اثر جایگزینی پودر ماهی با پودر لارو سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) بر عملکرد رشد، شاخص‌های خون‌شناسی و برخی از پارامترهای ایمنی غیراختصاصی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

منصور ولی‌پور[۱]، امین اوجی‌فرد*[۱]، عالی حسینی[۱]، ابراهیم ستوده[۱]، دارا باقری[۱]

*Oujifard@pgu.ac.ir

۱. گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۷

چکیده

یک آزمایش ۸ هفته‌ای به منظور تعیین مقدار مناسب جایگزینی پودر ماهی جیره با پودر سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) جهت ارزیابی اثر آن بر عملکرد رشد، شاخص‌های خونی و پاسخ‌های ایمنی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) انجام شد. ۵ جیره با میزان نیتروژن و چربی یکسان با سطوح جایگزینی ۰ درصد (شاهد)، ۲۵ درصد (TM25)، ۵۰ درصد (TM50)، ۷۵ درصد (TM75) و ۱۰۰ درصد (TM100) پودر ماهی با پودر سوسک زرد فرموله شدند. هر جیره به طور تصادفی در سه تکرار با ۲۰ قطعه بچه ماهی با میانگین وزن اولیه ۰/۵±۱۰ گرم تقسیم‌بندی گردید (مجموعاً ۳۰۰ بچه ماهی). در پایان آزمایش نتایج نشان داد که میانگین وزن نهایی بچه ماهیان تغذیه شده با جیره‌های شاهد (۰/۷±۴۱/۷ گرم) و جیره حاوی ۲۵ درصد (۲/۱±۴۳/۱ گرم) پودر لارو سوسک زرد به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود ($p<0/05$). پایین ترین میزان ضریب تبدیل غذایی در تیمار شاهد (۰/۱±۰/۷۶) مشاهده شد که نسبت به تیمار ۷۰ درصد (۰/۰۶±۰/۹۳) اختلاف معنی داری داشت ($p<0/05$). درصد افزایش وزن ماهیان با افزایش میزان پودر سوسک زرد در جیره کاهش نشان داد. تعداد سلول های قرمز خون تحت تأثیر سوسک زرد قرار نگرفت، اما میزان هموگلوبین و هماتوکریت با افزایش سطح سوسک زرد کاهش یافتند ($p<0/05$). جایگزینی پودر ماهی با پودر سوسک زرد تأثیر معنی‌داری بر میزان گلوکز و تری گلیسرید پلاسما ماهیان در مقایسه با جیره شاهد ایجاد نکرد ($p>0/05$). پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین پلاسما به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف سوسک زرد قرار گرفتند ($p<0/05$). میزان هورمون کورتیزول و فعالیت مسیر کمپلمان پلاسما در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($p>0/05$). بر اساس آنالیز خط شکسته سطح بهینه جایگزینی پودر ماهی با پودر سوسک زرد در جیره ماهی قزل آلای رنگین کمان ۲۵ درصد می‌باشد و در این سطح بچه ماهیان بالاترین درصد افزایش وزن را نشان دادند.

لغات کلیدی: پودر ماهی، پودر حشرات، جایگزینی پروتئین، بیوشیمی خون، قزل‌آلای رنگین‌کمان

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

مقدمه

با توجه به روند رو به رشد جمعیت انسانی، برای حفظ سرانه مصرف آبزیان تا سال ۲۰۳۰ به ۲۳ میلیون تن غذای دریایی نیاز است و از آنجایی که در چند دهه گذشته تولیدات شیلاتی حاصل از صید در دریاها به میزان ثابتی رسیده است، این کمبود باید از طریق آبزی‌پروری تأمین شود (FAO, 2016). بیشتر گونه‌های ماهی مورد استفاده در آبزی‌پروری، با غذای تجاری پرورش می‌یابند و تولید متراکم ماهیان گوشتخوار نیازمند استفاده از پودر ماهی با کیفیت و روغن ماهی به عنوان مواد اصلی جیره می‌باشند (Oliva-Teles *et al*., 2015). با این‌حال، افزایش میزان تولید خوراک آبزیان موجب افزایش سریع قیمت مواد اولیه مانند پودر و روغن ماهی شده است (FAO, 2016). برای غلبه بر این محدودیت‌ها تلاش‌های فراوانی برای کاهش وابستگی تولیدکنندگان غذا، به پودر و روغن ماهی صورت گرفته است (Glencross *et al*., 2007).

در دهه‌های اخیر تلاش‌های زیادی در زمینه استفاده از پروتئین‌های گیاهی در رژیم‌های غذایی ماهی‌های گوشتخوار متمرکز شده است (Barrows *et al*., 2007; Gatlin *et al*., 2007; Yazdani Sadati and Rezaii, 2013; Oliva-Teles *et al*., 2015; Sotoudeh *et al*., 2016). با این‌حال، ترکیبات اولیه گیاهی دارای معایبی از جمله محتوای پروتئینی نسبتاً کم، پروفایل اسیدهای آمینه ضروری نامطلوب، خوش‌خوراکی اندک، وجود مواد ضد تغذیه‌ای و رقابت با سایر بخش‌های صنعت غذا می‌باشند (Gatlin *et al*., 2007; Glencross *et al*., 2007). این امر موجب ترغیب محققین به جستجوی استراتژی‌های جدید برای بهبود کارایی خوراک‌های مبتنی بر پروتئین گیاهی (Gatlin *et al*., 2007; Magalhães *et al*., 2016) و همچنین استفاده از سایر جایگزین‌های پودر ماهی، مانند مواد اولیه با منشأ جانوری از جمله محصولات فرعی کشتارگاه یا پودر حشرات شده است (Moutinho *et al*., 2016; Oliva-Teles *et al*., 2015). بررسی‌های متعددی در زمینه استفاده از حشرات به عنوان مواد تشکیل‌دهنده خوراک آبزیان انجام شده است (Barroso *et al*., 2014; Makkar *et al*., 2014; Sánchez-Muros *et al*., 2014; Van Huis, 2013). حشرات در مقایسه با پروتئین حیوانی رایج، دارای مزایای متعددی ازجمله امکان پرورش بر محصولات جانبی ارگانیک، ضریب تبدیل غذایی مناسب، انتشار سطوح پایین گازهای گلخانه‌ای و آمونیاک، مسائل ساده حقوق حیوانات و خطر کم انتقال عفونت‌های زونوز می‌باشند (Van Huis *et al*., 2013). پتانسیل حشرات برای استفاده در خوراک حیوانات ازجمله می‌تواند اثرات زیست‌محیطی مثبتی نیز داشته باشد؛ درواقع، تولید حشرات موجب کاهش مصرف انرژی و اثرات مخرب زیست محیطی می‌شود (Makkar *et al*., 2014). علاوه بر این، آنها بخشی از رژیم غذایی طبیعی ماهیان آب شیرین و دریایی هستند. در نتیجه علاقه‌مندی محققان برای استفاده از پودر حشرات به عنوان بخشی از خوراک آبزیان بسرعت رشد کرده و اخیراً استفاده از آنها توسط کمیسیون اروپا تایید شده است (Magalhães *et al*., 2017). این مزایا نشان می‌دهد که استفاده از حشرات در فرمولاسیون غذای ماهی علاوه بر اثرات مفید تغذیه‌ای، می‌تواند در تأمین پایدار مواد اولیه برای ساخت خوراک آبزیان نیز کمک کند.

در میان گونه‌های مختلف حشرات دو حشره مگس سرباز سیاه (*Hermetica illucens*)و سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) به دلیل داشتن توانایی تبدیل ضایعات زیستی به ترکیبات با ارزش مغذی مثل پروتئین‌ها، چربی و انرژی می‌توانند به عنوان خوراک مورد استفاده قرار گیرند (Zheng *et al*., 2013). این دو حشره با ترکیب مجدد اسیدهای آمینه و اسیدهای چرب موجود در کود و ضایعات قادر به بازیافت این مواد آلی در زیست‌توده خود هستند. معمولاً این زیست‌توده حاصل حاوی مقادیر بالایی پروتئین و چربی است که باعث می‌شود که این موجودات برای غذاهای حیوانی مورد توجه قرار گیرند (Makkar *et al*., 2014; Henry *et al*., 2015). پودر حاصل از لاروهای مگس سرباز سیاه یک منبع تغذیه‌ای با ارزش تغذیه‌ای بالایی است که غنی از پروتئین و چربی است. گزارش‌ها نشان می‌دهند پروتئین خام آن ۵۷۰-۳۵۰ گرم در کیلوگرم است (Veldkamp *et al*., 2012). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد استفاده از پودر این حشره باعث بهبود عملکرد رشد در بسیاری از ماهیان پرورشی می شود (Newton *et al*., 2005; St-Hilaire *et al*., 2007).

سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) که متعلق به خانواده تنبریونیده[1] است، یکی از نامزدهای امیدوارکننده به عنوان منبع پروتئینی جدید برای جایگزینی پودر ماهی در خوراک آبزیان است. لاروهای سوسک زرد براحتی پرورش می‌یابند و با استفاده از ترکیبی از ضایعات خشک و پخته‌شده میوه‌ها، سبزی‌ها و غلات مختلف رشد می‌کنند. به همین دلیل در حال حاضر این حشره به عنوان ماده خوراکی برای حیوانات خانگی و حیوانات باغ وحش ازجمله پرندگان، خزندگان، پستانداران کوچک، دوزیستان و ماهی به صورت تجاری تولید می‌شود (Makkar *et al*., 2014). پودر لارو سوسک زرد زرد حاوی مقادیر بالای پروتئین خام (۶۹۰-۴۴۰ گرم در کیلوگرم) و چربی ۲۳۰-۴۷۰ گرم در کیلوگرم است (Veldkamp *et al*., 2012).

[1] - Tenebrionidae

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثرات جایگزینی پودر ماهی با پودر لارو سوسک زرد (*T. molitor*) در جیره غذایی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و بررسی اثرات آن بر عملکرد رشد، شاخص‌های خون‌شناسی و ترکیبات بیوشیمیایی خون و همچنین برخی از پاسخ‌های ایمنی غیراختصاصی این ماهی انجام گردید.

مواد و روش کار

ساخت جیره‌های آزمایشی

جهت بررسی اثرات جایگزینی پودر ماهی با پودر سوسک زرد زرد در جیره غذایی بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، ۵ جیره غذایی که در آنها بترتیب ۰ درصد (شاهد)، ۲۵ درصد (TM25)، ۵۰ درصد (TM50)، ۷۵ درصد (TM75) و ۱۰۰ درصد (TM100) جایگزینی پودر ماهی با پودر سوسک زرد تولید شد. جیره نویسی از نرم‌افزار لیندو و مطابق با احتیاجات غذایی بچه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان صورت گرفت (NRC, 2011). جهت تهیه جیره‌های آزمایشی ابتدا اقلام غذایی بر اساس جدول ۱ تهیه شدند و سپس مواد غذایی خشک توسط ترازو توزین و بعد از الک کردن و آسیاب با یکدیگر مخلوط شدند و خمیر حاصل بوسیله چرخ‌گوشت با اندازه چشمه ۲ میلی‌متر پلت و برای خشک‌کردن و کاهش رطوبت به زیر ۱۰ درصد در معرض جریان هوا قرار داده شد. پس از ساخت جیره تا زمان مصرف در کیسه‌های پلاستیکی و کدگذاری شده ،در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Sotoudeh *et al.*, 2013)

شرایط پرورش

بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان با استفاده از تانکر مخصوص حمل ماهی از شهرستان سی سخت استان کهکیلویه و بویراحمد به دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دشتستان منتقل شدند. بعد از طی دوره سازگاری به مدت ۲ هفته و حصول اطمینان از سلامتی بچه ماهیان، ۳۰۰ قطعه بچه ماهی با میانگین وزن اولیه ۰/۵±۱۰ گرم به‌صورت کاملاً تصادفی در ۱۵ تانک فایبرگلاس با تراکم ۲۰ عدد در هر تانک حاوی ۱۰۰ لیتر آب در قالب ۵ تیمار شاهد (۰ درصد)، ۲۵ درصد (TM25)، ۵۰ درصد (TM50)، ۷۵ درصد (TM75) و ۱۰۰ درصد (TM100) و هرکدام با ۳ تکرار، توزیع شدند. به منظور هوادهی و نیاز اکسیژن بچه ماهیان به هر یک از مخزن‌ها یک سنگ هوا که به منبع هواده متصل بود، نصب گردید. غذادهی روزانه در ۳ نوبت و در ساعات ۸، ۱۴ و ۲۰ در حد سیری و به‌صورت دستی انجام شد. در طول دوره آزمایش پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب به صورت روزانه اندازه‌گیری شدند. به طور میانگین درجه حرارت آب ۱۹ درجه سانتی‌گراد، شوری ۴ قسمت در هزار، اکسیژن محلول آب ۷/۵ ppm، سختی آب ورودی ۶۰۰ میلی گرم بر لیتر و pH ۷/۲ بود. آزمایش در سالن سرپوشیده با دوره نوری حدود دوازده ساعت روشنایی و دوازده ساعت تاریکی به مدت ۸ هفته انجام گرفت. عمل سیفون کردن به‌صورت روزانه انجام و باقیمانده غذایی و مدفوع ماهیان از مخازن خارج گردید. آنالیز ترکیب شیمیایی (AOAC, 1990) جیره‌های غذایی مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: ترکیبات مواد مورد استفاده و آنالیز تقریبی جیره‌های آزمایشی

Table 1: Ingredient composition and proximate analysis of experimental diets.

	جیره‌های آزمایشی				
مواد اولیه (٪)	**شاهد**	**TM25**	**TM50**	**TM75**	**TM100**
پودر ماهی[1]	۴۶	۳۴/۵	۲۳	۱۱/۵	۰
پود سویا[1]	۲۰/۱	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
آرد گندم	۷	۷	۷	۷	۷
گلوتن گندم	۱۵	۱۴/۷۴	۱۴/۴۱	۱۴/۰۸	۱۳/۷۵
پودر لارو سوسک زرد	۰	۱۱/۵	۲۳	۳۴/۵	۴۶
روغن ماهی[1]	۳	۳	۳	۳	۳
لسیتین	۲	۲	۲	۲	۲
مواد معدنی[1]	۱	۱	۱	۱	۱
ویتامین	۱	۱	۱	۱	۱
آنتی‌اکسیدان[1]	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
همبند[1]	۳/۸۱	۳/۸۸	۳/۹۲	۳/۹۴	۳/۹۷
روغن آفتاب‌گردان	۱/۱	۱/۳	۱/۶	۱/۹	۲/۲
ترکیب شیمیایی جیره‌ها (درصد ماده خشک)					
پروتئین خام	۵۰/۱۲	۴۹/۵	۴۹/۶۸	۵۰/۲۹	۴۸/۸۹
چربی خام	۱۷/۲	۱۷/۰۵	۱۷/۳۲	۱۶/۸۵	۱۶/۹۶
خاکستر	۹/۱	۹/۴	۸/۹	۸/۶	۹/۵
رطوبت	۸/۱	۷/۶۵	۷/۸۵	۷/۷۲	۷/۱
*انرژی (kj/g diet)	۲۱/۲۸	۲۱/۱۷	۲۱/۳۳	۲۱/۳۲	۲۱/۱۰

* محاسبه انرژی ناخالص رژیم‌های غذایی بر اساس۲۳/۶ کیلوژول انرژی در ۱ گرم پروتئین خام، ۳۹/۵ کیلوژول انرژی در ۱ گرم چربی خام و ۱۷/۲ کیلوژول انرژی در ۱ گرم کربوهیدرات انجام‌شده است

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

(NRC, 2011)

در پایان آزمایش برای بررسی شاخص‌های رشد و تغذیه، غذادهی ماهیان به مدت ۲۴ ساعت قطع گردید و تمام بچه ماهیان هر مخزن خارج شدند و پس از بیهوشی ماهیان با پودر گل میخک (۱۵۰ ppm)، وزن (ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم) و طول (با دقت ۱ میلی‌متر) آنها ثبت گردید. شاخص‌های رشد شامل درصد افزایش وزن بدن، ضریب تبدیل غذایی، ضریب چاقی، ضریب رشد ویژه و نرخ بازده پروتئین با استفاده از معادلات ذیل محاسبه گردید (Wassef *et al*., 2001).

