



University of Guilan

University of Guilan with collaboration of Iranian
Aquaculture Society

Aquatic Animals Nutrition

Vol. 10, No. 4, 2025, pages: 69-88
DOI: 10.22124/janb.2025.29422.1268



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effects of inclusion of offal meal and oil extracted from giant beetle worm, *Zophobas morio* on growth performance, body composition, and hepato-visceral indices in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*

Khalil Alaghi¹, Abolghasem Esmaceli Fereidouni^{1*}, Hossein Oraji¹, Esmaceli Paghe²

1- Department of Fisheries, Faculty of Animals Sciences and Fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, Mazandaran, Iran

2- Gorgan Inland Waters Aquatic Resources Research Center, Gharesu Center, Golestan, Iran

Received 10 November 2024

Revised 18 December 2024

Accepted 19 December 2024

KEYWORDS

Superworm
offal meal and
oil
Replacement
Growth
Liver and
visceral
indices
Trout

Introduction: Due to the rapid growth of the human population and increasing standard of living, there is a rising demand for seafood. Aquaculture relies heavily on the consistent supply of fishmeal (FM) and fish oil, major components in commercial fish feeds. Due to the current scarcity of FM, alternative protein sources that provide similar nutritional benefits to FM and fish oil have been explored extensively. Insect meals will be a suitable alternative as the nutritional components, which are more similar to FM. In this study, the effects of replacing different levels of superworm (*Zophobas morio*) offal meal and extracted oil instead of fish meal and oil were investigated on growth performance, feed conversion ratio, body composition, and hepato-visceral indices in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).

Material and methods: Fish (n = 420, initial average weight of 12 ± 0.2 g) were randomly distributed to 21 polyethylene circular tanks with a capacity of 250 L for 56 days. Seven isonitrogenous (41.5%) and isolipidic (16%) diets were formulated where the FM and fish oil of the control diet was replaced by *Z. morio* offal meal at 25, 50, and 75% instead of FM, and *Z. morio* oil was replaced at 25, 50 and 100% by fish oil. At the end of the trial, growth performance, feeding parameters, body composition, and hepato-visceral indices were calculated in different treatments. For data analysis, One-Way ANOVA and Duncan's multiple range comparison tests were performed at the significant level of $P < 0.05$.

Results and discussion: According to the results, final weight, specific growth rate, and feed conversion ratio of fish in the meal and oil replacement treatments showed no significant differences compared to the control group ($P > 0.05$). Body

protein contents did not significantly differ between the groups fed with offal meal and superworm oil compared to the control group ($P>0.05$). Body lipid significantly increased by elevating meal replacement levels compared to the control group ($P>0.05$), however, no differences were observed by oil replacement levels compared to the control group ($P>0.05$). Liver index in fish fed at levels higher than 25% meal replacement significantly increased ($P<0.05$), but no differences were observed in oil replacements compared to the control ($P>0.05$). The visceral index showed no differences in meal replacement treatments ($P<0.05$), however, its lowest value was observed in 25 and 50% oil replacements.

Conclusion: Based on the results, replacing 25% of offal meal and up to 50% of superworm oil in the trout diet seems reasonable.

*Corresponding author: a.esmaeili@sanru.ac.ir





"مقاله پژوهشی"

اثرات گنجاندن کنجاله و روغن استحصال شده از پودر لارو سوسک بزرگ (*Zophobas morio*) بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و شاخص‌های احشایی-کبدی بچه ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)

خلیل علاقی^۱، ابوالقاسم اسماعیلی فریدونی^{۱*}، حسین اورجی^۱، اسماعیل پقه^۲

۱- گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، مازندران

۲- مرکز تحقیقات ذخائر آبزیان آبهای داخلی گرگان، مرکز قره سو، گلستان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

کلمات کلیدی

چکیده

در این مطالعه، اثرات جایگزینی سطوح مختلف کنجاله (offal) سوپرمیلورم (*Zophobas morio*) و روغن سوپرمیلورم به جای پودر ماهی و روغن ماهی بر عملکرد رشد، ضریب تبدیل غذایی، ترکیب بدن و شاخص‌های احشایی-کبدی در قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بررسی شد. ابتدا ۴۲۰ عدد ماهی قزل‌آلا (میانگین وزن اولیه 0.2 ± 0.12 گرم) به طور کاملاً تصادفی در ۲۱ مخزن پلی‌اتیلنی با ظرفیت مفید ۲۰۰ لیتر و با تراکم ۲۰ قطعه در هر مخزن توزیع شدند. ماهیان در ۷ تیمار شامل ۳ سطح از جایگزینی کنجاله سوپرمیلورم (۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ کنجاله به جای پودر ماهی) و ۳ سطح از جایگزینی روغن سوپرمیلورم (۲۵، ۵۰ و ۱۰۰٪ روغن به جای روغن ماهی) در مقایسه با گروه شاهد (جیره حاوی پودر و روغن ماهی) به مدت ۸ هفته تغذیه شدند. نتایج نشان داد که وزن نهایی بدن، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی ماهیان در تیمارهای جایگزینی کنجاله و روغن اختلاف معنی‌دار با گروه شاهد نداشت ($P > 0.05$). مقادیر پروتئین بدن اختلاف معنی‌داری بین گروه‌های تغذیه‌شده از کنجاله و روغن سوپرمیلورم با گروه شاهد نداشت ($P > 0.05$). میزان چربی بدن با افزایش سطح جایگزینی کنجاله، افزایش معنی‌دار در مقایسه با گروه شاهد داشت ($P < 0.05$) ولی اختلاف معنی‌داری با جایگزینی سطوح مختلف روغن در مقایسه با گروه شاهد دیده نشد ($P > 0.05$). شاخص کبدی در ماهیان تغذیه‌شده در سطوح بالاتر از ۲۵٪ جایگزینی کنجاله افزایش معنی‌دار داشت ($P < 0.05$) ولی تفاوت معنی‌داری در تیمارهای جایگزینی روغن با گروه شاهد مشاهده نشد ($P > 0.05$). شاخص احشایی فاقد اختلاف معنی‌دار در تیمارهای جایگزینی کنجاله بود ($P > 0.05$). بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌شود که قابلیت جایگزینی ۲۵٪ از کنجاله و تا ۵۰٪ از روغن سوپرمیلورم در جیره ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان وجود دارد.

مقدمه

سوسک بزرگ (تاریکی) (*Z. morio*) نوعی سوسک از گروه Tenebrionid با دگرذیسی کامل (تخم، لارو، شفیرگی و حشره بالغ) است که کل چرخه زندگی آن در یک محیط (محیط خشکی) تکمیل می‌شود. میزان هم‌آوری مطلق ماده-های بالغ (طول ۵۷-۳۸ میلی‌متر) در طی دوره تولیدمثل (تا ۶ ماه) حدود ۲۲۰۰ تخم به ازای هر ماده است (Finke, 2002). پس از تخم‌گذاری، لاروهای کرمی‌شکل در مدت حداکثر ۳ ماه با دفعات متعدد پوست‌اندازی (۱۷-۱۶ مرحله) به درازای نهایی ۶۰-۵۰ میلی‌متر می‌رسند. لارو سوسک بزرگ (Super mealworm, Superworm) به واسطه اندازه بزرگ‌تر، از وزن بالاتری در مقایسه با لارو سوسک زرد برخوردار است و این مسئله یک مزیت در پرورش آن محسوب می‌شود.

