

نقش لارو حشرات در تغذیه آبزیان با تاکید بر ماهیان خاویاری

آرش لبریا^{۱*}، ذبیح اله پزند^۱، یونس گلعلی پور^۱، علینقی سرپناه^۲، محمود محسنی^۱، محبعلی پورغلام^۱

۱-انستیتو تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی (AREEO)، رشت، ایران، صندوق پستی ۳۴۶۴-۴۱۶۳۵

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

*نویسنده مسئول: Arash.lebria889@gmail.com

چکیده

صنعت آبزی پروری به طور قابل توجهی به پودر ماهی تهیه شده از ذخایر ماهیان وحشی متکی است. با توجه به نگرانی‌ها در مورد صید بیش از حد، شناسایی منابع غذایی جایگزین و پایدار ضروری است. منابع پروتئین گیاهی سرشار از پروتئین هستند، اما پروفایل اسید آمینه نامتعادلی دارند. با این حال، عوامل ضد تغذیه‌ای آن ممکن است بر هضم در برخی گونه‌ها تأثیر بگذارد. به دلیل این مشکل، منابع غذایی جایگزین حیوانی باید برای جایگزینی پودر ماهی و پروتئین گیاهی در خوراک آبزیان بدون تأثیر منفی بر بهره‌وری بررسی شوند. حشرات را می‌توان به صورت کامل و زنده یا به صورت لارو خشک شده برای تغذیه آبزیان استفاده نمود. معمولاً حشرات بخشی از غذای طبیعی ماهی‌ها محسوب می‌شوند، و با استفاده از پسماندهای غذایی و مواد ارزان قیمت پرورش داده می‌شوند. همچنین می‌توان از آن‌ها به عنوان منابع تأمین کننده روغن، پروتئین و سایر ترکیبات با ارزش غذایی مانند کیتین در خوراک آبزیان بهره برد. حشراتی که در مقیاس صنعتی پرورش داده می‌شوند باید دارای ویژگی‌هایی مانند چرخه زندگی کوتاه، ضریب تبدیل خوراک پایین، امکان پرورش در مقیاس‌های بزرگ و تراکم بالا با منابع غذایی کم ارزش باشند. الگوی اسیدهای آمینه حشرات برای تغذیه آبزیان مناسب است و از محتوای پروتئینی کافی برای این منظور برخوردارند. از حشرات مورد استفاده می‌توان به مگس سرباز سیاه به میزان ۲۵ درصد در جیره غذای ماهی سیبری، میلورم به میزان ۱۰ درصد در جیره غذایی بچه ماهی ازون برون و به میزان ۳۰ درصد در جیره غذایی فیل ماهی و کرم ابریشم به میزان ۱۵ درصد در جیره غذایی فیل ماهی اشاره نمود. به دلیل اثرات فیزیولوژیکی مثبتی که لارو حشرات بر رشد ماهی دارد بهتر است از لارو حشرات بعنوان جایگزین پروتئین گیاهی در صنعت آبزی پروری بویژه ماهیان خاویاری استفاده شود.

واژگان کلیدی: حشرات، تغذیه، آبزی پروری، پودر ماهی، جایگزینی

بیان مسئله

صنعت آبزی پروری به طور قابل توجهی به پودر ماهی تهیه شده از ذخایر ماهیان وحشی متکی است. با توجه به نگرانی‌ها در مورد صید بیش از حد، شناسایی منابع غذایی جایگزین و پایدار ضروری است. منابع پروتئین گیاهی سرشار از پروتئین هستند، اما پروفایل اسید آمینه نامتعادلی دارند. با این حال، عوامل ضد تغذیه‌ای آن ممکن است بر هضم در برخی گونه‌ها تأثیر بگذارد. به دلیل این مشکل، منابع غذایی جایگزین حیوانی باید برای جایگزینی پودر ماهی و پروتئین گیاهی در خوراک آبزیان بدون تأثیر منفی بر بهره‌وری بررسی شوند. حشرات را می‌توان به صورت کامل و زنده یا به صورت لارو خشک شده برای تغذیه آبزیان استفاده نمود. معمولاً حشرات بخشی از غذای طبیعی ماهی‌ها محسوب می‌شوند، و با استفاده از پسماندهای غذایی و مواد ارزان قیمت پرورش داده می‌شوند. همچنین می‌توان از آن‌ها به عنوان منابع تأمین کننده روغن، پروتئین و سایر ترکیبات با ارزش غذایی مانند کیتین در خوراک آبزیان بهره برد. حشراتی که در مقیاس صنعتی پرورش داده می‌شوند باید دارای ویژگی‌هایی مانند چرخه زندگی کوتاه، ضریب تبدیل خوراک پایین، امکان پرورش در مقیاس‌های بزرگ و تراکم بالا با منابع غذایی کم ارزش باشند. الگوی اسیدهای آمینه حشرات برای تغذیه آبزیان مناسب است و از محتوای پروتئینی کافی برای این منظور برخوردارند. از حشرات مورد استفاده می‌توان به مگس سرباز سیاه به میزان ۲۵ درصد در جیره غذای ماهی سبیری، مبلورم به میزان ۱۰ درصد در جیره غذایی بچه ماهی ازون برون و به میزان ۳۰ درصد در جیره غذایی فیل ماهی و کرم ابریشم به میزان ۱۵ درصد در جیره غذایی فیل ماهی اشاره نمود. به دلیل اثرات فیزیولوژیکی مثبتی که لارو حشرات بر رشد ماهی دارد بهتر است از لارو حشرات بعنوان جایگزین پروتئین گیاهی در صنعت آبزی پروری بویژه ماهیان خاویاری استفاده شود.