افزایش وزن بدن (گرم) / مقدار غذای خورده شده (گرم) = (FCR) ضریب تبدیل غذایی

۱۰۰ × میانگین وزن اولیه (گرم)/میانگین وزن اولیه (گرم) - میانگین وزن ثانویه (گرم) = (WG) درصد افزایش وزن بدن

{روزهای پرورش/ (لگاریتم طبیعی میانگین وزن اولیه-لگاریتم طبیعی میانگین وزن نهایی)}× ۱۰۰= (SGR) ضریب رشد ویژه

^{3} طول (سانتی‌متر) / ۱۰۰ × وزن نهایی (گرم) = (CF) ضریب چاقی

۱۰۰ × پروتئین مصرفی(گرم) /وزن تر تولیدشده (گرم) = (PER) نرخ بازده پروتئین

(تعداد ماهیان در انتهای آزمایش/تعداد ماهی در شروع آزمایش)×۱۰۰=(درصد)بازماندگی

سنجش‌های خون‌شناسی

جهت کاهش میزان استرس ماهیان، ۲۴ ساعت قبل از نمونه‌برداری غذادهی قطع گردید. پس از بیهوشی ماهیان با استفاده از پودر گل میخک (۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر آب)، و خون‌گیری با استفاده از سرنگ‌های آغشته به هپارین از ساقه دمی ۴ عدد ماهی در هر تکرار انجام شد. جداسازی پلاسما با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه صورت گرفت. جهت محاسبه شاخص کبدی و احشایی، کبد و دستگاه گوارش ۳ قطعه ماهی از هر تکرار با استفاده از تیغ اسکالپل خارج شد (Kader *et al*., 2015).

مقدار هماتوکریت به روش میکروهماتوکریت اندازه‌گیری شد (Řehulka *et al*., 2000). همچنین میزان هموگلوبین به روش سیانومت هموگلوبین در طول‌موج ۵۴۰ nm اندازه‌گیری شد (Blaxhall and Daisley, 1973). به طور خلاصه مقدار ۲۰ میکرولیتر خون منعقد نشده با ۵۰ میلی‌لیتر محلول درابکین مخلوط شد و ۱۰-۵ دقیقه در محیط تاریک قرار داده شد. سپس بوسیله اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر مقدار جذب نوری قرائت و در نهایت مقدار هموگلوبین نمونه مورد نظر محاسبه گردید.

محاسبه اندیس‌های خونی شامل متوسط غلظت هموگلوبین گلبول‌های قرمز (MCHC)، متوسط غلظت هموگلوبین به ازاء هر گلبول قرمز (MCH) و حجم متوسط گلبول قرمز (MCV) بر اساس داده‌های حاصل از شمارش گلبول‌های قرمز و سنجش هموگلوبین و هماتوکریت با استفاده از معادلات ذیل محاسبه شد.

(Mean Corpuscular Volume) MCV (fl) = (تعداد گلبول قرمز میلیون درmm^3/مقدار هماتوکریت) ×۱۰۰

(Mean Corpuscular Hemoglobin)MCH (pg) = (تعداد گلبول قرمز میلیون درmm^3 /مقدار هموگلوبین) ×۱۰

(Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration) MCHC (%) = (مقدار هماتوکریت/ مقدار هموگلوبین) ×۱۰۰

مقدار پروتئین کل و آلبومین سرم با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر و کیت تجاری (کیت تشخیصی شرکت زیست‌شیمی، تهران، ایران) اندازه‌گیری شد. تری‌گلیسیرید، کلسترول کل و گلوکز با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون سنجش شدند. برای اندازه‌گیری مقدار لیپوپروتئین‌های سرم (Low-density lipoprotein) (LDL) و (High-density lipoprotein) (HHDL) از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون و بوسیله دستگاه اتوآنالایزر (Technicon, RA 1000) استفاده گردید و مقادیر آنها برحسب میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بیان شد. میزان آنزیم‌های کبدی نیز با استفاده از کیت‌های تجاری شرکت پارس آزمون و در طول موج ۳۴۰ نانومتر برای آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز (Alkaline phosphatase)(ALP)، آسپارتات آمینو ترانسفراز (Aspartate aminotransferase)(AST)، لاکتات دهیدروژناز (Lactate dehydrogenase) (LDH) و در طول موج ۴۰۵ نانومتر برای آنزیم آلانین آمینو ترانسفراز (Alanine aminotransferase)(ALT) انجام گرفت. در نهایت مقدار آنزیم‌های کبدی بر حسب IU/L گزارش شد.

فعالیت سیستم کمپلمان پلاسما با استفاده از روش الایزا غیر مستقیم و با بکارگیری کیت تجاری انجام گرفت. کیت‌ها با لیپوپلی ساکارید باکتری (*Salmonela typhi* (Sigma) پوشیده شدند و جهت بررسی فعالیت سیستم کمپلمان از مسیر فرعی انتخاب گردیدند. ۵۰ میکرولیتر از پلاسمای نمونه وارد

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

کیت گردید و به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوباسیون صورت گرفت. بعد از شستشو بوسیله محلول بافر فسفات ۰/۰۵ درصد، به فاز جامد (پلیت) محلول آلکالین فسفاتاز متصل به آنتی بادی مونوکلونال C5b-9 افزوده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه دیگر انکوباسیون در دمای اتاق صورت گرفت. شستشوی نهائی با بافر فسفات صورت گرفت و به آن محلول سوبسترا اضافه گردید و برای ۳۰ دقیقه دیگر نیز انکوباسیون صورت گرفت. در نهایت میزان جذب در در طول موج ۴۰۵ نانومتر و با استفاده از دستگاه الایزا قرائت شد. با توجه به یکسانی ساختار مولکولی کورتیزول در مهره‌داران از کیت انسانی و از روش الایزا[1] (Beyea *et al.*, 2005) و با واحد نانوگرم در میلی‌لیتر سنجیده شد.

روش تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS ۱۸ انجام گردید. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-Smironov مورد ارزیابی قرار گرفت و آزمون همگنی واریانس با استفاده از آزمون Levene انجام شد. برای مقایسه شاخص‌های رشد، نتایج خون‌شناسی و شاخص‌های ایمنی بین تیمارهای آزمایشی از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد انجام شد. جهت تعیین میزان مناسب جایگزینی پودر لارو سوسک زرد در جیره غذایی ماهی قزل آلای رنگین کمان بر مبنای افزایش وزن (درصد) از نرم‌افزار Graph pad prism و روش broken-line استفاده شد.

نتایج

جدول ۲ میانگین شاخص‌های رشد و تغذیه بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد را نشان می‌دهد. میانگین وزن نهایی در ماهیان تغذیه‌شده با جیره حاوی ۲۵ درصد پودر سوسک زرد نسبت به تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به طور معنی‌داری بالاتر بود ($p<۰/۰۵$)، اما در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). بچه ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰۰ درصد پودر سوسک زرد نسبت به سایر بچه ماهیان میانگین وزنی پایین‌تری نشان دادند. هرچند این کاهش نسبت به تیمار ۷۵ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). تیمار تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰۰ درصد پودر سوسک زرد کمترین درصد افزایش وزن را در بین تیمارها نشان داد و این اختلاف نسبت به همه تیمارها معنی‌دار بود ($P<0.05$). شاخص ضریب تبدیل غذایی (FCR) روند مشخصی نشان نداد و در تیمار ۷۵ درصد (۰/۰۶±۰/۹۳) نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری داشت ($P<0.05$). شاخص ضریب چاقی (CF) بچه ماهیان تغذیه شده با جیره حاوی ۲۵ درصد در مقایسه با بچه ماهیان تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p<۰/۰۵$) اما نسبت به تیمارهای شاهد و ۵۰ درصد اختلاف معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). ضریب رشد ویژه (SGR)، شاخص کبدی (HSI)، شاخص دستگاه گوارش (VSI) در بین تیمارهای اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p>۰/۰۵$). میزان بازماندگی در همه تیمارها ۱۰۰ درصد بود و در طی آزمایش هیچ‌گونه تلفاتی مشاهده نشد. میزان بهینه جایگزینی پودر ماهی با پودر سوسک زرد در جیره غذایی بچه ماهی قزل آلای رنگین کمان بر مبنای درصد افزایش وزن بر اساس نمودار خط شکسته (broken-line) حدود ۲۵ درصد برآورد گردید (شکل ۱).

