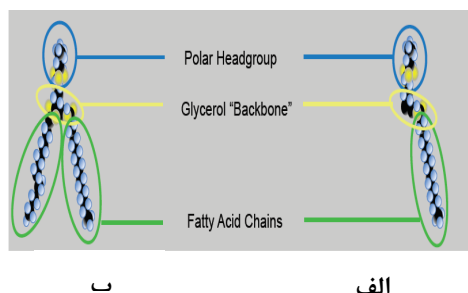
مولکول های فعال سطحی با دو بخش محلول در آب (آب دوست) و محلول در چربی (لیپوفیل) هستند که می توانند در سطح مشترک روغن و آب جذب شوند. ترکیب این دو بخش در یک مولکول به امولسیفایرها این امکان را می دهد تا به خوبی در لیپید و آب حل شده و به مخلوط کردن این دو بخش کمک کنند. این اختلاط منجر به تشکیل قطرات کوچک چربی و میسل ها برای هضم و جذب بیشتر می شود. امولسیفایرها از این طریق امکان عملکرد موثرتر آنزیم های لیپاز را نیز افزایش می دهند.

به چند امولسیفایر که عمدتاً در صنعت خوراک آبزیان استفاده میشوند اشاره می گردد:

افزودن فسفولیپید (لسیتین)

لسیتین سویا به علت عملکرد چند وجهی خود در ساختار خوراک بعنوان یک جزء ضروری در خوراک آبزیان

چربی لاشه و کاهش فعالیت آنزیم‌های تریپسین و پپسین گردیده است (Jafari et al., 2024).



شکل ۱- ساختار لیزو فسفولیپید (الف) و فسفولیپید (ب)
(Lin et al., 2021)

استفاده از اسیدهای صفراوی

صفرا مجموعه‌ای از مولکول‌های آمفی پاتیک (مولکول‌های دارای سر آبدوست و دم آبگریز) است که در کبد از کلسترول سنتز شده و در کیسه صفرا ذخیره می‌شود. رایج‌ترین اسید صفراوی و الکل به ترتیب اسید کولیک و سیپرینول است. صفرا حاوی ۰/۴ تا ۰/۵ درصد چربی از جمله اسیدهای چرب، کلسترول و فسفولیپیدها نیز می‌باشد. صفرا به دلیل وجود بیلی روبین (زرد) و بیلیوردين (سبز)، به رنگ زرد متمایل به سبز است (Hofmann et al., 2010). دو راه اصلی که نمک‌های صفراوی هضم لیپید را بهبود می‌بخشند، عبارتند از (۱) خاصیت امولسیون‌کنندگی که موجب تشکیل میسل‌ها می‌شود. بنابراین با کاتالیز کردن هیدرولیز پیوندهای استری، سطح بالاتری را برای لیپاز و هضم لیپیدها فراهم می‌کند (۲) فعال کردن لیپاز فعال شده با نمک صفراوی که عملکرد امولسیون، هضم و جذب چربی را تقویت می‌کند. هضم چربی یک فرآیند پیچیده بوده و دارای ۳ مرحله اصلی امولسیون، گوارش و جذب می‌باشد (wang and hartsock, 1993). در مرحله اول، در

دانستند. تاثیر لستین سویا در جیره غذایی ماهی خاویاری گونه ازون برون (*Acipenser stellatus*) بر افزایش رشد، فعالیت‌های فاگوسیتوزی و لیزوزیمی و وضعیت سلامت ماهی مثبت ارزیابی شد. همچنین در پژوهشی دیگر تاثیر لستین سویا در جیره ی ماهی خاویاری ازون برون بررسی و در نتیجه افزایش میزان غذای خورده شده، افزایش بازدهی خوراک، توسعه ی ترشح آنزیم‌های گوارشی و کاهش تجمع چربی در کبد گزارش شد (Jafari et al., 2021). در ماهی خاویاری سیبری (*Acipenser baeri*) تغذیه شده با ۷/۵ درصد لستین سویا در جیره غذایی، افزایش وزن، افزایش رشد ویژه، بهبود ضریب تبدیل غذایی، شاخص وضعیت و ضریب کارایی پروتئین مشاهده شد (Najafipour et al., 2011).