گسترش سریع آبزی پروری در دهه اخیر مصرف صنایع خوراک دام به ویژه پودر ماهی را در مقیاس جهانی افزایش داده است. پودر ماهی به طور سنتی به عنوان بهترین

پروتئین جیره غذایی در فرمولاسیون غذای آبزیان استفاده می‌شود. با اینحال، امروزه کاهش اتکا به پودر ماهی برای توسعه پایدار صنعت آبزی پروری یک چالش بزرگ و یک عامل محدودکننده برای رشد پایدار پرورش ماهی شده است. کاهش میزان پودر ماهی یا حتی عدم استفاده از آن در فرمولاسیون جیره غذایی، بدون کاهش عملکرد ماهی، میتواند تأثیر مثبت بر سودآوری تولید ماهی تجاری داشته باشد. پروتئین‌های گیاهی به طور گسترده‌ای به عنوان منبع پروتئین مناسب برای فرمولاسیون غذای آبزیان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اگرچه منابع پروتئین‌های گیاهی مقرون به صرفه‌تر از پروتئین حیوانی بوده، اما دارای اشکالات متعددی هستند که از جمله می‌توان به پروفایل اسید آمینه ضروری نامتعادل، عدم خوش طعمی، عوامل ضد تغذیه و رقابت با سایر بخش‌های صنایع خوراکی اشاره نمود. این امر متخصصان تغذیه را تشویق نموده، که بر بهبود ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌های گیاهی تمرکز کرده و برای سایر جایگزین‌های قوی مواد پروتئین حیوانی مانند محصولات جانبی کشتارگاه و پودر حشرات تحقیق نمایند. از دیدگاه تغذیه‌ای، پروتئین‌های حیوانی نسبت به پروتئین‌های گیاهی، تشابه بیشتری به پودر ماهی داشته و می‌توانند به عنوان کاندیدای مناسب تری در نظر گرفته شوند. تا به امروز، طیف گسترده‌ای از پروتئین‌های حیوانی (محصولات جانبی طیور، پودر پر هیدرولیز شده، پودر گوشت و استخوان و پودر خون)، در فرمولاسیون غذای آبزیان استفاده شده است. حشرات به دلیل داشتن محتوای پروتئین با کیفیت و کمیت بالا، بدون فشار از بخش غذای انسانی و ردپای محیطی، کمتر به عنوان یک ماده غذایی بالقوه در فرمولاسیون خوراک جانوران شناخته شده‌اند. حشرات را می‌توان با استفاده از ضایعات مواد غذایی ارگانیک رشد داده و این ضایعات را به زیست توده غنی از پروتئین و چربی تبدیل نمود. علاوه بر این، تولید حشرات

رویکرد مشکلات زیست محیطی مربوط به استفاده مجدد از ضایعات مواد غذایی را کاهش می دهد. اگرچه ترکیب مواد مغذی پودر حشرات بسته به گونه، نوع بستر پرورش و روش فرآوری متفاوت است، این پودرها معمولاً دارای میزان پروتئین بالایی (۶۰ تا ۸۰ درصد) بوده و از پروفایل اسیدهای آمینه‌ای نسبتاً متوازن برخوردارند. (Sánchez-Muros et al., 2014).

ارزش غذایی لارو حشرات

حدود یک میلیون گونه حشره در سراسر جهان وجود دارند و همگی آنها برای یکپارچگی زنجیره‌های غذایی و اکوسیستم‌ها ضروری هستند. اگرچه اکثر اروپایی‌ها هنوز حشرات را به عنوان آفات مضر می‌بینند، اما چندین گونه حشره در ۱۰۰ کشور مختلف به عنوان غذا استفاده می‌شوند. حشرات بزرگترین دسته از بندپایان هستند و در طول تاریخ به عنوان منبع غذایی برای انسان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین حشرات، با محتوای پروتئین بالا، به عنوان جایگزین عالی برای پودر ماهی در جیره غذایی بسیاری از ماهی‌های آب شیرین و دریایی در نظر گرفته می‌شوند.