به طور کلی داده‌های چندانی در زمینه تولید تجاری سوسک بزرگ (به‌رغم مشابهت نسبی پروتکل تولید انبوه آن با سوسک زرد) در مقیاس تجاری وجود ندارد (van Broekhoven et al. 2015; Rumbos and Athanassiou, 2021). با وجود این، مطالعات نشان می‌دهند که میزان تولید آن به شدت به شرایط محیطی و رژیم غذایی مولدها وابسته است (Oonincx and de Boer, 2012; Nascimento et al. 2024; Gourgouta et al. 2022). در مطالعات در سطح پایلوت، Oonincx و de Boer (۲۰۱۲) گزارش کردند که امکان تولید ۱۵۰۰ تخم توسط هر مولد ماده سوسک بزرگ در طی سال با ضریب تبدیل غذایی ۲/۲ (وزن تر لارو به وزن تر غذای خورده شده) وجود دارد. همچنین، میزان فضای لازم برای تولید یک کیلو لارو سوپرمیلورم (وزن تر) حدوداً ۳/۶ مترمربع در سال بوده که از نظر اقتصادی با توجه به ظروف کشت طبقاتی در تریاروم‌ها و قابلیت تکثیر ۳-۲ نسل در هر سال منطقی به نظر می‌رسد. از نظر ارزش غذایی، میزان پروتئین و چربی خام در لارو سوسک بزرگ (سوپرمیلورم) بسته به نوع جیره غذایی دریافتی و مرحله رشد در شرایط پرورشی به ترتیب در محدوده ۵۶-۳۹٪ و ۴۴/۵-۱۴٪ (از وزن خشک) با قابلیت هضم ظاهری پروتئین و چربی به ترتیب ۹۲-۸۰٪ و ۹۷-۸۳٪ گزارش شده است (Nogales-Merida et al. 2019).

تهیه و تأمین پودر و روغن ماهی یکی از چالش‌های مهم تغذیه‌ای به خصوص در تولید متراکم و فوق متراکم آبزبان است، به طوری که در سال‌های اخیر به دلایل افزایش تقاضا، کمبود ذخایر و نوسانات صید این وضعیت بحرانی‌تر نیز شده است (Oliva-Teles et al. 2015). بر این اساس، تلاش‌های گسترده‌ای در جهت کاهش سهم گنجاندن آنها در جیره آبزبان انجام شده است، به طوری که مطالعات نشان دادند که میانگین گنجاندن پودر ماهی (بسته به گونه آبی) در جیره مارماهی از ۷۰ به ۵۵٪، در ماهیان دریایی از ۴۰ به ۳۰٪، در میگوهای پرورشی از ۳۵ به ۲۵٪ و در ماهیان آب شیرین از ۲۰ به ۱۰٪ (و حتی کمتر) رسیده است (Tacon and Metian, 2008).

از طرف دیگر، تحقیقات فراوانی در زمینه استفاده از سایر منابع پروتئینی جایگزین (گیاهی و جانوری) در جیره آبزبان شده است. در دو دهه اخیر، تولید انبوه حشرات خشک‌زی (Terrestrial insects) برای تهیه پودر حشرات (Insects meal) برای تغذیه آبزبان، دام و طیور، حیوانات خانگی، پرندگان و حتی انسان توسعه یافته است (Barroso et al. 2014; Sánchez-Muros et al. 2014). حشرات خشک‌زی مزایای متعددی شامل خونسرد بودن، امکان پرورش با محصولات جانبی ارگانیک، ضریب تبدیل غذایی مناسب، نیاز محدود به زمین قابل کشت و مصرف کم آب، تولید زی‌توده بالا با مصرف غذاهای نسبتاً کم‌ارزش، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی، خطرات کم‌تر در انتقال بیماری و تجزیه‌کننده زیستی ضایعات آلی را دارا می‌باشند (Makkar et al. 2014; Yang et al. 2018; Harsányi et al. 2020). تاکنون بیشترین قابلیت تجاری‌سازی در ۵ گونه از حشرات شامل سوسک زرد (*Tenebrio molitor*) و سوسک بزرگ (*Zophobas morio*) (هر دو از راسته Coleoptera)، مگس سیاه سرباز (*Hermetia illucens*) و مگس خانگی (*Musca domestica*) (هر دو از راسته Diptera) و جیرجیرک خانگی (*Acheta domesticus*) (از راسته Orthoptera) (Sánchez-Muros et al. 2014; Rumbos and Athanassiou, 2021).

و روغن حشرات در تغذیه آبزیان هستند (Iaconisi et al. 2018; Nogales-Merida et al. 2019).

اگرچه در یک دهه اخیر اثرات جایگزینی سطوح مختلف از پودر و روغن ماهی با پودر و روغن حشرات در بسیاری از گونه‌های آبزیان دریایی و آب شیرین بررسی شده است، ولی مطالعه‌ای در زمینه جایگزینی کنجاله و روغن سوپرمیلورم (پس از روغن‌کشی با روش مکانیکی) در ماهیان وجود ندارد. بنابراین در مطالعه حاضر، اثرات جایگزینی پودر ماهی و روغن ماهی با کنجاله و روغن سوپرمیلورم بر عملکرد رشد، ضریب تبدیل غذایی، ترکیب بدن و شاخص‌های احشایی-کبدی در ماهیان جوان قزل‌آلای رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

تهیه ماهیان و دوره سازگاری

مطالعه حاضر از اواسط اسفند سال ۱۴۰۱ تا اواخر اردیبهشت سال ۱۴۰۲ در مرکز تکثیر و پرورش ماهیان آب‌های داخلی واقع در شهرستان بندر ترکمن (ایستگاه قره‌سو) انجام شد. ابتدا تعداد ۴۲۰ قطعه ماهی جوان قزل‌آلای رنگین کمان از بخش خصوصی تهیه شد و برای سازگاری به مدت ۱۴ روز به ۶ مخزن پلی‌اتیلنی هر کدام با ظرفیت مفید ۱۵۰۰ لیتر منتقل و ۴ وعده در روز به میزان ۵٪ از وزن تر بدن با غذای تجاری شرکت فرادانه (میزان پروتئین و چربی به ترتیب ۴۳ و ۱۱/۵٪) تغذیه شدند. منبع تأمین آب برای پرورش و تغذیه ماهیان در کل دوره از آب چاه تأمین شد و فراسنجه‌های کیفی آب در طی دوره سازگاری شامل درجه حرارت آب (با دماسنج) °C ۱۴-۱۲، میزان اکسیژن محلول (با اکسیژن‌متر) ۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر، pH (با pH متر) در محدوده ۷/۲-۷/۱ همراه با تعویض دائمی آب بود.

تهیه و آماده‌سازی جیره‌های غذایی

محتویات و اقلام اولیه خوراک برای ساخت جیره‌ها شامل پودر ماهی ساردین (حاوی ۵۲/۵٪ پروتئین و ۱۸/۷٪ چربی)، پودر لارو سوسک (سوپرمیلورم)، روغن ماهی و سویا، کنجاله سویا، گلوتن ذرت، مخلوط ویتامینی، مخلوط مواد معدنی و منوکلسیم‌فسفات از شرکت‌های معتبر خصوصی خریداری

روغن حشرات یک محصول جانبی از پودر حشرات است که دارای سطوح بالایی از اسیدهای چرب با زنجیره متوسط (به خصوص اسید لوریک؛ ۴۹-۲۱٪) بوده که این اسیدچرب در کاهش رسوب چربی شکمی به دلیل استفاده ترجیحی از آن به عنوان منبع انرژی حائز اهمیت است (Li et al. 2022; Nugroho et al. 2024). علاوه بر این، میزان اسیدهای چرب غیراشباع اولئیک، لینولئیک و لینولنیک در روغن حشرات با میزان آنها در روغن سویا نزدیک است و می‌تواند منبع مهمی از جایگزینی در بسیاری از ماهیان آب شیرین (به واسطه توانایی بیوسنتز اسیدهای چرب بلند زنجیره غیراشباعی) باشد (Son et al. 2020).

بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهند که قابلیت جایگزینی جزئی و یا کامل پودر و روغن ماهی با پودر و روغن حشرات وجود دارند (Nogales-Merida et al. 2019; Fawole et al. 2021; Dragojlovic et al. 2022; Das et al. 2024). با وجود این، میزان و سطوح جایگزینی پودر و روغن حشرات بدون اثرات منفی بر عملکرد رشد، شاخص‌های خون‌شناختی و ایمنی، میکروبیوتای روده، آنزیم‌های هضمی، ترکیب بیوشیمیایی و کیفیت فیله، ترکیب اسیدهای آمینه و چرب به شدت به نوع رژیم غذایی لارو حشره در شرایط پرورش، کیفیت و ترکیب بیوشیمیایی و روش عمل-آوری پودر حشره، نیازهای تغذیه‌ای گونه آبی وابسته است (Nogales-Merida et al. 2019; Hosseini 2025; Shekarabi et al. 2021; Cho et al. 2025).

کاربرد پودر حشرات از جمله سوپرمیلورم در آبزیان به‌رغم مزایای متعدد با محدودیت‌های خاصی هم مواجه است. وجود عوامل محدودکننده در ترکیب پودر حشرات مانند مقادیر بالای کیتین و فیبر خام سبب هضم دشوار آن برای ماهیان گوشت‌خوار و همه‌چیزخوار می‌شود (Melenchón et al. 2021; Scaffardi and Formici, 2022). همچنین، کمبود برخی از اسیدهای آمینه ضروری (مانند متیونین)، اسیدهای چرب بلند زنجیره غیراشباع (مانند اسید ایکوزاپنتانوئیک و اسید دوکوزاهگزانوئیک)، عدم تأمین مقادیر مناسب اسیدهای آمینه و چرب از طریق پودر لارو سوسک برای آبزیان، وجود مقادیر بالایی از چربی و افزایش احتمال فساد اکسایشی در آنها از دیگر مشکلات مهم در کاربرد پودر

برای تهیه جیره‌ها، ابتدا اجزاء و ترکیبات خام جیره‌های غذایی با توجه به فرمول جیره توزین و به طور کامل با هم مخلوط و با استفاده از چرخ گوشت دارای روزنه خروجی ۲ میلی‌متر به صورت رشته‌ای درآمده و نهایتاً روی پارچه نظیف پهن تا در مجاورت هوای گرم کاملاً خشک شوند. ساخت جیره‌های غذایی به صورت ماهانه انجام شد و جیره‌ها بعد از آماده‌سازی در درون پلاستیک‌های زیپ‌کیپ درب بسته در دمای ۲۰°C نگهداری شدند. میزان پروتئین و چربی در کلیه جیره‌ها به ترتیب ۴۱/۵ و ۱۶/۵٪ در نظر گرفته شد. محتویات جیره‌های خام و مقادیر هر یک از اجزای جیره در تیمارهای مختلف در جدول ۱ آمده است.

شدند. ابتدا میزان ۱۰ کیلوگرم پودر خشک سوپرمیلورم از شرکت خصوصی میلورم تهران خریداری و ترکیب بیوشیمیایی آن با روش AOAC (2002) تعیین شد. به منظور تهیه کنجاله پودر سوپرمیلورم (offal) و روغن آن از روش استخراج مکانیکی (mechanically extracted oil) توسط دستگاه روغن‌کشی پرس سرد BD160 Cold Press Machine مجهز به PLC و دستگاه خاموش‌کننده اتوماتیک مجهز به فن خنک‌کننده استفاده شد. پس از روغن‌کشی، ترکیب بیوشیمیایی کنجاله و روغن حاصله مجدداً با روش AOAC (۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱ ترکیب و محتویات خام جیره‌های آزمایشی

Table 1 Ingredients and proximate composition of trial diets

Components (%)	Replacement type (offal meal - oil)						
	Superworm offal meal levels (%)				Superworm oil levels (%)		
	0 (Control)	25	50	75	25	50	100
Fish meal	28	21	14	7	28	28	28
Superworm offal meal	-	8	16	24	-	-	-
Poultry waste meal	16	16	16	16	16	16	16
Soybean meal	12	12	12	12	12	12	12
Corn gluten	12	12	12	12	12	12	12
Wheat flour	21	20	19	18	21	21	21
Fish oil	8	8	8	8	6	4	0
Superworm oil	-	-	-	-	2	4	8
Mineral premix ¹	1	1	1	1	1	1	1
Vitamin premix ²	1	1	1	1	1	1	1
Monocalcium phosphate	1	1	1	1	1	1	1
Biochemical composition (in percentage of dry weight)							
Dry matter	6.99	6.89	6.97	6.95	6.84	6.82	6.70
Crude protein	41.69	41.59	41.5	41.4	41.3	41.2	41.5
Crude lipid	16.1	16.2	16.4	16.6	16.8	16.9	16.9
Ash	9.45	9.86	10.1	10.32	10.25	10.37	10.12
Total carbohydrate ³	32.76	32.35	32	31.7	31.65	31.53	31.48
Energy (kJ/g) ⁴	17.97	17.94	17.95	17.96	18.02	18.01	18.06

1- Contained (g/kg mix): MgSO₄. 2H₂O, 127.5; KCl, 50; NaCl, 60; CaHPO₄. 2H₂O, 727.8; FeSO₄. 7H₂O, 25.0; ZnSO₄. 7H₂O, 5.5; CuSO₄. 5H₂O, 0.785; MnSO₄. 4H₂O, 2.54; CoSO₄. 4H₂O, 0.478; Ca (IO₃)₂. 6H₂O, 0.295; CrCl₃. 6H₂O, 0.128.

2- Vitamin premix contained the following vitamins (each per a kilogram of diet): vitamin A, 10,000 IU; vitamin D₃, 2000 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K, 20 mg; vitamin B₁, 400 mg; vitamin B₂, 40 mg; vitamin B₆, 20 mg; vitamin B₁₂, 0.04 mg; biotin, 0.2 mg; choline chloride, 1200 mg; folic acid, 10 mg; inositol, 200 mg; niacin, 200 mg; pantothenic calcium, 100 mg.

3- Total carbohydrate = 100 - [(lipid (%)) + protein (%)) + ash (%)].

4- Calculated energy content using the factors: carbohydrates, 11 kJ/g; protein, 20.9 kJ/g; and lipids, 35.1 kJ/g (Brafeld, 1985).

روزانه)، pH (به طور هفتگی) و میزان آمونیاک (به طور ماهانه) اندازه‌گیری شد.

شاخص‌های رشد و کارآیی تغذیه

برای تعیین شاخص‌های رشد و کارآیی تغذیه ماهیان در طی دوره پرورش، عملیات زیست‌سنجی در هر ۲ هفته با ترازوی با دقت یک صدم انجام شد. همچنین، در پایان دوره، قطع غذایی ماهیان حدود ۲۴ ساعت بعد از آخرین تغذیه برای زیست‌سنجی انجام شد. در پایان دوره پرورش، شاخص‌های رشد ماهیان شامل افزایش وزن بدن (Weight gain; WG Average daily growth rate; ADG)، ضریب تبدیل غذایی (Feed conversion ratio; FCR)، نسبت کارآیی پروتئین (Protein efficiency ratio; PER)، نسبت کارآیی چربی (Lipid efficiency ratio; LER)، شاخص وضعیت (Condition factor; CF)، کارآیی تبدیل غذا (Food conversion efficiency; FCE)، هیپاتوسوماتیک (Hepatosomatic index; HSI)، شاخص احشایی (Viscerosomatic index; VSI) و میزان بازماندگی (Survival rate; SR) بر اساس روابط زیر محاسبه شدند:

$$WG (\%) = [(W_f - W_i) / W_i] \times 100$$

$$SGR (\%/day) = [(\ln W_f - \ln W_i) / T] \times 100$$

$$ADG (g/day) = (W_f - W_i) / T$$

$$FCR = [\text{افزایش وزن تر بدن (گرم) / کل غذای خورده شده (گرم)}]$$

$$PER (\%) = [\text{کل پروتئین مصرف شده (گرم) / افزایش وزن (گرم)}]$$

$$LER (\%) = [\text{کل چربی مصرف شده (گرم) / افزایش وزن (گرم)}]$$

$$CF = W_f / (L_f)^3 \times 100$$

$$FCE = [\text{کل غذای خورده شده (گرم) / افزایش وزن تر بدن (گرم)}]$$

$$HSI (\%) = [100 \times \text{وزن تر بدن (گرم) / وزن کبد (گرم)}]$$

$$VSI (\%) = [100 \times \text{وزن تر بدن (گرم) / وزن امعاء و احشاء (گرم)}]$$

$$SR (\%) = [100 \times (\text{تعداد کل ماهی اولیه} / \text{تعداد کل ماهی سالم زنده باقی مانده})]$$