جدول ۳ نتایج شاخص‌های خون‌شناسی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد را نشان می‌دهد. تعداد گلبول‌های قرمز در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداد ($p>۰/۰۵$). تعداد گلبول‌های سفید در تیمارهای۵۰ درصد نسبت به تیمارهای شاهد، ۲۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به طور معنی‌داری کمتر بود ($p<۰/۰۵$). میانگین حجم گلبول‌های قرمز (MCV) و میانگین غلظت هموگلوبین در گلبول‌های قرمز (MCHC) نشان ندادند ($p>۰/۰۵$). با افزایش میزان جایگزینی پودر ماهی میزان هموگلوبین کاهش یافت و کمترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ درصد مشاهده شد؛ هرچند این کاهش نسبت به تیمار ۷۵ درصد معنی‌دار نبود ($p<۰/۰۵$). جایگزینی پودر ماهی با مقادیر بالاتر از ۲۵ درصد پودر لارو سوسک زرد باعث کاهش معنی‌دار درصد هماتوکریت گردید ($p<۰/۰۵$) و میزان این شاخص در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به گروه شاهد و تیمار ۲۵ درصد به‌طور معنی‌داری کمتر بود ($p<۰/۰۵$).

جدول ۴ میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی خون بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد را نشان می‌دهد. میزان گلوکز، تری گلیسیرید و HDL در بین گروه‌های مختلف آزمایش اختلاف معنی‌داری نشان ندادند ($p>۰/۰۵$). با افزایش میزان جایگزینی پودر ماهی با پودر لارو سوسک زرد میزان کلسترول پلاسما به طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). بطوریکه بیشترین میزان کلسترول در تیمار ۱۰۰ درصد پودر لارو سوسک زرد مشاهده شد. بر خلاف HDL، شاخص LDL در بین تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$).

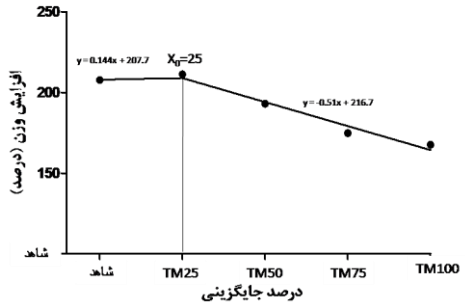
[1] - Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

جدول ۲ : عملکرد رشد (میانگین ± انحراف معیار) بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد
Table 2: Growth performance of juvenile rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm

شاخص‌های رشد	تیمارها				
	شاهد	TM25	TM50	TM75	TM100
وزن اولیه (گرم)	۱۰±۰/۵	۱۰±۰/۵	۱۰±۰/۵	۱۰±۰/۵	۱۰±۰/۵
وزن نهایی (گرم)	۴۱/۷±۰/۷^{ab}	۴۳/۱±۲/۱^{a}	۳۹/۲±۲/۳۷^{bc}	۳۶/۹±۰/۴^{cd}	۳۴/۶±۱/۹^{d}
افزایش وزن (٪)	۲۰۷/۷±۴۴/۷^{ab}	۲۱۱/۳±۵/۷^{a}	۱۹۳/۱±۱۲/۲^{ab}	۱۷۴/۹±۱۸^{ab}	۱۶۷/۶±۸/۳^{c}
ضریب تبدیل غذایی	۰/۷۶±۰/۱^{b}	۰/۸۱±۰/۰۲^{ab}	۰/۸۷±۰/۰۵^{ab}	۰/۹۳±۰/۰۶^{a}	۰/۸۴±۰/۰۶^{ab}
ضریب چاقی	۱/۲۵±۰/۰۴^{ab}	۱/۳۴±۰/۰۳^{a}	۱/۲۸±۰/۰۴^{ab}	۱/۲۱±۰/۰۵^{b}	۱/۲۳±۰/۰۳^{b}
ضریب رشد ویژه (%day^{-1})	۲/۳۱±۰/۲۵^{a}	۲/۲۷±۰/۰۳^{a}	۲/۱۲±۰/۰۹^{a}	۲/۱۲±۰/۱۳^{a}	۲/۰۸±۰/۰۷^{a}
شاخص کبدی (٪)	۱/۲۲±۰/۰۶^{a}	۱/۲۷±۰/۰۵^{a}	۱/۲۴±۰/۰۶۶^{a}	۱/۳۴±۰/۱۳^{a}	۱/۱۹±۰/۱۰^{a}
شاخص احشائی (٪)	۱۱/۰۳±۱/۵^{a}	۱۲/۴۵±۰/۵^{a}	۱۲/۲۰±۱/۱^{a}	۱۲/۶۵±۰/۴^{a}	۱۱/۶۴±۱/۳^{a}
بازماندگی (٪)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

حروف غیرمشابه در هر ردیف، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در شاخص‌های مذکور می‌باشند (p<۰/۰۵).



شکل ۱: رابطه بین درصدهای مختلف جایگزینی پودر سوسک زرد و درصد افزایش وزن بچه ماهیان در تیمارهای مختلف. بر اساس نمودار خط شکسته (broken-line) نقطه X_0، نقطه تلاقی دو خط می‌باشد که حد بهینه جایگزینی را نشان می دهد.

Figure 1: The relationship between different percentages of mealworm and of weight gain (broken-line) of different treatments.

جدول ۳: نتایج شاخص‌های خونی (میانگین ± انحراف معیار) بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد .

Table 3: Haematological traits (mean±SD) of juvenile rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm.

شاخص‌های خونی	تیمارها				
	شاهد	TM25	TM50	TM75	TM100
RBC (10^6/mm^3)	۱/۲۸±۰/۰۳^{a}	۱/۲۴±۰/۱۳^{a}	۱/۱۳±۰/۰۸^{a}	۱/۱۳±۰/۱۲^{a}	۱/۲۵±۰/۰۳^{a}
WBC (10^4/mm^3)	۱/۳۳±۰/۰۳^{c}	۱/۵۲±۰/۰۳^{a}	۱/۴۰±۰/۰۵^{b}	۱/۴۶±۰/۰۳^{ab}	۱/۴۷±۰/۰۳^{a}
MCV (fl)	۳۷۷/۶±۶/۴^{a}	۴۰۱/۵±۵۰/۳^{a}	۳۷۵/۶±۲۸/۱^{a}	۳۷۷/۴±۱۳/۱^{a}	۳۴۱/۶±۳۸/۱^{a}
MCH (pg/cell)	۶۲/۷±۱/۸^{ab}	۶۸/۳±۸/۷^{a}	۶۹/۹±۷/۱^{a}	۶۶/۲±۵/۹^{a}	۵۳/۴±۴/۸^{b}
MCHC (g/dL)	۲۰/۹±۰/۷^{a}	۲۱/۳±۰/۶^{a}	۲۴/۴±۲/۱^{a}	۲۲/۹±۲/۱^{a}	۲۰/۵±۲/۸^{a}
Hb (g/dL)	۸/۰۳±۰/۴^{ab}	۸/۴۰±۰/۴^{a}	۷/۸۷±۰/۲^{ab}	۷/۴۷±۰/۵^{bc}	۶/۸۳±۰/۷^{c}
Hct (%)	۴۸/۴±۱/۶^{ab}	۴۹/۳±۱/۱^{a}	۴۲/۳±۲/۵^{c}	۴۲/۷±۳/۱^{c}	۴۳/۷±۴/۱^{c}

حروف غیرمشابه در هر ردیف نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در شاخص‌های مذکور می‌باشند (p<۰/۰۵).

میزان پروتئین کل، آلبومین و گلوبولین پلاسما در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان دادند (P<0.05). کمترین میزان پروتئین کل و آلبومین پلاسما در تیمار ۱۰۰ درصد جایگزینی مشاهده شد و این کاهش نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (p<۰/۰۵). شاخص نسبت آلبومین به گلوبولین پلاسما و میزان ایمونوگلوبولین نوع IgM پلاسما در بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری نشان نداد (p>۰/۰۵). شکل ۲ نشان می‌دهد شاخص ایمنی مسیر کمپلمان (ACH50) نیز تغییرات معنی‌داری در بین گروه‌های آزمایشی نداشته است (p>۰/۰۵).