پروتئین

حشرات به دلیل دارا بودن ترکیب مناسبی از اسیدهای آمینه، منبعی عالی از پروتئین محسوب می‌شوند. مقدار پروتئین آن‌ها بسته به نوع و شرایط پرورش بین ۲۵ تا ۷۵ درصد وزن خشک متغیر است. در میان راسته‌های مختلف، راسته ارتوپترا (مانند ملخ‌ها و جیرجیرک‌ها) بیشترین میزان پروتئین را دارد که حدود ۶۰ تا ۷۷ درصد گزارش شده است. پروتئین خام در دوبالان از ۴۰ تا ۵۰ درصد متغیر است. مانند لارو مگس خانگی که پروتئین خام آن ۴۶/۹ درصد و در مگس خانگی ۳۷ تا ۵۷ درصد بود. سطح

پروتئین لارو میلورم (*T. molitor*) ۴۶ درصد، مگس سرباز سیاه (*H. illucens*) ۳۹ درصد، جیرجیرک خانگی (*A. domesticus*) ۶۴-۷۱ درصد، ملخ مهاجر (*L. migratoria*) ۴۸-۵۲ درصد، کرم ابریشم (*B. mori*) ۴۸-۵۵ درصد و ملخ‌ها ۲۶-۴۵ درصد می باشد (Barroso et al., 2014).

کربوهیدرات‌ها

کیتین بین ۵ تا ۲۰ درصد وزن خشک حشرات را تشکیل می‌دهد. یک پلی‌ساکارید است که در پوسته خارجی بسیاری از حشرات به میزان‌های متفاوت وجود دارد و ۱۵/۹۸-۶/۷۱ درصد از کربوهیدرات‌ها را شامل می‌شود. کیتین در محیط مایع نفوذناپذیر بوده و پس از سلولز، رایج‌ترین کربوهیدرات در زیست‌توده محسوب می‌شود. کربوهیدرات‌ها منبع غنی از نیتروژن و کربن هستند. برخی از سطوح کربوهیدرات گونه‌های حشرات خوراکی در ادامه شرح داده شده است؛ لارو میلورم (*T. molitor*) دارای محتوای کربوهیدراتی بین ۱ تا ۷ درصد، مگس سرباز سیاه (*H. illucens*) ۱۰ تا ۲۰ درصد، ملخ (*L. migratoria*) ۴ تا ۵/۵ درصد و شفیره کرم ابریشم (*B. mori*) ۲۳ درصد هستند (Hajji et al., 2014).

چربی‌ها

محققان دریافته‌اند که محتوای چربی حشرات بسیار متغیر است. این تفاوت هم به علت تفاوت گونه‌ها است و هم به علت تفاوت مرحله زندگی و نوع رژیم غذایی. تری‌اسیل‌گلیسرول‌ها تقریباً ۸۰ درصد چربی‌ها را تشکیل می‌دهند که در دوره‌های مصرف زیاد انرژی، منبع انرژی هستند. ارتوپترا، لپیدوپترا، بلاتودا، ایزوپترا و کولتوپترا به ترتیب به طور متوسط ۱۳٪، ۲۸٪، ۲۹٪، ۳۲٪ و ۳۳٪ وزن خشک دارند. حشرات در مراحل لاروی و شفیرگی چربی‌های بیشتری نسبت به حشرات بالغ دارند. میزان چربی

ویتامین ها

حشرات طیف وسیعی از ویتامین‌ها را دارند که یا محلول در آب یا چربی‌دوست هستند. انواع حشرات حاوی تیامین می‌باشند. غلظت آن بین ۰/۱ تا ۴ میلی‌گرم در هر ۱۰۰ گرم (DM) متغیر است. ریوفلاوین، که به عنوان ویتامین B2 نیز شناخته می‌شود، در حشرات خوراکی یافت شده و نقش مهمی در عملکرد متابولیک دارد. میلورم و جیرجیرک خانگی دارای مقادیر زیادی ویتامین B12 هستند. بسیاری از گونه‌های دیگر که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، تنها مقادیر کمی از این ویتامین را دارند. حشرات اغلب حاوی مقادیر کمی رتینول بوده، اما مقادیر زیادی بیوتین، اسید پانتوتنیک و ریوفلاوین دارند. اسید فولیک به عنوان یک ویتامین مهم، در غلظت‌های قابل توجهی در حشرات مختلف شناسایی شده است (Rumpold and Schlüter, 2013).

مواد معدنی

حشرات خوراکی منبع خوبی از مواد معدنی مانند روی، سدیم، پتاسیم، آهن، منیزیم، مس، کلسیم، منگنز و فسفر هستند. مقدار قابل توجهی آهن در ملخ مهاجر (*L. migratoria*) ۲۰-۸ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک یافت می‌شود. حشرات خوراکی مانند ملخ (*Oxya chinensis*) حاوی فلزات سنگین بسیار کمی هستند که برای مصرف انسان بی‌خطر می‌باشد. گزارش شده است که ملخ‌ها، جیرجیرک‌ها و میلورم حلالیت بالایی برای مس، منگنز و روی دارند. به طور مشابه، حلالیت بالای کلسیم و منیزیم در میلورم گزارش شده است.

اسیدهای آمینه

از نظر ترکیب اسیدهای آمینه، حشرات راسته Diptera (دوبالان) دارای پروفایل اسید آمینه‌ای مشابه با پودر ماهی هستند، در حالی که حشرات راسته Coleoptera

لاروهای میلورم (*T. molitor*) ۳۳ درصد، لاروهای مگس سرباز سیاه (*H. illucens*) ۳۸ درصد، جیرجیرک ها ۲۵-۱۲ درصد، کرم ابریشم (*B. mori*) ۱۹ درصد و ملخ ها ۴۹-۳ درصد است (Rumpold and Schlüter, 2013).