افزودن لیزو فسفولیپید

تفاوت ساختاری فسفولیپیدها و لیزوفسفولیپیدها در تعداد اسیدهای چرب موجود در ساختار دم آنهاست. دو دم اسید چرب موجود در ساختار مولکول لستین موجب ایجاد خاصیت لیپوفیلیک شده و آن را تبدیل به عامل امولسیون کننده‌ی کارآمد در امولسیون آب در روغن تبدیل می‌کند. اما یک امولسیون کننده ضعیف برای شرایط روغن در آب محسوب می‌شود (شکل ۱) (Lin et al., 2021). لیزو فسفولیپیدها در اثر هیدرولیز آنزیمی کنترل شده فسفولیپیدها به دست می‌آیند که طی این فرآیند یکی از دنباله‌های اسیدهای چرب حذف می‌شود. از آنجایی که، لیزو فسفولیپیدها در هر مولکول تنها یک باقیمانده اسید چرب دارند، آبدوست‌تر از فسفولیپیدها بوده و پتانسیل بیشتری به عنوان امولسیفایر روغن در آب در دستگاه گوارش دارند. تاثیر افزودن لیزوفسفولیپید یک درصد در جیره غذایی ماهی ازون برون نوجوان موجب افزایش رشد، افزایش میزان پروتئین و

طول امولسیون، چربی توسط اسیدهای صفراوی با هر دو گروه آبدوست و آبگریز به قطرات کوچکی امولسیون شده و به بزرگ شدن سطح تماس بین چربی و لیپاز کمک می‌کند. در مرحله دوم، اسیدهای صفراوی عملکرد لیپاز را فعال ساخته، به هیدرولیز قطرات چربی به اسیدهای چرب، گلیسرین و مونوگلیسرید کمک نموده و در مرحله‌ی جذب، اسید چرب زنجیره کوتاه می‌تواند مستقیماً در روده جذب شود. در حالی که اسید چرب زنجیره بلند به اسیدهای صفراوی متصل شده و میسل‌های مخلوط را تشکیل می‌دهد. این میسل‌ها هنگام تماس با پرزهای روده شکسته شده، اسید چرب بلند زنجیره به اپیتلیوم روده جذب گشته و اسیدهای صفراوی نیز از طریق گردش خون روده‌ای به کبد باز می‌گردند. اسیدهای صفراوی همچنین نقش مهمی در هضم مواد مغذی، جذب ویتامین محلول در چربی و ساختار میکروارگانیسم های روده ایفا می‌کنند. علاوه بر نقش تثبیت شده آنها در جذب چربی رژیم غذایی و هموستاز کلسترول، اسیدهای صفراوی اخیراً به عنوان مولکول‌های سیگنالی شناخته شده و می‌توانند گردش خون روده ای-کبدی و همچنین تری گلیسرید، کلسترول، انرژی و هموستاز گلوکز را تنظیم کنند (Houten et al., 2006). اسیدهای صفراوی تحت عنوان بایل اسید در بازار افزودنی‌های آبزیان به صورت پودری محلول در آب و یا محلول در چربی یافت می‌شود. اخیراً اسیدهای صفراوی به عنوان یک مکمل غذایی برای بهبود عملکرد رشد و وضعیت سلامتی در ماهی و میگوهای پرورشی به ویژه زمانی که تغذیه با یک رژیم غذایی غیر بهینه با پودر ماهی کم یا با پروتئین گیاهی بالا و یا با چربی بالا (Yang et al., 2023) صورت گیرد، مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه ای که توسط Li و همکاران (۲۰۲۴) صورت گرفته است، محدوده بهینه دوز مصرفی اسیدهای صفراوی در جیره غذایی را ۶۰ تا ۱۸۸/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم برای

ماهی‌های آب شیرین با سطح تروفیک (غذایی) پایین، ۹۸۹/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم برای ماهی‌های آب شیرین تروفیک متوسط، ۴۳۷/۴۳ تا ۷۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای ماهی های دریایی با تروفیک متوسط و ۳۷۵/۲۸ تا ۳۹۴۶/۵۹ میلی گرم بر کیلوگرم برای ماهی‌های دریایی با سطح تروفی بالا پیشنهاد داده است. این محدوده‌ی مصرف را می‌توان به طول روده ماهی نیز نسبت داد. به طور کلی، در سطح تغذیه‌ای بالاتر، ماهی روده کوتاه‌تری داشته و ممکن است منجر به نرخ بازیافت و بازجذب کمتر اسیدهای صفراوی در قسمت خلفی روده شود. بنابراین، اسیدهای صفراوی اگر وزن بیشتری برای ماهی‌های سطح تروفیک بالاتر مورد نیاز است. بایل اسید با تحریک تکثیر سلول‌های کبدی، آسیب کبدی حاصل از استرس اکسیداتیو و التهاب کبدی را نیز کاهش می‌دهد. تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با اثرات مثبت اسیدهای صفراوی در جیره غذایی ماهیان مختلف گوشت‌خوار و همه چیز خوار صورت گرفته است. اما در مورد ماهیان خاویاری در زمان نگارش این متن گزارشی رسماً به چاپ نرسیده و تنها درمان سندروم کبدی صفراوی در ماهی خاویاری به همراه عفونت باکتریایی ثانویه در روده با مخلوط آنتی بیوتیک و بایل اسید درمان و گزارش شده است (Ong, 2019). در داده های چاپ نشده‌ای که توسط برخی کارخانجات تولید کنندهی خوراک در داخل کشور انجام شده نیز کاهش چربی گنادی در مولدین ماهی خاویاری سیبری و کیفیت بهتر خاویار استحصالی را تحت اثر تغذیه با اسید صفراوی گزارش نموده اند.