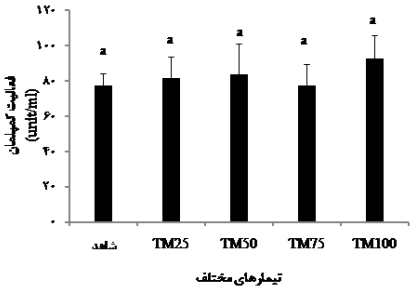
[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

جدول ۴: شاخص‌های بیوشیمیایی خون (میانگین±انحراف معیار) بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر سوسک زرد .

Table 3: Blood biochemical traits (mean±SD) of rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm.

شاخص‌ها	تیمارهای مختلف				
	شاهد	TM25	TM50	TM75	TM100
گلوکز (mg/dL)	۳۶/۰±۸/۵^{a}	۳۵/۰±۱/۰^{a}	۳۲/۰±۲/۵^{a}	۳۵/۷±۴/۰۴^{a}	۳۶/۹±۷^{a}
تری گلیسیرید(mg/dL)	۳۲۶/۳±۱۳۶^{a}	۷۸۵/۰±۳۴۵^{a}	۵۴۴/۷±۴۲^{a}	۷۲۸/۰±۲۲۹^{a}	۹۹۹/۶±۱۰۷^{a}
کلسترول (mg/dL)	۳۲۶/۳±۴۷^{c}	۳۹۳/۷±۴۵^{bc}	۴۲۲/۰±۱۰^{bc}	۴۷۴/۳±۹۴^{ab}	۵۶۰/۳±۶۸^{a}
HDL (mg/dL)	۲۲۸/۱±۵۹/۳^{a}	۲۱۸/۰±۳۰/۸^{a}	۲۴۵/۶±۶/۶۵^{a}	۲۴۲/۳±۲۹/۱^{a}	۲۷۰/۰±۲۵/۲^{a}
LDL (mg/dL)	۱۴۸/۷±۲۸/۰۴^{ab}	۱۰۷/۰±۱۲/۶^{b}	۱۷۳/۳±۱۶/۶^{a}	۱۷۱/۶±۱۰/۹^{a}	۱۹۳/۳±۳۷/۵^{a}
پروتئین کل (g/dL)	۵/۶۰±۰/۲۰^{a}	۵/۰±۰/۴۳^{b}	۵/۱۳±۰/۰۶^{ab}	۵/۱۰±۰/۳۶^{ab}	۴/۳۷±۰/۳^{c}
آلبومین (g/dL)	۲/۳۶±۰/۱^{a}	۲/۱۳±۰/۳^{ab}	۲/۰۷±۰/۱^{b}	۱/۹۳±۰/۱^{b}	۱/۸±۰/۱^{b}
گلوبولین (g/dL)	۲/۷۳±۰/۱^{ab}	۳/۰۷±۰/۴^{a}	۲/۵۷±۰/۵^{ab}	۲/۱۳±۰/۱^{b}	۲/۲±۰/۲^{b}
آلبومین:گلوبولین	۰/۸۶±۰/۰۶^{a}	۰/۷۱±۰/۱۵^{a}	۰/۸۳±۰/۱۷^{a}	۰/۹۰±۰/۰۵^{a}	۰/۸۶±۰/۱^{a}
IgM (g/dL)	۰/۲۴±۰/۰۴^{a}	۰/۲۶±۰/۰۵^{a}	۰/۲۷±۰/۰۸^{a}	۰/۲۵±۰/۰۶^{a}	۰/۲۷±۰/۰۶^{a}

حروف غیرمشابه در ردیف‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در شاخص‌های مذکور می‌باشند (p<۰/۰۵).



شکل ۲: فعالیت مسیر کمپلمان (میانگین ± انحراف معیار) پلاسمای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد . حروف غیر مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد (p<۰/۰۵).

Figure 2: Plasma alternative complement activity (mean±SD) of rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm. Bars with different letters are significantly different (p < 0.05).

جدول ۵ فعالیت آنزیم‌های کبدی بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد را نشان می‌دهد. فعالیت آنزیم‌های آسپارتات ترانس آمیناز (AST) و آلانین آمینوترانسفراز (ALT) در بین بچه ماهیان تیمارهای مختلف آزمایشی اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (p>۰/۰۵). بهرحال، فعالیت آنزیم آلکالین فسفاتاز (ALK) در تیمار تغذیه شده با جیره حاوی ۱۰۰ درصد لارو سوسک زرد به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود (p<۰/۰۵).

شکل ۳ میزان هورمون کورتیزول پلاسمای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که میزان این هورمون در بین تیمارهای آزمایشی اختلاف معنی‌داری ندارد (p>۰/۰۵).

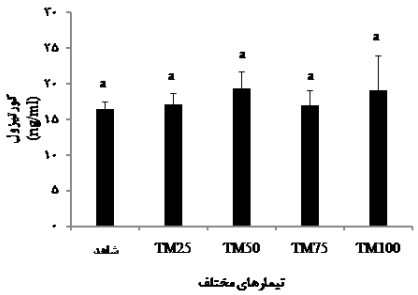
جدول ۵: فعالیت آنزیم‌های کبدی (میانگین± انحراف معیار) بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد .

Table 5: Liver enzyme activity (mean±SD) of rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm.

تیمارها	آنزیم		
	AST (IU/L)	ALT (IU/L)	ALK (U/L)
شاهد	۷۸۹/۳۳±۷۳/۴^{a}	۴۲/۶۷±۶/۸^{a}	۱۲۰۵/۰±۱۴۴/۱^{bc}
TM25	۶۶۰/۶۶±۳۳/۲^{a}	۴۰/۰۰±۴/۴^{a}	۱۰۹۷/۳±۵۶/۹^{c}
TM50	۵۶۹/۳۳±۳۰/۵^{a}	۴۶/۳۳±۸/۳^{a}	۱۴۴۶/۳±۱۹۹/۲^{b}
TM75	۸۸۲/۳۳±۶۸/۱^{a}	۴۶/۳۳±۵/۵^{a}	۱۳۶۰/۳±۵۳/۷^{bc}
TM100	۸۵۴/۳±۴۹/۶^{a}	۵۸/۰۰±۴/۳^{a}	۱۷۳۳/۶±۲۰۱/۱^{a}

حروف غیرمشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف آماری در شاخص‌های مذکور می‌باشند (p<۰/۰۵). AST، آسپارتات ترانس آمیناز؛ ALT، آلانین آمینوترانسفراز؛ ALK، آلکالین فسفاتاز.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]



شکل ۳: میزان هورمون کورتیزول (میانگین±انحراف معیار) پلاسمای بچه ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه شده با جیره‌های حاوی سطوح مختلف لارو سوسک زرد . حروف غیر مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار در بین تیمارها می‌باشد (p<۰/۰۵).

Figure :. The levels of plasma cortisol (mean±SD) of rainbow trout fed experimental diets containing different levels of mealworm. Bars with different letters are significantly different (p < 0.05).

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد جایگزینی پودر ماهی جیره با پودر لارو *T. molitor* تا سطح ۲۵ درصد تأثیر منفی بر عملکرد رشد قزل‌آلای رنگین‌کمان نداشت و بالاترین میانگین وزن نهایی و درصد افزایش وزن در ماهیان تغذیه شده با جیره ۲۵ درصد جایگزینی مشاهده شد. درحالیکه استفاده از سطوح بالاتر پودر لارو TM موجب کاهش عملکرد رشد و ضریب تبدیل غذایی در ماهیان مورد آزمایش گردید. نتایج تحقیق ما با نتایج مطالعاتی که نشان می‌دهند سطوح بالای پودر حشرات موجب کاهش عملکرد رشد ماهی می‌شوند، همخوانی دارد (Sánchez-Muros *et al*., 2014). در تحقیقی مشابه، Piccolo و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که استفاده از سطوح بالاتر از ۵۰ درصد لارو سوسک زرد در غذای ماهی *Sparus aurata* موجب تأثیر منفی بر قابلیت هضم مواد مغذی در این ماهی می‌گردد. تغذیه گربه‌ماهی کانال با استفاده از جیره‌های حاوی سطوح بالای سوسک زرد یا تغذیه این ماهی با سوسک زرد (به عنوان تنهای غذای مورد استفاده) موجب کاهش عملکرد رشد و همچنین کاهش مصرف خوراک و پروتئین شده است (Ng *et al*., 2001). نتایج مطالعه دیگری نشان داد جایگزینی سطوح بالاتر از ۳ درصد مگس سرباز سیاه موجب کاهش معنی‌دار ضریب رشد ویژه و افزایش ضریب تبدیل غذایی در بچه ماهیان توربوت (*Psetta maxima*) می‌گردد (Kroeckel *et al*., 2012). بااین‌حال برخلاف نتایج این مطالعه، جایگزینی ۱۰۰ درصدی پودر ماهی با پودر سرباز سیاه هیچ‌گونه تأثیری منفی بر عملکرد رشد اسمولت های ماهی آزاد اقیانوس اطلس و ماهی کپور (*Cyprinus carpio* var.) (p<۰/۰۵) نداشته است (Lock *et al*., 2016; Li *et al*., 2016). بنظر می‌رسد این نتایج متناقض می‌تواند به دلیل متفاوت بودن گونه ماهی، وزن ماهی مورد آزمایش، گونه حشره مورد استفاده، نحوه تغذیه و روش فرآوری حشره باشد (Tschirner and Simon, 2015).