در حشرات، محتوای چربی شامل غلظت نسبتاً بالایی از اسیدهای چرب C₁₈، از جمله اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک است. سطح اسید پالمیتیک کمی بالاتر از سایر چربی‌ها است و پروفایل چربی تا حد زیادی تحت تأثیر رژیم غذایی حشرات قرار می‌گیرد. حشرات سرشار از اسیدهای چرب n-6 هستند اما از نظر محتوای اسیدهای چرب n-3 کمبود دارند. با این حال، این نسبت n-6 / n-3 برای سلامت انسان مضر است. بنابراین، استراتژی‌های مختلفی برای بهبود پروفایل اسیدهای چرب حشرات به کار گرفته می‌شود. محتوای اسیدهای چرب n-3 را می‌توان با استفاده از یک بستر مناسب افزایش داد؛ بنابراین، ارزش غذایی حشرات را می‌توان بهبود بخشید. عوامل مختلفی نیز بر پروفایل اسیدهای چرب حشرات و بسترها، مانند محیط پرورش، تأثیر می‌گذارند. در تایید این مورد Ruschioni و همکاران (۲۰۲۰) بیان نمودند که، سطوح اسیدهای لینولئیک (C18:2n6) و آلفا-لینولئیک (C18:3n3) در بین حشرات حتی زمانی که روی یک بستر پرورش داده می‌شوند، متفاوت است. PUFA ها در حشرات خوراکی که معمولاً به عنوان اسیدهای لینولئیک و لینولئیک شناخته شده‌اند، فراوان می‌باشند. با این حال، حشرات حاوی ایکوزاپنتانوئیک اسید (EPA) یا دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA) نیستند که برای سلامت انسان ضروری هستند. اسید لوریک یکی از مهمترین اسیدهای چرب اشباع با زنجیره متوسط بوده و در اکثر حشرات وجود دارد. مگس سرباز سیاه (HI) حاوی مقدار قابل توجهی اسید لوریک با خواص ضد میکروبی بوده و بنابراین می‌تواند سلامت روده ارگانیسم میزبان را تعدیل کند.

منابع آب و زمین وارد نموده و ضایعات بیشتری تولید می‌کند. با توجه به محدودیت‌های منابع سنتی، پروتئین‌های جایگزین، به‌ویژه پودر حشرات و مشتقات فرآورده‌های جانبی آبزیان، به عنوان راهکارهای دارای بیشترین پتانسیل برای تضمین امنیت پروتئینی صنعت خوراک آبزیان در آینده نزدیک بررسی شده‌اند.

مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*)

مشخص شد که پودر مگس سرباز سیاه (*H. illucens*) در تیلایپای نیل (*Oreochromis niloticus*)، پاسخ رشد و نسبت تبدیل غذایی بیشتری نسبت به پودر ماهی دارد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که وقتی پودر مگس سرباز سیاه در رژیم غذایی تیلایپای آبی (*Oreochromis aureus*) گنجانده می‌شود، نتایج مثبتی را نشان می‌دهد. جایگزینی پودر ماهی با مگس سرباز سیاه برای سطوح مختلف گنجانیدن، رشد تیلایپای نیل (*O. niloticus*) را بدون ایجاد اثرات مضر، به میزان زیادی افزایش می‌دهد. می‌توان پودر مگس سرباز سیاه را به طور کامل جایگزین پودر ماهی نمود (Tippayadara et al., 2021). از تحقیقات قبلی واضح است که در بچه ماهی سیبری (*Acipenser baerii*)، مگس سرباز سیاه می‌تواند تا ۲۵٪ در رژیم غذایی جایگزین شود (Caimi et al., 2020). هیچ تغییر قابل توجهی در رشد، مصرف غذا، بقا و پارامترهای خون‌شناسی ماهی سی باس (*Dicentrarchus labrax*) هنگام جایگزینی پودر ماهی با پودر مگس سرباز سیاه مشاهده نشد. علاوه بر این، مشخص شد که تغییر از پودر ماهی به مگس سرباز سیاه تا ۵۰٪ به مدت هشت هفته، هزینه‌های خوراک را در مقایسه با قیمت پودر ماهی ۱۵/۵٪ کاهش می‌دهد (Abdel-Tawwab et al., 2020).

(سخت‌بالان) نسبت به کنجاله سویا از کیفیت و تنوع اسیدهای آمینه مطلوب‌تری برخوردار می‌باشند، گرچه هنوز از نظر ارزش زیستی با پودر ماهی برابری نمی‌کنند. به طور کلی، نسبت و الگوی اسیدهای آمینه در میان راسته‌های مختلف حشرات تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای با منابع پروتئینی رایج مانند پودرهای گیاهی و پودر ماهی نشان می‌دهد.