تیمارهای آزمایشی

پس از طی دوره سازگاری، زیست‌سنجی (ثابت درازا و وزن) ماهیان جوان قزل‌آلا انجام شد. این مطالعه در قالب ۷ تیمار (هر کدام با سه تکرار) شامل جایگزینی کنجاله سوپرمیلورم به جای پودر ماهی (سطوح ۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪) و جایگزینی روغن سوپرمیلورم به جای روغن ماهی (سطوح ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰٪) در مقایسه با گروه شاهد (جیره حاوی پودر ماهی و روغن ماهی) انجام شد (Belforti et al. 2015; Fawole et al. 2021). ماهیان (۴۲۰ قطعه با میانگین وزن اولیه $0.2 \pm$ گرم) به طور کاملاً تصادفی در ۷ تیمار و ۲۱ مخزن پلی-اتیلنی به ظرفیت مفید آبیگری ۲۰۰ لیتر (با تراکم ۲۰ قطعه در هر مخزن) توزیع و به مدت ۸ هفته با جیره‌های آزمایشی تغذیه شدند. ماهیان در فواصل زمانی منظم و روزانه ۵ وعده در روز با جیره‌های آزمایشی بر اساس جدول غذایی قزل‌آلا تغذیه شده و میزان غذای روزانه آنها تا انتهای دوره با زیست‌سنجی هر دو هفته یکبار محاسبه شد. تعویض آب در مخزن‌ها به صورت دائمی (جریان‌دار) بود و سیفون کردن آب در یک مرحله قبل از وعده غذایی ساعت صبح انجام شد تا فضولات و غذاهای خورده نشده خارج شوند. فراسنجه‌های مهم فیزیکیوشیمیایی آب در مخزن‌ها شامل درجه حرارت ($14-12^\circ\text{C}$) و میزان اکسیژن محلول آب (به طور

انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون Kolmogorov-Smirnov و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون Levene استفاده شد. آزمون داده‌ها با استفاده از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۵٪ انجام شد. برای آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

مقادیر ترکیب بیوشیمیایی پودر خشک سوپرمیلورم، کنجاله و روغن سوپرمیلورم در جدول ۲ آمده است. میزان پروتئین پودر پس از فرآیند روغن‌کشی تغییر واضحی نداشت، ولی میزان چربی پودر کاهش معنی‌دار (از ۳۲٪ به ۱۹٪) نشان داد. همچنین، در فرآیند مکانیکی روغن‌کشی میزان روغن بالایی (حدود ۹۵٪ از میزان چربی در پودر خشک) استحصال شد.

که در روابط، W_f و L_t به ترتیب میانگین وزن و درازای نهایی ماهیان، W_i و L_i به ترتیب میانگین وزن و درازای اولیه ماهیان و T درازای کل دوره پرورش است.

ترکیب بیوشیمیایی بدن

برای تعیین ترکیب بیوشیمیایی پودر خشک سوپرمیلورم، کنجاله سوپرمیلورم و روغن استخراج شده از آن پس از روغن‌کشی (هر کدام در یک تکرار) و همچنین تعیین ترکیب بدن ماهیان (هر کدام در دو تکرار) در تیمارهای مختلف از روش AOAC (۲۰۰۲) استفاده شد. میزان پروتئین خام با روش Kjeldal و میزان چربی با روش استخراج اتر تعیین شدند. برای تعیین میزان رطوبت، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در 105°C خشک، و میزان خاکستر با استفاده از کوره با دمای 550°C به مدت ۲۴ ساعت تعیین شد.

سنجش آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی (Completely Randomized Design) با ۷ تیمار (هر کدام در سه تکرار)

جدول ۲ ترکیب بیوشیمیایی پودر خشک سوپرمیلورم، کنجاله و روغن سوپرمیلورم پس از روغن‌کشی

Table 2 Biochemical composition (%) of superworm meal, offal, and extracted- oil after extraction			
Biochemical composition (%)	Dry superworm meal	Superworm offal meal	Superworm oil
Moisture	8-10	19.9	4.92
Crude protein	50.33	52.15	-
Crude lipid (oil)	32.1	19	94.47
Ash	4.8	4.1	-

خورده شده توسط هر ماهی بین تیمارهای مختلف حاوی کنجاله و روغن با گروه شاهد دیده نشد ($P>0/05$). نسبت کارایی پروتئین و کارایی تبدیل غذا اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی با گروه شاهد نشان نداد ($P>0/05$), ولی نسبت کارایی چربی در ماهیان گروه شاهد با جایگزینی ۵۰٪ کنجاله و جایگزینی کامل روغن فاقد اختلاف معنی‌دار بود، البته با دیگر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داد ($P<0/05$). بالاترین شاخص وضعیت همراه با اختلاف معنی‌دار در ماهیان تغذیه کرده از ۵۰٪ روغن سوپرمیلورم دیده شد ($P<0/05$), ولی اختلاف معنی‌دار بین دیگر

شاخص‌های رشد و تغذیه

اثرات سطوح مختلف جایگزینی کنجاله و روغن سوپرمیلورم به جای پودر و روغن ماهی در جیره بر شاخص‌های رشد و تغذیه ماهیان جوان قزل‌آلا در جدول ۳ آمده است. عملکرد رشد ماهیان در سطوح مختلف جایگزینی کنجاله و روغن در مقایسه با گروه شاهد اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف نشان نداد ($P>0/05$). روند مشابهی در سرعت رشد ویژه ماهیان در تیمارهای مختلف به‌رغم عدم اختلافات معنی‌دار مشاهده شد ($P>0/05$). هیچ اختلاف معنی‌دار در ضریب تبدیل غذایی (در محدوده بین ۰/۹۲-۰/۸۶) و میزان غذای

در سطوح بالاتر از ۲۵٪ جایگزینی کنجاله روند افزایشی معنی‌دار نشان داد ($P < 0/05$)، ولی تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای جایگزینی روغن سوپرملورم با گروه شاهد مشاهده نشد ($P > 0/05$). شاخص احشایی فاقد اختلاف معنی‌دار در تیمارهای جایگزینی کنجاله بود ($P > 0/05$)، ولی کمترین میزان در جایگزینی‌های ۲۵ و ۵۰٪ روغن دیده شد ($P < 0/05$).

گروه‌های تغذیه‌ای مشاهده نشد ($P > 0/05$). میزان بازماندگی ماهیان (بالاتر از ۹۵٪) فاقد اختلافات معنی‌دار بین کلیه گروه‌های آزمایشی بود ($P > 0/05$).