کاهش عملکرد رشد، مصرف غذا و پروتئین در ماهی قزل‌آلا در سطوح بالای پودر لارو حشره می‌تواند به دلیل حضور کیتین در اسکلت خارجی لارو حشره باشد. کیتین پلیمر گلوکز آمینی است که در حلال‌های عمومی، به صورت نامحلول می‌باشد. فیبر خام موجود در پودر لارو سوسک زرد حاوی کیتین و دیواره سلولی است که مشابه آن در گیاهان سلولز، همی سلولز و لیگنین است (Ng *et al*., 2001). Marono و همکاران (۲۰۱۵) پیشنهاد کردند که وجود کیتین در حشرات با کاهش زمان انتقال غذا در روده و جلوگیری از تجزیه آنزیمی پروتئین‌ها موجب کاهش قابلیت هضم پروتئین می‌گردد. از سوی دیگر، حضور پروتئازها و کربوهیدراتاز (برای مثال، بتا-گلوکاناز) در پودر لارو حشراتی مانند سوسک زرد می‌تواند به طور غیرمستقیم فعالیت گوارشی را نسبت به کیتین حشرات کاهش دهند (Gasco *et al*., 2016).

شاخص‌های خون‌شناسی ابزار ارزشمندی برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژیک و سلامتی حیوانات هستند، زیرا این شاخص‌ها به طور قابل توجهی در برابر تغییرات مقاوم هستند. به همین دلیل می‌توان از نتایج آن برای بررسی وضعیت سیستم ایمنی استفاده کرد (Maita, 2007). در این مطالعه برخی از شاخص‌های خون‌شناسی مانند تعداد گلبول های سفید، MCH، هموگلوبین و هماتوکریت تحت تأثیر جایگزینی پودر لارو سوسک زرد قرار گرفتند. افزایش تعداد WBC می‌تواند در نتیجه یک واکنش محافظتی بدن در طول استرس باشد (Das *et al*. 2006). کاهش میزان گلبول‌های قرمز و کاهش همزمان هموگلوبین و هماتوکریت می‌تواند نشان‌دهنده کم‌خونی ماهی در نتیجه مهار ساخت گلبول‌های قرمز در اندام‌های خون‌ساز باشد (Ates *et al*., 2008). در زمینه اثرات پودر حشرات بر شاخص‌های خون‌شناسی ماهی مطالعات چندانی وجود ندارد. نتایج یک

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

بررسی نشان داد استفاده از لارو حشره (*Musca dometica*) به عنوان مکمل در جیره گربه‌ماهی آفریقایی (*Clarias gariepinus*) اثرات معنی‌داری بر شاخص‌های خون‌شناسی این ماهی دارد. بنظر می‌رسد برای نتیجه‌گیری در این زمینه می‌بایست مطالعات بیشتری انجام گیرد.

سطح گلوکز پلاسمای ماهیان در طول استرس افزایش می‌یابد که احتمالاً به علت فعالیت هورمون‌های کاتکولامین و شکسته شدن گلیکوژن ذخیره شده در کبد و سایر بافت‌ها می‌باشد (Pottinger, 1998). در مطالعه حاضر میزان گلوکز پلاسمای بچه ماهیان تحت تأثیر سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد قرار نگرفت. از سویی، میزان هورمون کورتیزول به عنوان یک هورمون شاخص استرس نیز ۱۸-۱۶ ng/mL در تیمارهای مختلف قرار داشت و این تغییرات از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد. با توجه به نتایج گلوکز و کورتیزول می‌توان گفت احتمالاً ماهیان آزمایشی در این مطالعه تحت هیچگونه تنشی در ارتباط با جیره‌های مختلف قرار نگرفتند. میزان کلسترول و تری گلیسیرید پلاسما با افزایش میزان پودر سوسک زرد در جیره به طور معنی‌داری افزایش یافت. بررسی ترکیب اسیدهای چرب لارو سوسک زرد نشان می‌دهد که اسید چرب اولئیک (C18:1-n9)، اسید چرب غالب (۴۱-۳۹ درصد اسیدهای چرب) لاشه این نوع حشره می‌باشد و میزان اسیدهای چرب بلند زنجیر غیراشباع آن مانند ایکوزانوئیک اسید (EPA[1]) و دوکوزاهگزانوئیک اسید (DHA[2]) بسیار ناچیز است (Finke, 2002). تحقیقات انجام شده بر سلول‌های کبدی موش نشان می‌دهد که اسید چرب اولئیک سبب افزایش بیوسنتز تری‌آسیل گلیسرول در سلول‌های کبد می‌گردد، در حالیکه اسیدهای چرب EPA و DHA سنتز تری‌آسیل گلیسرول توسط سلول‌های کبدی را کاهش می‌دهد (Nossen Sotoudeh *et al*., 1986) و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند افزایش میزان اسیدهای چرب EPA و DHA در جیره ماهی آزاد دریای خزر (*Salmo trutta caspius*) موجب کاهش بیوسنتز تری گلیسیرید در این ماهی می‌شود. بر خلاف این نتایج تغذیه ماهی سی‌باس اروپایی (Dic*entrarchus labrax*) و کپور معمولی با مگس سرباز سیاه (*Hermetia illucens*) با موجب کاهش کلسترول پلاسما گردید. در حالیکه میزان تری گلیسیرید در هر دو گونه ماهی بدون تغییر باقی ماند. در مطالعه دیگری تغذیه بچه ماهی هامور (*Epinephelus lanceolatus* × *Epinephelus fuscoguttatus*) با پودر سوسک زرد موجب کاهش تری گلیسیرید پلاسما گردید.

لیپوپروتئین‌ها به عنوان حامل‌های اصلی چربی‌ها و سایر ترکیبات هیدروفوبیک عمل می‌کنند (Ando and Mori, 1993). احتمالاً تغییرات در ترکیب چربی‌های ماهی بسیاری از فرآیندهای موجود در بدن ازجمله لیپوژنز، رسوب و ذخیره‌سازی چربی، انتقال لیپید با لیپوپروتئین‌ها و جذب اسیدهای چرب در بافت‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sheridan, 1988). در این بررسی با افزایش سطح جایگزینی پودر لارو سوسک زرد میزان لیپوپروتئین‌های کم‌چگالی (LDL) پلاسمای بچه ماهیان آزمایشی افزایش یافت. کلسترول کل و LDL پلاسما تحت تأثیر اسیدهای چرب اشباع افزایش و در اثر تغذیه با اسیدهای چرب غیراشباع لینولئیک، EPA و DHA کاهش می‌یابند (Spady, 1993). بنظر می‌رسد کاهش پودر ماهی و افزایش میزان پودر سوسک زرد با کاهش میزان اسیدهای چرب غیراشباع موجب افزایش میزان این نوع لیپوپروتئین‌های در پلاسما گردیده است.