از بین تمام اسیدهای آمینه ضروری، هیستیدین و ترئونین در پودر حشرات نسبت به پودر ماهی کمبود بیشتری دارند. با این حال، پودر حشرات در مقایسه با پودر سویا حاوی مقدار کافی تیروزین، لیزین و متیونین است. دوبالان مقدار مشابهی هیستیدین، لیزین و ترئونین مانند پودر ماهی دارند. دوبالان حاوی سطح بالاتری از فنیل آلانین نسبت به پودر سویا و پودر ماهی هستند، اما سطح متیونین آنها با پودر ماهی قابل مقایسه است. اسید آمینه لوسین در گونه‌های متعلق به راسته‌های Orthoptera (راست‌بالان) و Coleoptera (سخت‌بالان) به میزان قابل توجهی یافت می‌شود، در حالی که حشرات راسته دوبالان از نظر محتوای این اسید آمینه دچار کمبود نسبی هستند. درصد تیروزین و والین در راسته‌بالان، سخت‌بالان و دوبالان بیشتر از پودر ماهی است (Ogunji et al., 2008).

پتانسیل استفاده از حشرات به عنوان جایگزین پودر ماهی

در طول دو دهه گذشته، مطالعات متعددی برای کاهش تقاضا برای پودر ماهی، روغن ماهی و فرآورده‌های جانبی آنها در صنعت آبزی‌پروری گرفته و در نتیجه، که منجر به افزایش استفاده از مواد اولیه گیاهی در خوراک ماهی شده است.

. با این حال، در مقایسه با رژیم‌های غذایی مبتنی بر پودر ماهی، افزودن این مواد به غذای آبزیان فشار بیشتری بر

مگس خانگی (*Musca domestica*)

وانگ و همکاران ۲۰۱۷، اثرات چهار رژیم غذایی آزمایشی حاوی ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ پودر لارو مگس خانگی (*M. domestica*) را بر روی تیلایپای نیل (*O. niloticus*) مشاهده کردند. حدود ۷۵٪ از پودرهای مگس خانگی را می‌توان بدون ایجاد عوارض جانبی قابل توجه بر رشد و نمو ماهی‌ها در رژیم غذایی ماهی‌ها گنجاند. تحقیقات متعددی، از جمله آزمایش‌های تغذیه‌ای مبتنی بر مگس خانگی در گونه‌های مختلف ماهی، در طول دهه گذشته انجام شده است. پودر لارو مگس خانگی را می‌توان بدون اینکه به رشد یا توانایی استفاده از مواد مغذی آسیب رسانده یا باعث ایجاد استرس اکسیداتیو شود، جایگزین ۱۰۰٪ پودر ماهی در رژیم غذایی بچه ماهیان تیلایپای نیل (*O. niloticus*) نمود (Ogunji et al., 2008). یک آزمایش پرورش هشت هفته‌ای روی مارماهی‌های باتلاقی (*Monopterus albus*) نشان داد که مکمل کردن غذا با لارو مگس خانگی تأثیرات مثبتی بر رشد و ایمنی مارماهی‌های باتلاقی دارد (Xiang et al., 2020). در نتیجه، چندین مطالعه تغذیه‌ای روی گونه‌های مختلف آبزی‌پروری نشان داده است که افزودن لارو مگس خانگی به رژیم غذایی ماهی‌ها ممکن است رشد و ضریب تبدیل غذایی (FCR) را افزایش داده و در عین حال استرس فیزیولوژیکی را محدود کند.

میلورم (*Tenebrio molitor*)

تحقیقات اخیر نشان داده است که پودر میلورم یک منبع پروتئینی نوآورانه است که می‌تواند تا حدی جایگزین پودر ماهی در جیره طیور و گونه‌های آبزی شود. درصدی از پودر ماهی را می‌توان بدون اینکه به رشد ماهی شانک سرطلایی (*Sparus aurata*) آسیبی وارد جایگزین لارو میلورم نمود (Piccolo et al., 2017). همچنین گزارش شده

که پتانسیل فوق‌العاده‌ای برای جایگزینی پودر میلورم در دام و آبزیان دارند. از مطالعات قبلی مشخص است که پودر میلورم می‌تواند جایگزین پودر ماهی در جیره غذایی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) (Belforti et al., 2015)، فیل ماهی (*Huso huso*) (باقری خامخانه و همکاران، ۱۴۰۴) و مولی سیاه (*Poecilia sphenops*) (Das, 2024) شود. جایگزینی ۱۰ درصدی پودر لارو میلورم می‌تواند جایگزین پودر ماهی در بچه ماهی ازون برون (*Acipenser stellatus*) شود، بدون اینکه شاخص‌های میانگین وزن نهایی، وزن بدست آمده و درصد افزایش وزن بدن ماهی را کند کند، در حالی که جایگزینی ۳۰ درصدی پودر ماهی باعث کاهش رشد ماهی می‌شود (Lebria et al., 2025). طبق مطالعات قبلی، سطوح بالاتر کرم میلورم در جیره غذایی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان هیچ تأثیر منفی بر افزایش وزن نداشته، اما محتوای پروتئین را افزایش داده و محتوای چربی را در مقایسه با گروه کنترل کاهش داده است. جایگزینی ۱۰۰ درصدی پودر ماهی با پودر میلورم، محتوای چربی میگوی سفید اقیانوس آرام (*Litopenaeus vannamei*) را افزایش داده، اما بر سرعت رشد و نسبت تبدیل غذا تأثیری ندارد (Panini et al., 2017).