توصیه ترویجی

۱ - بنظر می‌رسد با کمک تسهیلگرهای هضم چربی که به تفصیل توضیح داده شد، در جهت مقاصد آبی‌پروری پایدار و ممانعت از هدر رفت منابع پودر ماهی براحتی می‌توان با افزایش میزان روغن گیاهی در محدوده‌ی معین،

Dabrowski, K. Kaushik, S. J. Fauconneau, B. (1987). Rearing of sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) larvae III. Nitrogen and energy metabolism and amino acid absorption. *Aquaculture* 65: 31-41.

Fauconneau, B. Amal M. (1985). Leucine metabolism in trout (*Salmo gairdneri* R.). Influence of temperature. *Comp. Biochem. Physiol.* 82A: 435-445.

Fry, J.P., Mailloux, N.A., Love, D.C., Milli, M.C. and Cao, L., (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13(2), p.024017.

Ghomi, M.R. Shahriari, R. Langroudi, H.F. Nikoo, M. von Elert, E. (2012). Effects of exogenous dietary enzyme on growth, body composition, and fatty acid profiles of cultured great sturgeon *Huso huso*. fingerlings. *Aquaculture* 20:249-254

Gisbert, E. Villeneuve, L. Zambonino-Infante, J.L. Quazuguel, P. Cahu, C.L. (2005). Dietary phospholipids are more efficient than neutral lipids for long-chain polyunsaturated fatty acid supply in European sea bass *Dicentrarchus labrax* larval development. *Lipids*. 40:609-18.

Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K. and Strugnell, J.M., 2019. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth*, 1(3), pp.316-329.

Houten, S.M. Watanabe, M. Auwerx, J. (2006). Endocrine functions of bile acids. *The EMBO journal*. 25(7): 1419-1425.

Hofmann, A. F. Hagey, L. R. Krasowski, M. D. (2010). Bile salts of vertebrates: structural variation and possible evolutionary significance. *Journal of lipid research*. 51(2): 226-246.

Hung, S.S. Lutes, P.B. (1988). A preliminary study on the non-essentiality of lecithin for hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture*. 68(4):353-360.

Jafari, F. Noori, F. Agh, N. Estevez, A. Ghasemi, A. Alcaraz, C. Gisbert, E. (2021). Phospholipids improve the performance, physiological, antioxidative responses and, lpl and igf1 gene expressions in juvenile stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Aquaculture*. 541. p.736809.

کسب انرژی ماهیان از جمله ماهیان خاویاری را بسمت استفاده از چربی بعنوان منبع اصلی انرژی سوق داده و کارایی استفاده از پروتئین را تا حد امکان افزایش داد.

۲- افزودن چربی به خوراک آبزیان علاوه بر گنجاندن در فرمولاسیون خوراک از طریق اسپری روی خوراک صورت می گیرد، اما اسپری روغن مبحث لیچینگ و یا تراوش روغن از خوراک به آب را تقویت نموده لذا امروزه با توسعه تکنولوژی صنایع ساخت دستگاه های پاشش روغن در خلاء (وکیوم کوتر)، پس از فرآیند پخت اکستروژن که روغن در خلاء روی خوراک اسپری شده و پس از رفع شرایط خلاء، قطرات روغن در فضاهای متخلخل خوراک نفوذ می نماید. لدر نتیجه امکان پس زدن روغن از خوراک به آب به حداقل رسیده و همچنین میزان آلودگی آب نیز کاهش خواهد یافت حتی میتوان از اقلام جایگزین مثل پودر چربی برای جلوگیری از تراوش روغن استفاده نمود.

۳- لازم به ذکر است افزودن درصد چربی خوراک با توجه به نوع گونه ی ماهی، سطح تروفی و حداکثر تحمل ماهی نسبت به چربی در شرایط مختلف پرورشی مثلاً دما، کاملاً متفاوت است. بنابراین، میزان دوز مورد نیاز تسهیلگرهای هضم هم متفاوت بوده، و لزوم مطالعات برای بررسی دوز مناسب این مواد افزودنی در گونه های مختلف و اوزان مختلف وجود خواهد داشت.

منابع:

Boujard, T. Gélineau, A. Covès, D. Corraze, G. Dutto, G. Gasset, E. Kaushik, S. (2004). Regulation of feed intake, growth, nutrient and energy utilization in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed high fat diets. *Aquaculture* 231: 529-545.

Cai, Z. Feng, S. Xiang, X. Mai, K. Ai, Q. (2016). Effects of dietary phospholipid on lipase activity, antioxidant capacity and lipid metabolism-related gene expression in large yellow croaker larvae (*Larimichthys crocea*). *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*. 201:46-52.