گلوبولین تقریباً منبع تمامی پروتئین فعال ایمونولوژیک در خون است. گلوبولین‌ها مانند گاما گلوبولین برای سلامت سیستم ایمنی ضروری هستند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد مقادیر آلبومین و گلوبولین سرم در ماهیانی که با محرک‌های ایمنی مختلف تغذیه می‌شوند، بالاتر از گروه شاهد است (Wiegertjes *et al*., 1996). در نتیجه، تصور می‌شود که افزایش سطح پروتئین، آلبومین و گلوبولین سرم با قدرت سیستم ایمنی ماهیان همراه است (Wiegertjes *et al*., 1996). در این بررسی فعالیت همولیتیک کمپلمان پلاسما، در گروه‌های آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. سطح فعالیت مسیر کمپلمان که مستقل از آنتی‌بادی است، در سرم ماهی در مقایسه با سرم پستانداران بسیار بالاست (Yano, 1996) و این نشان می‌دهد که این مسیر در ماهی نسبت به پستانداران اهمیت بیشتری دارد. پروتئین‌های مکمل نقش‌های چندمنظوره‌ای از جمله اپسونیزاسیون، لیز و کشتار باکتری‌ها، کموتاکسی و آنافیلاکسی را در دفاع از میکروارگانیسم‌ها اعمال می‌کنند (Goldstein, 1988). در ماهی، سطوح اندک کیتین سخت‌پوستان موجب افزایش عملکرد سیستم ایمنی و افزایش مقاومت در برابر بیماری در ماهی کپور معمولی و سیم دریایی سر طلایی شده است (Esteban *et al*., 2001; Gopalakannan and Arul, 2006). حشرات، از جمله سوسک زرد حاوی مقادیر مختلفی کیتین هستند (Finke, 2007). هرچند ترکیبات کیتین حشرات با کیتین موجود در سخت‌پوستان متفاوت است (Henry *et al*., 2015). مطالعات اندکی در زمینه ارتباط بین مصرف خوراکی حشرات و عملکرد سیستم ایمنی ماهی گزارش شده است. Henry و همکاران

[1] - Eicosapentaenoic Acid
[2] - Docosahexaenoic Acid

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

(۲۰۱۸) با طرح سه فرضیه اثرات پودر سوسک زرد جیره به تنهایی، همراه با آنزیم‌های پروتئیناز یا کربوهیدراتاز بر عملکرد سیستم ایمنی غیراختصاصی ماهی سی‌باس اروپایی را مورد بررسی قرار دادند. آنها حدس زدند کیتین موجود در سوسک زرد می‌تواند دارای خواص محرک ایمنی و ضد التهابی باشد. همچنین نسبت پایین اسیدهای چرب امگا ۳ به امگا ۶ موجود در این حشره می‌تواند ترکیب اسیدهای چرب سلول‌های ایمنی و در نتیجه، عملکرد آنها را تغییر دهد. از سویی، تغییرات ترکیب اسیدهای چرب بشدت غیراشباع به عنوان پیش‌ساز ایکوزانوئیدها، می‌تواند برخی از عملکردهای ایمنی را تغییر دهد و شباهت بین ترکیبات شیمیایی اسکلت خارجی حشرات و موجودات بیماری‌زا می‌تواند به عنوان یک محرک ایمنی عمل کند و سیستم دفاعی ماهی را قدرتمندتر سازد. نتایج آنها نشان داد پودر سوسک زرد برخی از شاخص‌های ایمنی ماهی سی‌باس اروپایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Henry *et al*., 2018).

سلول‌های کبدی به وضعیت تغذیه ماهی و کیفیت غذا بسیار حساس هستند (Brusle and Anadon, 1996) و افزایش فعالیت آنزیم‌های کبدی نشان‌دهنده آسیب دیدن سلول‌ها می‌باشد (Mohieldein *et al*., 2013). در این مطالعه آنزیم‌های کبدی آسپارتات ترانس آمیناز و آلانین آمینوترانسفراز به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف پودر لارو سوسک زرد قرار نگرفتند. با این‌حال، آلکالین فسفاتاز تغییرات معنی‌داری در گروه‌های آزمایشی نشان داد و بالاترین میزان این آنزیم در گروه تغذیه با جیره حاوی ۱۰۰ پودر حشره مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که احتمالاً سطوح بالای پودر سوسک زرد موجب آسیب رساندن به سلول‌های کبدی می‌شود. Li و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند، استفاده از سطوح بالاتر از ۷۰ درصد حشره سرباز سیاه موجب نکروز سلول‌های کبدی کپور معمولی می‌گردد. هرچند این نکروز چندان شدید گزارش نشد و تاثیر معنی‌داری بر میزان آنزیم‌های کبدی این ماهی نداشت.

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد جایگزینی بخشی از پودر ماهی (تا سطح ۲۵ درصد) جیره، هیچگونه تأثیر منفی بر عملکرد رشد و شاخص‌های ایمنی بچه ماهیان قزل آلای رنگین کمان ندارد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه خلیج فارس انجام شد. نویسندگان مقاله از تمام همکارانی که در انجام این تحقیق یاریگر آنها بودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

AOAC, 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th ed. AOAC, Arlington, VA.

Ando, S. and Mori, Y., 1993. Characteristics of serum lipoprotein features associated with lipid levels of muscle and liver from five species of fish. *Nippon Suisun Gakkaishi*, 59: 1565-1571.

Ates, B., Orun, I., Talas, Z. S., Durmaz, G. and Yilmaz, I., 2008. Effects of sodium selenite on some biochemical and hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) exposed to Pb^{2+} and Cu^{2+}. *Fish Physiology and Biochemistry*, 34(1): 53–9. DOI: 10.1007/s10695-007-9146-5

Barroso, F., de Haro, C., Sánchez-Muros, M., 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. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.024

Barrows, F.T., Stone, D.A.J. and Hardy, R.W., 2007. The effects of extrusion conditions on the nutritional value of soybean meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 265: 244–252. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.01.017

Beyea, M.M., Benfey, T.J. and Kieffer, J.D., 2005. Hematology and stress physiology of juvenile diploid and triploid shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*). *Fish Physiology Biochemistry*, 31: 303–313. DOI: 10.1007/s10695-005-1552-y

Blaxhall, P. and Daisley, K., 1973. Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of fish biology*, 5(6): 771-781. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x

Brusle, J. and Anadon, G.G., 1996. The structure and function of fish liver. In: *Fish Morphology*, pp. 77–93.

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

Das, P.C., Ayyappan, S. and Jena, J.K., 2006. Haematological changes in the three Indian major carps, *Catla catla* (Hamilton), *Labeo rohita* (Hamilton) and *Cirrhinus mrigala* (Hamilton) exposed to acidic and alkaline water pH. *Aquaculture*, 256: 80–87. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.02.019

Esteban, M.A., Cuesta, A., Ortuno, J. and Meseguer, J., 2001. Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune system. *Fish and Shellfish Immunology*, 11: 303-315. DOI: 10.1006/fsim.2000.0315

FAO, 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to Food Security and Nutrition for All. FAO, Rome, 200P.

Finke, M.D., 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21: 269–285. DOI: 10.1002/zoo.10031

Finke, M.D., 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology*, 26: 105–115. DOI: 10.1002/zoo.20123

Gasco, L., Henry, M., Piccolo, G., Marono, S., Gai, F., Renna, M., Lussiana, C., Antonopoulou, E., Mola, P. and Chatzifotis, S., 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 220: 34–45. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003

Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G.S., Krogdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R. and Wurtele, E., 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*, 38: 551–579. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x

Glencross, B.D., Booth, M. and Allan, G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture Nutrition*, 13: 17–34. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x

Goldstein, I.M., 1988. Complement: Biologically active products. In Inflammation: Basic Principles and Clinical Correlates, pp. 55–74 [Gallin, J.I., Goldstein, I.M. and Snyderman, R. editors]. New York: Raven Press.

Gopalakannan, A. and Arul, V., 2006. Immunomodulatory effects of dietary intake of chitin, chitosan and levamisole on the immune system of *Cyprinus carpio* and control of *Aeromonas hydrophila* infection in ponds. *Aquaculture*, 255: 179-187. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.01.012

Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G. and Fountoulaki, E., 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science Technology*, 203: 1–22. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001

Henry, M. A., Gasco, L., Chatzifotis, S. and Piccolo, G., 2018. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax. Developmental and Comparative Immunology*, 81: 204-209. DOI: 10.1016/j.dci.2017.12.002

Kader, M.A., Bulbul, M., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Nguyen, B.T. and Komilus, C.F., 2015. Effect of complete replacement of fishmeal by dehulled soybean meal with crude attractants supplementation in diets for red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 350-353: 109–116. http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.009

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

Kroeckel, S., Harjes, A. G. E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A. and Schulz, C., 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute — Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364–365: 345–352. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.08.041

Li, S., Ji, H., Zhang, B., Tian, J., Zhou, J. and Yu, H., 2016. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*, 465: 43–52. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.020

Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J. and Yu, H., 2017. Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 477: 62–70. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.015

Lock, E. R., Arsiwalla, T. and Waagbø, R., 2016. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22(6): 1202-1213. DOI: 10.1111/anu.12343

Magalhães, R., Lopes, T., Martins, N., Díaz-Rosales, P., Couto, A., Pousão-Ferreira, P., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2016. Carbohydrases supplementation increased nutrient utilization in white seabream (*Diplodus sargus*) juveniles fed high soybean meal diets. *Aquaculture*, 463: 43–50. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.05.019

Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R.S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476: 79–85. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.04.021

Maita, M., 2007. Fish health assessment. In: Nakagawa H, Sato M, Gatlin DM, editors. Dietary supplements for the health and quality of cultured fish. CAB International, UK, London.