جیر جیرک (*Cricket*)

پودر جیر جیرک را می‌توان تا ۱۰۰ درصد بجای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی دم شمشیری (*Xiphophorus helleri*) با نتایج بهتری نسبت به گروه شاهد (فاقد پودر جیر جیرک) مورد استفاده قرار داد. (Perera et al., 2025). پودر جیرجیرک این پتانسیل را دارد که تا حدی یا به طور کامل جایگزین پودر ماهی در خوراک ماهی شود. همچنین پودر ماهی را می‌توان تا ۵۰٪ با پودر جیرجیرک در تیلایپای نیل قرمز (*O. niloticus*) جایگزین کرد، بدون اینکه تأثیر قابل

توجهی بر عملکرد رشد یا مصرف خوراک داشته باشد (Hanan et al., 2022).

ملخ (*Locust*)

افزودن ۵۰ درصد پودر ملخ به جیره غذایی ماهی تیلاپیا، نتایج بهینه‌ای را از نظر رشد به همراه داشت. در نتیجه، توصیه می‌شود که پودر ملخ به میزان ۵۰ درصد به جیره غذایی ماهی تیلاپیا بدون کاهش رشد ماهی افزوده شود. هنگامی که حدود ۲۰ درصد از ملخ‌های بالغ به جیره غذایی تیلاپیا اضافه شد، بر هضم پذیری یا رشد تیلاپیا تأثیری نداشت (Emehinaie, 2012).

کرم ابریشم (*B. mori*)

مطالعه‌ای با امکان جایگزینی بخشی از جیره غذایی ماهی گورامی پوست ماری (*Trichopodus pectoralis*) با پودر شفیله کرم ابریشم انجام گردید. نتایج نشان داد که جایگزینی حداکثر ۱۵٪ از جیره با شفیله کرم ابریشم، هیچ‌گونه اثر نامطلوب قابل توجهی بر نرخ رشد ماهی نداشت. با این حال، افزایش سطح گنجاندن تا ۲۲٪ از پودر شفیله کرم ابریشم منجر به کاهش معنی‌داری در سرعت رشد و کاهش قابلیت هضم پروتئین در این گونه گردید. (Jintasataporn et al., 2011). گنجاندن ۳۰ تا ۵۰ درصد شفیله کرم ابریشم بدون چربی را می‌توان در ماهی روهو (*Labeo rohita*) و کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) به طور موفقیت‌آمیزی انجام داد (Sawhney, 2014). جایگزینی کامل شفیله کرم ابریشم به جای پودر ماهی بدون اثرات نامطلوب بر رشد در کپور معمولی (*C. carpio*) و باس دریایی ژاپنی (*Lateolabrax Japonicus*) مشاهده شده است (Xu et al., 2010). برخی از گونه‌های ماهی حتی زمانی که سطح پایینی از شفیله کرم ابریشم در رژیم غذایی آنها گنجانده می‌شود، پاسخ‌های منفی نشان می‌دهند.

در تیلاپیا، سطح گنجاندن ۵٪ به طور چشمگیری رشد و نمو را کاهش می‌دهد (Boscolo et al., 2002). کپور ماهیان همچنین هنگامی که رژیم غذایی با حدود ۸٪ شفیله کرم ابریشم ترکیب شد، کاهش فعالیت آنزیم‌های گوارشی، فعالیت پروتئین‌های شوک حرارتی و افزایش استرس اکسیداتیو را نشان داد. به طور کلی به نظر می‌رسد شفیله کرم ابریشم منبع بالقوه پروتئین برای رژیم غذایی ماهی، به جز در تیلاپای نیل (*O. niloticus*) و گورامی غول پیکر (*Osphronemus Ooramy*) باشد. طبق یک تحقیق تغذیه‌ای یازده هفته‌ای روی کپور معمولی، پودر شفیله کرم ابریشم به عنوان یک عنصر غذایی پایدار و مفید در رژیم غذایی کپور شناخته شد و مزایایی برای افزایش عملکرد رشد و نشانگرهای فیزیولوژیکی خاص دارد. در فیل ماهی (*H. huso*)، آزمایش‌های تغذیه‌ای نشان داد که شفیله کرم ابریشم می‌تواند تا ۱۵٪ در جیره غذایی جایگزین پودر ماهی شود بدون اینکه تأثیر منفی بر فراسنجه‌های خونی و کبدی داشته باشد (باقری و همکاران، ۱۴۰۳).

توصیه های ترویجی

- توصیه می‌گردد از پروتئین حشرات به جای منابع پروتئینی در جیره غذایی آبزیان استفاده شود، زیرا جیره های غذایی مبتنی بر حشرات، واکنش فیزیولوژیکی مثبتی را در بسیاری از گونه‌های ماهی به ویژه ماهیان خاویاری از خود نشان دادند.