شاخص‌های کبدی و احشایی

وزن کبد و امعاء-احشاء در ماهیان تغذیه کرده در تیمارهای مختلف حاوی کنجاله و روغن فاقد اختلاف معنی‌دار با گروه شاهد بود ($P > 0/05$). شاخص کبدی در ماهیان تغذیه کرده

جدول ۳ عملکرد رشد، فاکتورهای تغذیه‌ای و میزان بازماندگی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه کرده در تیمارهای مختلف جایگزینی کنجاله و روغن سوپرملورم به مدت ۸ هفته

Table 3 Growth performance, nutritional factors, and survival rate in rainbow trout fed different treatments of superworm offal meal and oil replacement for 8 weeks

Indicators	Substitution type (meal - oil)						
	Superworm offal meal replacement levels (%)				Superworm oil replacement levels (%)		
	0 (Control)	25	50	75	25	50	100
Initial weight (g)	12.1 ± 0.2	12.13 ± 0.4	12.1 ± 0.5	12 ± 0.3	12 ± 0.3	12.1 ± 0.2	12.1 ± 0.4
Final weight (g)	90.73 ± 5.75 ^a	95.63 ± 2.97 ^a	84.27 ± 3.1 ^a	85.26 ± 1.3 ^a	91.89 ± 6.2 ^a	88.76 ± 2.46 ^a	87.95 ± 4.7 ^a
Initial total length (cm)	8.7 ± 0.2	8.6 ± 0.3	8.7 ± 0.1	8.5 ± 0.2	8.5 ± 0.2	8.7 ± 0.2	8.6 ± 0.3
Final total length (cm)	19.71 ± 0.5 ^a	20.3 ± 0.18 ^a	19.53 ± 0.3 ^a	19.5 ± 0.1 ^a	19.82 ± 0.5 ^a	19.35 ± 0.24 ^a	19.5 ± 0.38 ^a
Feed conversion ratio	0.86 ± 0.01 ^a	0.92 ± 0.01 ^a	0.89 ± 0.02 ^a	0.90 ± 0.01 ^a	0.91 ± 0.03 ^a	0.89 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.01 ^a
Feed intake per fish (g)	66.46 ± 0.8 ^a	67.43 ± 1.69 ^a	65.46 ± 2.42 ^a	66.3 ± 0.1 ^a	66.1 ± 0.9 ^a	66.5 ± 0.6 ^a	65.13 ± 2.1 ^a
Body weight gain (%)	649.8 ± 11.9 ^a	688.4 ± 12.3 ^a	596.4 ± 21.1 ^a	610.1 ± 11.5 ^a	665.8 ± 20.6 ^a	633.5 ± 17.3 ^a	626.8 ± 17.6 ^a
Specific growth rate (%/day)	3.55 ± 0.02 ^a	3.5 ± 0.06 ^a	3.46 ± 0.05 ^a	3.5 ± 0.01 ^a	3.47 ± 0.05 ^a	3.51 ± 0.04 ^a	3.52 ± 0.03 ^a
Condition factor	1.18 ± 0.03 ^{ab}	1.13 ± 0.01 ^b	1.12 ± 0.01 ^b	1.13 ± 0.01 ^b	1.17 ± 0.02 ^{ab}	1.22 ± 0.02 ^a	1.18 ± 0.01 ^{ab}
Protein efficiency ratio (%)	2.76 ± 0.02 ^a	2.61 ± 0.05 ^a	2.7 ± 0.01 ^a	2.69 ± 0.03 ^a	2.67 ± 0.09 ^a	2.73 ± 0.04 ^a	2.75 ± 0.01 ^a
Lipid efficiency ratio (%)	7.14 ± 0.05 ^a	6.69 ± 0.14 ^b	6.83 ± 0.01 ^{ab}	6.72 ± 0.08 ^b	6.55 ± 0.22 ^b	6.61 ± 0.1 ^b	6.78 ± 0.03 ^{ab}
Survival rate (%)	98.3 ± 1.7 ^a	98.3 ± 1.7 ^a	95 ± 2.9 ^a	97.5 ± 2.5 ^a	98.3 ± 1.66 ^a	100 ^a	100 ^a

Data expressed as mean ± S.D., n = 3 (each replicate tank was stocked with 20 fish. Values along rows with different superscripts differ significantly (P<0.05).

جدول ۴ وزن کبد، وزن امعاء-احشاء، و شاخص‌های کبدی و احشایی در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌کرده در تیمارهای مختلف جایگزینی کنجاله و روغن سوپرمیلورم به مدت ۸ هفته

Table 4 Liver weight, viscera weight, hepatosomatic and viscerosomatic indices in rainbow trout fed different treatments of superworm offal meal and oil replacements for 8 weeks

Indicators	Substitution type (meal - oil)						
	Superworm offal meal replacement levels (%)				Superworm oil replacement levels (%)		
	0 (Control)	25	50	75	25	50	100
Liver weight (g)	1.01 ± 0.02	1.1 ± 0.11	1.1 ± 0.02	1.16 ± 0.02	1.05 ± 0.08	1.01 ± 0.02	1.11 ± 0.06
Hepatosomatic index (%)	1.11 ± 0.04 ^c	1.13 ± 0.1 ^{bc}	1.3 ± 0.04 ^{ab}	1.37 ± 0.03 ^a	1.14 ± 0.06 ^{bc}	1.15 ± 0.03 ^{bc}	1.26 ± 0.03 ^{abc}
Viscera weight (g)	8.99 ± 0.2	9.27 ± 0.7	8.65 ± 0.3	9.02 ± 0.07	8.65 ± 0.4	8.38 ± 0.26	8.88 ± 0.5
Viscerosomatic index (%)	9.95 ± 0.45 ^{ab}	9.64 ± 0.54 ^{ab}	9.96 ± 0.3 ^{ab}	10.63 ± 0.1 ^a	9.42 ± 0.3 ^b	9.5 ± 0.03 ^b	10.1 ± 0.2 ^{ab}

Data expressed as mean ± S.D., n = 3 (each replicate tank was stocked with 20 fish). Values along rows with different superscripts differ significantly (P<0.05).

جدول ۵ ترکیب بیوشیمیایی بدن در ماهیان قزل‌آلای رنگین‌کمان تغذیه‌کرده در تیمارهای مختلف جایگزینی کنجاله و روغن سوپرمیلورم به مدت ۸ هفته

Table 5 Body biochemical composition (% wet weight) in rainbow trout fed different treatments of superworm offal meal and oil replacements for 8 weeks

Indicators (%)	Substitution type (meal - oil)						
	Superworm offal meal replacement levels (%)				Superworm oil replacement levels (%)		
	0 (Control)	25	50	75	25	50	75
Moisture	68.78 ± 0.2 ^{ab}	67.8 ± 0.2 ^c	67.98 ± 0.2 ^{bc}	67.87 ± 0.4 ^c	68.92 ± 0.2 ^a	68.65 ± 0.4 ^{abc}	68.86 ± 0.2 ^{ab}
Protein	14.1 ± 2.1	13.6 ± 0.9	13.3 ± 1.2	13.1 ± 1.1	13.1 ± 0.8	13.8 ± 1.4	13.9 ± 0.6
Lipid	14.38 ± 0.4 ^c	17.2 ± 0.45 ^{ab}	17.7 ± 0.3 ^{ab}	18.5 ± 0.9 ^a	15.9 ± 1.3 ^{bc}	15.6 ± 1.1 ^{bc}	14.5 ± 1.14 ^c
Ash	2.1 ± 0.58	2.2 ± 0.5	2.1 ± 0.4	2.1 ± 0.2	2.4 ± 0.86	2.5 ± 0.45	2.3 ± 0.41

Data expressed as mean ± S.D., n = 2 (each replicate tank was stocked with 20 fish). Values along rows with different superscripts differ significantly (P<0.05).

بحث

شاخص‌های رشد و تغذیه

با توجه به کاهش شدید ذخایر پودر و روغن ماهی در سطح جهان، استفاده از پودر و روغن حشرات احتمالاً می‌تواند دورنمای قابل قبولی در آینده نشان دهد. نظر به این که تاکنون مطالعاتی در زمینه تأثیر روغن‌کشی از پودر حشرات (بدون استفاده از مواد شیمیایی) انجام نشده است، لذا بررسی و مقایسه نتایج مطالعه حاضر عمدتاً با پودر چربی‌زدایی شده حشرات در مطالعات دیگر محققان انجام شد. بررسی فرآیند مکانیکی روغن‌کشی بر ترکیب بیوشیمیایی پودر سوپرمیلورم در مطالعه حاضر نشان داد که این فرآیند بر میزان پروتئین پودر اثر منفی نگذاشته، ولی میزان چربی پودر به وضوح کاهش یافت که این موضوع یک عامل مثبت برای کاربرد این روش محسوب می‌شود. از این نظر می‌توان بیان کرد که اثرات روغن‌کشی بر ترکیب بیوشیمیایی پودر سوپرمیلورم تا حدی به مانند چربی‌زدایی جزئی بوده و این فرآیند سبب کاهش میزان چربی پودر شد.