- Beamish FWH, McKinley RS (eds) Sturgeons and Paddlefish of North America. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 284–287.
- Van Waarde, A. (1983).** Aerobic and anaerobic ammonia production by fish. *Comp. Biochem. Physiol.* 74B. 675-684.
- Wang, C.S. and Hartsuck, J.A., (1993).** Bile salt-activated lipase. A multiple function lipolytic enzyme. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*, 1166(1), pp.1-19.
- Wee, W. Téllez-Isaías, G. Abdul Kari, Z. Cheadoloh, R. Kabir, M.A. Mat, K. Mohamad Sukri, S.A. Rahman, M.M. Rusli, N.D. Wei, L.S. (2023).** The roles of soybean lecithin in aquafeed: a crucial need and update. *Frontiers in Veterinary Science*. 10. p.1188659.
- Wen, C. Ma, S. Tian, H. Jiang, W. Jia, X. Zhang, W. Jiang, G. Li, X. Chi, C. He, C. Liu, W. Zhang, D. (2022).** Evaluation of the protein-sparing effects of carbohydrates in the diet of the crayfish. *Procamburus clarkii*. *Aquaculture* 556. 738275.
- Jafari, F. Agh N. Noori F. Gisbert E. Mozanzadeh M.T. (2024).** Supplementing lysolecithin in corn-oil based diet enhanced growth and improved body biochemical composition in juvenile stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Animal Feed Science and Technology*. 310:115945.
- Jobling, M. Koskela, J. Savolainen, R. (1998).** Influence of dietary fat level and increased adiposity on growth and fat deposition in rainbow trout. *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquac Res* 29:601–607.
- Jobling, M. (2012).** National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp: The National Academies Press. Washington. DC. 2011. ISBN: 978-0-309-16338-5.
- Li, L. Liu, T. Li, J. Yang, Y. Liu, H. Zhang, P. (2024).** Effectiveness of bile acids as a feed supplement to improve growth performance. feed utilization. lipid metabolism. digestive enzymes. and hepatic antioxidant status in aquaculture animals: A meta-analysis. *Aquaculture Reports*. 36. p.102121.
- Lin, Y.H. Dehasque, M. Nuez-Ortín, W.G. (2021).** Lyso-phospholipid supplementation to replace lecithin and improve growth performance in Pacific white shrimp.
- Najafipour Moghadam, E. Falahatkar, B. Kalbassi, M.R. (2011).** Effects of lecithin on growth and hematological indices in juveniles of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri* Brandet).
- Ong, M. (2019).** The treatment of hepatobiliary syndrome with bile acids. <https://www.linkedin.com/pulse/treatment-hepatobiliary-syndrome-bile-acids-michelle-wang/>
- Rampone, A. J. Machida, C. M. (1981).** Mode of action of lecithin in suppressing cholesterol absorption. *J Lipid Res*. 22:744–52.
- Sargent, J.R. Henderson, R.J. Tocher, D.R. (1989).** The lipids. In: Halver JE (ed) *Fish nutrition*. 2nd edn. Academic Press. New York. pp. 153–209.
- Van Eenennaam, J.P. Chapman, F. Jarvis, P. (2004).** *Aquaculture*. In: LeBreton GTO.

The strategies to increase fat digestion with emphasis on Sturgeon fish

*Fatemeh Fadakar Masouleh^{*1}, Alinaghi Sarpanah², Mahmoud Mohseni¹, Esmail Hosseinnia¹, Alireza Ashouri¹*

- 1- International Sturgeon Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
- 2- Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

*Corresponding author: fadakarfatemeh62@gmail.com

Abstract

In selecting aquatic feed ingredients, both the quantity and quality are essential for establishing a balanced diet. The composition of these nutrients directly influences the digestibility of the feed, which in turn affects the nutrition, health, growth, and development of aquatic animals. To maintain productivity and reduce production costs, increasing digestibility is a key strategy. Digestibility can vary not only based on the type of feed but also according to the species and the methods used in fish farming. Staying informed about new concepts and developments in the aquatic feed production market is crucial for optimizing the intelligent and sustainable replacement of feed ingredients and their formulations, ultimately leading to improved efficiency. One effective strategy to reduce the cost of aquatic feed while maintaining optimal efficiency is to decrease the protein content and increase the fat content, all while adhering to appropriate protein-to-energy ratios in the diet. This increase in fat content is typically accompanied by the addition of supplements such as enzymes and emulsifiers, which aid aquatic animals in digesting fats more effectively. In this study, we aim to introduce several common feed additives that play a significant role in enhancing fat digestion within the digestive tracts of aquatic animals.

Keywords: Fish Feed, Fat digestion, Enzyme, Emulsifier.