- حشرات پتانسیل بالایی برای استفاده از ضایعات کشاورزی و صنعتی دارند و در نتیجه می‌توانند به کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی کمک کنند

- جایگزینی پودر لارو میلورم به جای پودر ماهی به میزان ۱۰ درصد در جیره بچه ماهی ازون برون جهت افزایش رشد توصیه می‌گردد.

Barroso, F. G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M. J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., and Pérez-Bañón, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422: 193-201.

Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., and Zoccarato, I. 2015. *Tenebrio molitor* Meal in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Diets: Effects on Animal Performance, Nutrient Digestibility and Chemical Composition of Fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14: 670-676.

Boscolo, W.R., Hayashi, C., and Meurer, F. 2002. Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos Para a Tilápia Do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). *Rev. Bras. Zootec*, 31: 539-545.

Caimi, C., Renna, M., Lussiana, C., Bonaldo, A., Gariglio, M., Meneguz, M., and Gasco, L. 2020. First insights on Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal dietary administration in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) juveniles. *Aquaculture*, 515: 734539.

Das, M. 2024. Effect of Fishmeal Replacement with Mealworm (*Tenebrio molitor*) Meal on Growth Performance and Survival of the Black Molly (*Poecilia sphenops*). *Environment and Ecology*, 42(2B): 902-909.

Emehinaiyi, P.A. 2012. Growth Performance of *Oreochromis Niloticus* Fingerlings Fed with Varying Levels of Migratory Locust (*Locusta migratoria*) Meal. Bachelor's Thesis, Federal University of Agriculture Abeokuta, Abeokuta, Nigeria.

Hajji, S., Younes, I., Ghorbel-Bellaaj, O., Hajji, R., Rinaudo, M., Nasri, M., and Jellouli, K. 2014. Structural Differences between Chitin and Chitosan Extracted from Three Different Marine Sources. *Int. J. Biol. Macromol*, 65: 298-306.

Hanan, M. Y., Amatul-Samahah, M. A., Jaapar, M. Z., and Mohamad, S. N. 2022. The effects of field cricket (*Gryllus bimaculatus*) meal substitution on growth performance and feed utilization of hybrid red tilapia (*Oreochromis* spp.). *Applied Food Research*, 2(1): 100070.

Jintasataporn, O., Chumkam, S., and Jintasataporn, O. 2011. Substitution of Silkworm Pupae (*Bombyx*

- جایگزینی پودر شفیره کرم ابریشم به جای پودر ماهی به میزان ۱۵ درصد در جیره بچه فیل ماهی جهت افزایش رشد و بهبود شاخص های خونی و آنزیم های کبدی توصیه می شود.

- جایگزینی پودر لارو مگس سرباز سیاه بره میزان ۲۵ درصد در جیره غذایی تاسماهی سیبری مناسب تر از مقدارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد پودر لارو مگس سرباز سیاه در جیره بود.

منابع

باقری، ط.، صفری، ر.، بهمنی، م.، حافظیه، م.، شریف پور، ع.، آقایی مقدم، ع.، پورصوفی، ط.، پقه، ا.، میرهاشمی رستمی، س. ا.، پژند، ذ. ا.، صفری عیسی خندقی، ر.، شکوری، م.، خالقی، س. ر.، حاتمی، ا.، سنچولی، ح. ا.، صورتی زنجانی، ر. و عبدالحی مصباح، ر. ۱۴۰۳. تأثیر جایگزینی آرد ماهی با پودر شفیره کرم ابریشم (*Bombyx mori*) در جیره غذایی بر شاخص های رشد، فراسنجه های خونی و شاخص های بیوشیمیایی بچه فیل ماهی (*Huso huso*). *مجله علمی شیلات ایران*، ۳۳(۴): ۱۲۹-۱۱۹.

باقری خامخانه، س. ع. ا.، اسماعیلی فریدونی، ا.، یگانه، س.، اورجی ح. ۱۴۰۴. اثرات جایگزینی پودر لارو سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) به جای پودر ماهی بر عملکرد رشد برخی پارامترهای خون و کبد فیل ماهی (*Huso huso*). *تغذیه آبزیان*، ۱۱ (۱): ۶۷-۸۸.

Abdel-Tawwab, M., Khalil, R.H., Metwally, A.A., Shakweer, M.S., Khallaf, M.A., and Abdel-Latif, H.M.R. 2020. Effects of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Larvae Meal on Growth Performance, Organs-Somatic Indices, Body Composition, and Hemato-Biochemical Variables of European Sea Bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 522: 735136.