نتایج مطالعه حاضر از نظر شاخص‌های رشد و تغذیه نشان می‌دهد که امکان جایگزینی پودر و روغن ماهی با کنجاله و روغن سوپرمیلورم وجود دارد. همچنین، جایگزینی سطوح مختلف کنجاله سوپرمیلورم به جای پودر ماهی اثرات منفی بر عملکردهای رشد، ضریب تبدیل غذایی و نرخ رشد ویژه در ماهی قزل‌آلا نشان نداد. در گونه‌های مختلف از ماهیان سردآبی گنجاندن پودر انواع حشرات (به صورت خشک، چربی‌زدایی شده و یا هیدرولیز شده) در سطوح جایگزینی بین ۱۵٪-۴۰٪ فاقد اثرات منفی بر عملکرد رشد و بسیاری از شاخص‌های تغذیه‌ای، ایمنی، طعم و کیفیت فیله بود (Belghit et al. 2019; Mikołajczak et al. 2020; Melenchón et al. 2021). از این نظر، نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های دیگر محققان به‌رغم اختلاف در گونه آبی در برخی از موارد هم‌خوانی دارد. برای مثال، Das و همکاران (۲۰۲۴) در جایگزینی کامل پودر ماهی با پودر سوپرمیلورم در جیره گلدفیش (*Carassius auratus*) و Prachom و همکاران (۲۰۲۱) در امکان جایگزینی تا سطح ۸۰٪ در جیره سی‌باس آسیایی (*Lates calcarifer*) نتایجی مبنی بر وزن بدن بالاتر، افزایش نرخ رشد ویژه و بهبود ضریب تبدیل غذایی

را گزارش کردند. با وجود این، سطوح کمتری از جایگزینی در دیگر مطالعات نیز ارائه شد. برای مثال، بالاترین عملکرد رشدی در ماهی تیلاپیای نیل با جایگزینی ۲۵٪ پودر سوپرمیلورم (Jabir et al. 2012) و تا سطح ۳۰٪ از پودر چربی‌زدایی شده سوپرمیلورم در ماهی جوان سی‌بریم (*Sparus aurata*) (Henry et al. 2022) ارائه شد. این در حالی است که Hosseini Shekarabi و همکاران (۲۰۲۱) در جایگزینی پودر چربی‌زدایی شده سوپرمیلورم (سطوح ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰٪ به جای پودر ماهی) در قزل‌آلا، اختلاف معنی‌دار در وزن نهایی بدن، میزان مصرف غذا و سرعت رشد تا سطح ۱۰٪ مشاهده نکردند، ولی سطوح بالاتر اثرات منفی داشت، به طوری که آنها محدوده ۱۸/۴-۱۶/۲٪ را به عنوان سطح بهینه معرفی کردند. در بیشتر این مطالعات، علت کاهش عملکردهای رشد (به‌خصوص در سطوح بالای جایگزینی) به وجود کیتین و فیبر خام بالا در پودر حشرات به عنوان یک عامل بازدارنده، قابلیت هضم پایین مواد مغذی و کاهش دسترسی به انرژی جیره نسبت داده شده است (Weththasinghe et al. 2021; Tran et al. 2022). با وجود این، باید توجه داشت که یکی از مکانیزم‌های مهم دفاعی در لارو سوسک بزرگ ترشح ترکیباتی مانند بنزوکائین و مواد فرار با بوی ناخوشایند بوده که می‌تواند بر کیفیت پودر تأثیرگذار باشد و کاهش اثرات مضر آنها باید در مطالعات آینده بررسی شود (Perez-Santaescolastica et al. 2023; Zagon et al. 2025).

از طرف دیگر باید توجه داشت که با تغییر نوع پودر حشره نیز تغییرات چندانی در قابلیت و امکان سطوح جایگزینی در اکثر مطالعات قبلی ایجاد نشده است. برای مثال، Renna و همکاران (۲۰۱۷) و Caimi و همکاران (۲۰۲۱) در قزل‌آلا بیان کردند که تنها امکان جایگزینی جزئی پودر چربی‌زدایی شده لارو مگس سیاه تا سطح ۵۰٪ بدون اثرات منفی بر عملکرد رشد، بازماندگی و ساختار بافت پوششی روده وجود داشته و استفاده از پودر حشره باعث کاهش اسیدهای چرب بلند زنجیره غیراشباع و بدتر شدن شاخص‌های سلامت چربی در فیله می‌شود. همچنین، Tran و همکاران (۲۰۲۲) جایگزینی ۲۵٪ از پودر چربی‌زدایی شده میلورم در مقایسه با سطوح بالاتر (۵۰ و ۷۵٪) را از نظر رشد، نرخ رشد ویژه و

(feed acceptability)، کاهش مصرف غذا و نهایتاً کاهش وزن ماهی شد، ولی چنین روندی در ماهیان قزل‌آلای مطالعه حاضر دیده نشد (Caimi et al. 2021; Gou et al. 2023). قابلیت جایگزینی جزئی و یا کامل روغن ماهی و سویا با روغن لارو مگس سرپاز سیاه در برخی از ماهیان آب شیرین (کپور معمولی و قزل‌آلا) گزارش شده است (Li et al. 2021; Dumas et al. 2018; Xu et al. 2017). به طور مشابه، Li و همکاران (۲۰۱۷) جایگزینی ۱۰۰-۷۵٪ روغن مگس سرپاز سیاه به جای روغن ماهی را بدون اثرات منفی بر شاخص‌های رشد و ضریب تبدیل غذایی در کپور گزارش کردند. نتایج مشابهی قبلاً توسط Fawole و همکاران (۲۰۲۱) در قزل‌آلا بیان شد، به طوری که امکان جایگزینی کامل روغن لارو مگس سیاه به جای روغن ماهی و سویا اثرات منفی بر عملکرد رشد، ترکیب بدن و پروفایل اسیدهای چرب بلند زنجیره غیراشباع نداشت و شاخص‌های ایمنی (فعالیت-های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز) بهبود یافت. با وجود این، Gou و همکاران (۲۰۲۳) امکان جایگزینی جزئی ۵۰-۲۵٪ روغن مگس سرپاز سیاه به جای روغن ماهی را در *Onychostoma macrolepis* با اثرات مثبت در بهبود شاخص‌های ایمنی و بدون اثرات منفی بر عملکرد رشد و بازماندگی ماهی گزارش کردند. در حالی که استفاده از سطوح به مراتب کمتر توسط Dumas و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شد، به طوری که آنها بیان کردند قزل‌آلا می‌تواند تنها از ۱۰٪ روغن مگس سرپاز سیاه بدون تأثیر نامطلوب بر رشد استفاده کند.