Makkar, H., Tran, G., Henze, V. and Ankers, P., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science Technology*, 197: 1–33. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008

Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di Meo, C., Attia, Y. A., Nizza, A. and Bovera, F., 2015. In vitro crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3): 38-89. DOI: 10.4081/ijas.2015.3889

Mohieldein, A., Hyder, M.A. and Hasan, M., 2013. Comparative levels of ALT, AST, ALP and GGT in liver associated diseases. *European Journal of Experimental Biology*, 3: 280–284.

Moutinho, S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A. and Peres, H., 2016. Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. *Aquaculture*, 468: 271–277. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.10.024

Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G. and Dove, R., 2005. Using the Black Soldier fly, *Hermetia illucens*, as a Value-added Tool for the Management of Swine Manure. University of Georgia, Tifton, USA.

Ng, W.K., Liew, F.L., Ang, L.P. and Wong,

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

K.W., 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32: 273-280. DOI: 10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x

Nossen, J. O., Rustan, A. C., Gloppestad, S. H., Malbakken, S. and Drevon, C., 1986. Eicosapentaenoic Acid Inhibits Synthesis and Secretion of Triacylglycerols by Cultured Rat Hepatocytes. Biochimica et Biophysica Acta, 879: 56–65. DOI: 10.1016/0005-2760(86)90266-3

NRC, 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academic Press, Washington, D.C.

Oliva-Teles, A., Enes, P. and Peres, H. 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In: Davis, D.A. (Ed.), Feed and Feeding Practice in Aquaculture. Woodhead Publishing, Cambridge.

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*). *Animal Feed Science and Technology*, 226: 12-20. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.02.007

Pottinger, T.G., 1998. Changes in blood cortisol, glucose and lactate in carp retained in anglers' keepnets. *Journal of Fish Biology*, 53: 728–742. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1998.tb01828.x

Řehulka, J. 2000. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture, 190(1): 27-47. DOI: 10.1016/S0044-8486(00)00383-5

Sánchez-Muros, M., Barroso, F. and Manzano-Agugliaro, F., 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65: 16–27. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.068

Sheridan, M.A., 1988. Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 90B: 679–690. DOI: 10.1016/0305-0491(88)90322-7

Sotoudeh. E., Abedian kenari, A. and Khodabande, S., 2013. Apparent lipid and fatty acid digestion, retention of lipid and growth performance in Caspian salmon (*Salmo trutta caspius*) fry fed dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and vitamin E. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 22 (3): 74-90.

Sotoudeh, E., Abedian Kenari, A., Khodabandeh, S. and Oujifard, A., 2015. Histological and fatty acids changes in Caspian salmon (*Salmo trutta caspius* Kessler, 1877) fed diets with different levels of vitamins E and highly unsaturated fatty acids (HUFA). *Journal of Aquatic Ecology*, 5 (3): 124-138

Sotoudeh, E., Amiri Moghaddam, J., Shahhosseini, G. and Aramli, M. S., 2016. Effect of Dietary Gamma-irradiated and Fermented Soybean Meal on the Growth Performance, Body Composition, and Digestive Enzymes Activity of Caspian Brown Trout, *Salmo trutta caspius*, Juvenile. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47: 830–842. DOI: 10.1111/jwas.12297

Spady, D.K., 1993. Regulatory effects of individual n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids on LDL transport in the rat. *Journal of Lipid Research*, 34: 1337–1346.

St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E. and Hardy, R., Sealey, W., 2007. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 38: 59–67. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

Tschirner, M., and Simon, A., 2015. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food*, 1(3): 1-12. DOI: 10.3920/JIFF2014.0008

Van Huis, A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58: 563–583. DOI: 10.1146/annurev-ento-120811-153704

Van Huis, A., Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Vantomme, P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. In: FAO Forestry Paper. No 171. 187P.

Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., Van Huis, A., Iakemond, C.M.M., Ottevanger, E., Bosch, G. and Van Boekel, M.A.J.S., 2012. Insects as a Sustainable Feed Ingredient in Pig and Poultry Diets – A Feasibility Study. Wageningen Wageningen, The Netherlands.

Wassef, E.A., Masry, M.H. El. and Mikhail, F.R., 2001. Growth enhancement and muscle structure of striped mullet, *Mugil cephalus* L., fingerlings by feeding algal meal-based diets. *Aquaculture Research*, 32(1): 315–322. DOI:10.1046/j.1355-557x.2001.00043.x

Wiegertjes, G.F., Stet, R.M., Parmentier, H.K. and van Muiswinkel, W.B., 1996. Immunogenetics of disease resistance in fish: a comparative approach. *Developmental and Comparative Immunology*, 20(6): 365-381. DOI: 10.1016/S0145-305X(96)00032-8

Yano, T., 1996. The non-specific immune system. In: Iwama, G. and Nakanishi, T. (Eds.), The Fish Immune System: Organism, Pathogen and Environment. Academic Press, San Diego, pp. 105–157.

Yazdani Sadati, M. and Rezaii, E., 2013. The effect of processed soy bean meal (SPH) on growth and body composition of juvenile fish *Acipenser baerii*. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 23 (4): 73-84.

Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q. and Yu, Z., 2013. Exploring the potential of grease from yellow mealworm beetle (*Tenebrio molitor*) as a novel biodiesel feedstock. *Applied Energy*, 101: 618–621. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.06.067

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]
[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]
[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

Effects of dietary replacement of fishmeal by yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae meal on growth performance, hematological indices and some of non-specific immune responses of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Valipour M.[1]; Oujifard A.[1*]; Hosseini A.[1]; Sotoudeh E.[1*]; Bagheri D.[1]

[*]Oujifard@pgu.ac.ir

1- Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

[Downloaded from isfj.ir on 2025-08-02]

[DOR: 20.1001.1.10261354.1398.28.2.10.3]

[DOI: 10.22092/ISFJ.2019.118906]

Abstract

8-week feeding trial was conducted for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to determine the optimal amount of *Tenebrio molitor* meal (TM) that could replace fishmeal in feeds without reducing growth performance, hematological indices and non-specific immune responses. Five isonitrogenous and isolipidic diets were formulated with TM replacing 0% (Control), 25% (TM25), 50% (TM50), 75% (TM75) and 100% (TM100) fishmeal respectively. Each diet was randomly divided into triplicate groups with 20 juveniles (initial weight 10±0.5 g). At the end of the experiment, the mean of the final weight of the fish fed diets with control (41.7±0.7) and diet containing 25% TM powder (43.1±2.1) was significantly higher than other treatments ($p<0.05$). The lowest feed conversion ratio was observed in control (0.76±0.1) which had a significant difference compared to TM75 (0.93±0.06) ($p<0.05$). Weight gain (WG) was affected by dietary TM inclusion and decreased with increasing TM. Red blood cells was not affected by treatment, while hemoglobin content and hematocrit decreased with increasing TM inclusion levels ($p<0.05$). Plasma complement activity, the IgM level and cortisol were not affected by dietary TM. Dietary treatments had no significant effects on plasma glucose and triglyceride of fish compared to the control ($p<0.05$). Plasma total protein, albumin and globulin were significantly affected by dietary TM ($p<0.05$). Plasma cortisol levels and alternative complement (ACH50) pathway activity did not show any significant difference among treatments ($p>0.05$). According to a broken-line model, the recommended substituted ratio of TM for fish meal was estimated to be 25% for rainbow trout obtaining maximum weight gain.

Keywords: Fish meal, Insect meal, Protein replacement, Blood biochemistry, Rainbow trout

[*]Corresponding author