- Ruschioni, S., Loreto, N., Foligni, R., Mannozi, C., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Pasquini, M., Roncolini, A., Cardinali, F. and Osimani, A. 2020. Addition of Olive Pomace to Feeding Substrate Affects Growth Performance and Nutritional Value of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Larvae. *Foods*, 9: 317.
- Sánchez-Muros, M.J., Barroso, F.G. and Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65:16–27.
- Sawhney, S. 2014. Effect of Partial Substitution of Expensive Ingredient ie Fishmeal on the Growth of *Tor putitora* Fed Practical Diets. *J. Int. Acad. Res. Multidiscipl.*, 2: 482–489.
- Tippayadara, N., Dawood, M.A.O. Krutmuang, P. Hoseinifar, S.H. Van Doan, H. and Paolucci, M. 2021. Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticus*. *Animals*, 11: 193.
- Xiang, J., Qin, L., Zhao, D., Xiong, F., Wang, G., Zou, H., Li, W., Li, M., Song, K. and Wu, S. 2020. Growth Performance, Immunity and Intestinal Microbiota of Swamp Eel (*Monopterus albus*) Fed a Diet Supplemented with House Fly Larvae (*Musca domestica*). *Aquac. Nutr.*, 26: 693-704.
- Xu, X., Xu, B., Wang, J., Su, Y., Zhang, Z. and Chen, X. 2010. Studies on Blood Chemistry Indices and Histopathology of *Pseudosciaena Crocea* Artificially Challenged with *Vibrio Harveyi*. *J. Fish. China*, 34: 618-625.
- mori) for Fish Meal in Broodstock Diets for Snakeskin Gourami (*Trichogaster pectoralis*). *J. Agric. Sci. Technol*, 1: 1341-1344.
- Lebria, A., Langroudi, H. E., Sajjadi, M., and Pajand, Z. O. 2025. Evaluating full-fat mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as a fishmeal alternative: impacts on growth, physiology, and enzyme activity in stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*). *Aquaculture International*, 33(6): 436.
- Ogunji, J.O., Kloas, W., Wirth, M., Neumann, N., and Pietsch, C. 2008. Effect of Housefly Maggot Meal (Maggot) Diets on the Performance, Concentration of Plasma Glucose, Cortisol and Blood Characteristics of *Oreochromis Niloticus* Fingerlings. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 92: 511-518.
- Okey Aniebo, A., Erundu, E.S., and Owen, O.J. 2009. Replacement of Fish Meal with Maggot Meal in African Catfish (*Clarias gariepinus*) Diets. *Rev.*, 9: 666-671.
- Panini, R.L., Freitas, L.E.L., Guimarães, A.M., Rios, C., da Silva, M.F.O., Vieira, F.N., Fracalossi, D.M., Samuels, R.I., Prudêncio, E.S. and Silva, C.P. 2017. Potential Use of Mealworms as an Alternative Protein Source for Pacific White Shrimp: Digestibility and Performance. *Aquaculture*, 473: 115-120.
- Perera, G. C., Senanayake, S. N., Sandaruwani, D. R., Salgado, M. K. S., Rajapakshe, A. D. W. R. and Athauda, S. 2025. Replacement of Fishmeal by Three Cricket Meals (*Acheta domesticus*, *Gryllus bimaculatus*, *Teleogryllus mitratus*) in Swordtail (*Xiphophorus helleri*) Fry Feed: Effect of Growth, Stress Tolerance, Pigmentation and Histopathological Alterations. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 25(7):
- Piccolo, G., Iaconisi, V., Marono, S., Gasco, L., Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F. and Parisi, G. 2017. Effect of *Tenebrio molitor* Larvae Meal on Growth Performance, in Vivo Nutrients Digestibility, Somatic and Marketable Indexes of Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 226: 12-20.
- Rumpold, B. A. and Schlüter, O. K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17: 1-11.

The role of insect larvae in aquatic nutrition with emphasis on sturgeon

Arash Lebria^{*1}, Zabihollah Pajand¹, Younes Golalipour¹, Alinaghi Sarpanah², Mahmoud Mohseni¹, Mohebal Pourgholam¹

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: Arash.lebria889@gmail.com

Abstract

The aquaculture sector significantly depends on fish meal sourced from wild fish stocks. With concerns regarding overfishing, identifying alternate and sustainable feed sources is imperative. There are so many alternative sources that are easily available from animal and plant origin. Plant-based protein sources are abundant in proteins, but have an unbalanced amino acid profile. However, its anti-nutritional factors may affect digestion in some species. Due to this drawback, animal-based alternative feed sources must be explored to replace fish meal and plant-based protein in aqua-feed without adversely affecting productivity. Insects might be used as whole and alive or as dried larvae to feed aquatic animals. Insects are usually produced using food waste and locally available materials. Also, they can be used as sources of oil, protein and other valuable compounds including chitin in aquafeed. Industrially produced insects have characteristics such as a short life cycle, low feed conversion ratio, the possibility of breeding on a large scale and high density with low-value feed sources. The amino acids profile of insects is suitable for feeding aquatic animals; they also have sufficient protein contents. Among the insects, the black soldier fly at 15% in the Siberian fish diet, mealworms at 10% in the diet of juvenile stellate sturgeon, 30% in the diet of beluga and silkworms at 15% in the diet of beluga are common. Due to the positive physiological effects that insect larvae have on fish growth, it is better to use insect larvae as a substitute for Plant-based protein in the aquaculture industry, especially sturgeon.

Keywords: Insects, Feeding, Aquaculture, Fish meal, Replacement