یکی از شاخص‌های مهم در استفاده از پودر و روغن حشرات به پذیرش، مقبولیت غذا و خوش طعمی آن برای آبزیان برمی‌گردد. در تیمارهای آزمایشی مطالعه حاضر، میزان مصرف غذا توسط هر ماهی، کارایی مصرف غذا و ضریب تبدیل غذایی (کمتر از ۰/۹۲) نشان از پذیرش غذا توسط ماهیان، خوش‌خوراکی و قابلیت مصرف در کلیه سطوح جایگزینی کنجاله و روغن داشته است و این شاخص‌ها متأثر از سطوح کنجاله و روغن قرار نگرفتند. چنین نتایجی قبلاً توسط Dumas و همکاران (۲۰۱۸) در قزل‌آلا و با جایگزینی پودر و روغن حاصل از لارو مگس سیاه گزارش شده است. لذا می‌توان بیان کرد که کلیه سطوح گنجاندن روغن سوپرمیلورم و

ضریب تبدیل غذایی در سوف حاج طرخان (*Perca fluviatilis*) مناسب‌تر دانستند. این در حالی است که Prachom و همکاران (۲۰۲۱) شواهدی مبنی بر قابلیت گنجاندن پودر چربی‌زدایی شده سوپرمیلورم و عدم اختلاف در رشد، ضریب تبدیل غذایی، شاخص‌های کبدی و احشایی در جیره ماهی جوان سی‌باس آسیایی تا بالاترین سطح جایگزینی (۴۵٪) ارائه کردند، در حالی که Li و همکاران (۲۰۱۷) قابلیت جایگزینی ۱۰۰٪ از پودر همین حشره در جیره کپور معمولی واریته Jian را بدون اثرات منفی بر شاخص‌های رشد و تغذیه گزارش کردند. بنابراین، در تحلیل یافته‌ها و اختلافات مشاهده شده در قابلیت و سطوح جایگزینی پودر گونه‌های مختلف از حشرات باید به عوامل متعدد مانند نوع پودر حشره، مصرف خام پودر و یا اعمال روش‌های چربی‌زدایی، گونه آبی و سطوح گنجاندن توجه داشت.

از نظر قابلیت جایگزینی روغن ماهی با روغن سوپرمیلورم، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شاخص‌های رشد و بسیاری از شاخص‌های تغذیه‌ای متأثر از سطوح جایگزینی قرار نگرفتند. به عنوان یک اصل کلی بیان شده است که جایگزینی روغن ماهی با روغن جایگزین در صورتی مناسب است که علاوه بر عدم اختلال بر عملکرد رشد، نیازهای اسیدهای چرب ضروری ماهی نیز برآورده شود (Fawole et al. 2021; Gou et al. 2023). بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد روغن حشرات بر امکان استفاده از روغن مگس سرپاز سیاه و روغن سوپرمیلورم متمرکز شده و داده‌های چندانی از کاربرد روغن سوپرمیلورم وجود ندارد. همچنین، نوع روش روغن‌گیری (شیمیایی و مکانیکی) احتمالاً بر کیفیت روغن حاصله تأثیر دارد. از نتایج گنجاندن روغن سوپرمیلورم در مطالعه حاضر می‌توان استنباط کرد که سطوح روغن اضافه شده در این مطالعه فراتر از سطح تحمل ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نبوده و احتمالاً نیاز به اسیدهای چرب به خطر نیفتاده است که تحلیل دقیق این موضوع نیازمند بررسی پروفایل اسیدهای چرب فیله و کبد ماهی در مطالعات آینده دارد.

اگرچه در بیشتر مطالعات قبلی جایگزینی کامل روغن حشره به دلیل مزه و طعم نامطلوب، وجود ترکیبات ناشناخته مانند بنزوکائین و مواد فرار ناخوشایند باعث کاهش مقبولیت غذا

احتمالاً نشان می‌دهد که اسید چرب ۱۸:۳n۳ و یا اسیدهای چرب گروه n-3 LC-PUFA در جیره‌ها کافی بوده و می‌توانند روند عملکردی خود را پیش ببرند. برخلاف نتایج مطالعه حاضر، جایگزینی کامل روغن مگس سر باز سیاه به جای روغن ماهی در قزل‌آلا در مطالعه Fawole و همکاران (۲۰۲۱) منجر به افزایش شدید چربی صفاقی شد، به طوری که آنها علت چنین روندی را به ساختار اسیدهای چرب در پودر حشرات نسبت دادند. وجود مقادیر بالایی از اسیدهای چرب اشباع با زنجیره کوتاه و متوسط (مانند اسید لوریک و پالمیتیک) در روغن حشرات می‌تواند نقش مهمی در افزایش وزن بدن ناشی از تجمع چربی صفاقی در ناحیه شکمی داشته باشد. برای تفسیر دقیق علت چنین روندی، بررسی اندازه و تعداد یاخته‌های چربی و میزان چربی درون یاخته‌های بافت صفاقی (که با آپوپتوزیس مرتبط است) می‌تواند شاخص مناسب‌تری در کیفیت بافت چربی از طریق مطالعات بافت‌شناسی باشند (Li et al. 2017; Mikołajczak et al. 2020; Kuo et al. 2022). همچنین، بررسی اسیدهای چرب بدن و کبد و تأثیر جیره‌های مبتنی بر پودر و روغن حشرات می‌تواند در تفسیر و کارآیی نتایج در مطالعات آینده مؤثر باشند.

ترکیب بیوشیمیایی بدن

پودر حشرات دارای مقادیر بالایی از پروتئین و چربی بوده و بالا بودن چربی سبب افزایش امکان فساد اکسایشی در آنها می‌شود، لذا انجام فرآیندهای شیمیایی چربی‌زدایی و یا روغن‌گیری احتمالاً بتوانند سبب بهبود کارآیی آنها در آبزیان شود. بررسی ترکیب بدن ماهیان تغذیه کرده در تیمارهای حاوی کنجاله و روغن نشان داد که این جایگزینی‌ها بر ترکیب بدن اثر دارند. برخلاف نتایج مطالعه حاضر، Jabir و همکاران (۲۰۱۲) در تیلاپپای نیل (جایگزینی سطوح ۱۰۰-۲۵٪ پودر سوپرمیلورم)، Li و همکاران (۲۰۱۷) در ماهی کپور معمولی واریته جیان (در جایگزینی سطوح ۱۰۰-۲۵٪ از پودر چربی-زدایی‌شده مگس سر باز سیاه)، Rema و همکاران (۲۰۱۹) در قزل‌آلا (جایگزینی سطوح ۱۰۰-۲۰٪ از پودر چربی‌زدایی‌شده میلورم) و Caimi و همکاران (۲۰۲۱) در قزل‌آلا (جایگزینی سطوح ۵۰-۱۰٪ پودر چربی‌زدایی‌شده مگس سر باز سیاه)

حتی گنجاندن کامل آن به جای روغن ماهی در قزل‌آلاهای مطالعه حاضر از نظر شاخص‌های رشدی و تغذیه‌ای قابلیت کاربرد را دارند.

شاخص‌های کبدی و احشایی

شاخص‌های کبدی و احشایی از عوامل مهم در سلامت کبد و توده شکمی هستند. تجمع بیش از حد چربی می‌تواند بر توده احشایی و حتی اندازه نسبی کبد تأثیر گذارد. به‌رغم مشابهت در وزن کبد و امعاء و احشاء، شاخص‌های کبدی و احشایی در ماهیان مطالعه حاضر متأثر از سطوح کنجاله و روغن قرار گرفتند. نتایج مطالعه حاضر از نظر جایگزینی کنجاله سوپرمیلورم نشان داد که شاخص کبدی در سطح جایگزینی بالاتر از ۲۵٪ و شاخص احشایی در سطح بالاتر از ۵۰٪ افزایش معنی‌دار داشتند. این موضوع احتمالاً نشان‌دهنده افزایش تجمع چربی در کبد و بخش‌های شکمی ماهی دارد. مشابه این نتایج، چنین روندی قبلاً در کپور ماهی آب شیرین (*O. macrolepis*) توسط Guo و همکاران (۲۰۲۳) و ماهی کپور واریته جیان توسط Li و همکاران (۲۰۱۷) به دلیل بالا بودن میزان چربی در پودر حشرات گزارش شده است. اگرچه Basto و همکاران (۲۰۲۳) در کاربرد پودر چربی-زدایی شده لارو میلورم شواهد محکمی مبنی بر بزرگ‌تر شدن کبد، کاهش بیان ژن‌های آنزیم‌های طول‌ساز و غیراشباع‌ساز در کبد و نهایتاً کاهش اسیدهای چرب غیراشباع بلند زنجیره در فیله سی‌باس اروپایی (*Dicentrarchus labrax*) تغذیه کرده از سطوح بالاتر از ۴۰٪ را گزارش کردند. همچنین، Cardinaletti و همکاران (۲۰۱۹) در ماهی قزل‌آلا رنگین‌کمان به‌رغم این که سطح ۲۵٪ از جایگزینی با پودر کاملاً چربی‌زدایی شده لارو مگس سیاه را مناسب تشخیص دادند، ولی هشدارهایی در زمینه افزایش چربی در بافت کبد، کاهش درازای میکروویلی‌های روده و اثرات مخرب بر ایمنی بدن را عمدتاً به دلیل بالا بودن چربی در پودر حشرات در سطوح بالاتر از ۲۵٪ گزارش کردند.

نتایج مطالعه حاضر از نظر جایگزینی روغن سوپرمیلورم نشان می‌دهد که سطوح بالاتر از ۵۰٪ عملکرد منفی بر شاخص کبدی و احشایی ماهی دارند. عدم اثرات منفی در شاخص‌های کبدی و احشایی در سطوح کمتر از ۵۰٪ روغن سوپرمیلورم

نداشت. همچنین، Fawole و همکاران (۲۰۲۱) در استفاده از روغن مگس سرباز سیاه به جای روغن ماهی و سویا در جیره قزل‌آلا گزارش کردند که نوع منبع روغن بر ترکیب بدن تأثیر معنی‌دار ندارد. برعکس، Gou و همکاران (۲۰۲۳) در جایگزینی (سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰٪) روغن مگس سرباز سیاه بجای روغن ماهی در جیره ماهی آب شیرین *Onychostoma macrolepis* گزارش کردند که ترکیب بدن در ماهیان تغذیه کرده از سطوح ۲۵ و ۵۰٪ جایگزینی با گروه شاهد متفاوت نبوده ولی امکان جایگزینی کامل وجود ندارد. بنابراین، در تحلیل نتایج مبتنی بر مطابقت و یا عدم هم‌خوانی نتایج مطالعه حاضر با دیگر محققان باید به نوع پودر یا روغن حشره، فرآیند چربی‌زدایی و یا روغن‌گیری و گونه آبری توجه داشت.

نتیجه‌گیری

در مجموع و با توجه به نتایج مطالعه حاضر می‌توان بیان کرد که تهیه کنجاله و روغن از پودر سوپرمیلورم با فرآیند مکانیکی روغن‌کشی از کارآیی مطلوبی برخوردار است. این روش، اثرات منفی بر میزان پروتئین کنجاله حاصله نداشت، ولی سبب کاهش میزان چربی کنجاله شد که یک شاخص مثبت محسوب می‌شود. همچنین شاخص‌های رشد، ترکیب بدن و بسیاری از شاخص‌های تغذیه‌ای در ماهیان قزل‌آلای تغذیه کرده از کنجاله و روغن متأثر از سطوح جایگزینی قرار نگرفتند، ولی افزایش شاخص‌های کبدی و احشایی در سطوح بالا دیده شد. در مجموع، امکان جایگزینی ۲۵٪ کنجاله سوپرمیلورم و تا ۵۰٪ روغن سوپرمیلورم در جیره قزل‌آلای رنگین‌کمان جوان وجود دارد. به نظر می‌رسد که استفاده از کنجاله و روغن حاصل از پودر سوپرمیلورم به تنهایی قادر به تأمین و یا بهبود کلیه نیازهای ماهی نبوده و ترکیب آنها با دیگر منابع پروتئینی و روغنی در جیره قزل‌آلا ضروری است. با وجود این، نتیجه‌گیری دقیق‌تر نیاز به بررسی پروفایل اسیدهای چرب کبد و فیله، آنزیم‌های هضمی، میکروفلور روده، کیفیت فیله و تعیین بیان ژن‌های مرتبط دارد.

منابع

تأثیری بر ترکیب بیوشیمیایی بدن گزارش نکردند. عدم اثرگذاری بر میزان پروتئین بدن ماهی قزل‌آلای مطالعه حاضر احتمالاً نشان‌دهنده تنظیم پروتئین در درون بدن در یک فرآیند خودتنظیمی باثبات است. به طور مشابه، Gebremichael و همکاران (۲۰۲۲) تفاوتی در میزان پروتئین بدن ماهی کپور (تغذیه کرده از پودر چربی‌زدایی‌شده میلورم حتی با جایگزینی ۱۰۰٪) مشاهده نکردند. این در حالی است که Kuo و همکاران (۲۰۲۲) شواهدی مبنی بر کاهش واضح میزان پروتئین بدن در مارماهی ژاپنی (*Anguilla japonica*) تغذیه کرده از پودر چربی-زدایی‌شده لارو مگس سرباز سیاه در سطوح جایگزینی بالاتر از ۶۰٪ ارائه کردند.

میزان چربی بدن قزل‌آلای مطالعه حاضر با جایگزینی پودر سوپرمیلورم متأثر از سطوح جایگزینی قرار گرفت. برعکس یافته‌های این مطالعه، Belforti و همکاران (۲۰۱۵) در جایگزینی پودر لارو سوسک زرد (سطوح ۲۵ و ۵۰٪) شواهدی مبنی بر کاهش چربی فیله همزمان با افزایش سطح جایگزینی در قزل‌آلا گزارش کردند. همچنین، Ardra و همکاران (۲۰۲۴) در جایگزینی پودر ماهی با پودر تخمیرشده با اسیدآلی (اسید فرمیک) از لارو مگس سرباز سیاه در جیره ماهی پنگوسی (*Pangasianodon hypophthalmus*) در سطوح جایگزینی (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰٪) نشان دادند که میزان پروتئین بدن با افزایش سطح به وضوح افزایش می‌یابد، ولی میزان چربی بدن متأثر از سطوح قرار نگرفت.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که جایگزینی سطوح مختلف روغن سوپرمیلورم (۱۰۰-۲۵٪ به جای روغن ماهی) تأثیری بر ترکیب پروتئین و چربی بدن ماهی قزل‌آلا نداشت و می‌توان گفت که حتی جایگزینی کامل روغن ماهی با روغن سوپرمیلورم در ماهی قزل‌آلا امکان‌پذیر است. از این نظر، نتایج مطالعه حاضر فارغ از نوع روغن حشره، گونه آبری و نوع روش استحصال (شیمیایی یا مکانیکی) با دیگر مطالعات در برخی موارد مطابقت داشت. برای مثال، Dumas و همکاران (۲۰۱۸) در جایگزینی جزیبی روغن مگس سرباز سیاه با دو شیوه چربی‌زدایی شده و استحصال شده از طریق مکانیکی در سطوح مختلف در جیره قزل‌آلا نشان دادند که میزان پروتئین و چربی بدن در گروه‌های تغذیه کرده از روغن مکانیکی تفاوت

- Ardra, M., Pradhan, C., Sweta, D., Pillai, D. 2024. The effect of fishmeal replacement with organic acid fermented black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth, nutrient utilization, metabolic enzyme activity, antioxidant status and immunity in Pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Aquaculture* 591: 741114. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741114.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2002. Official Methods of Analysis, 17th edn. AOAC, Arlington.
- Barroso, F.G., de Haro, C., Sanchez-Muros, M.J., Venegas, E., Martínez-Sanchez, A., Perez-Banon, C. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423: 193-201. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.024.
- Basto, A., Marques, A., Silva, A., Sa, T., Sousa, V., Oliveira, M.B.P., Aires, T., Valente, L.M.P. 2023. Nutritional, organoleptic and sensory quality of market-sized European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed defatted *Tenebrio molitor* larvae meal as main protein source. *Aquaculture* 566: 739210. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.739210.
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., De Marco, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Zoccarato, I., Gasco, L. 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. DOI: 10.4081/ijas.2015.4170.
- Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, Å., Lock, E.J. 2019. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503: 609-619. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.12.032.
- Brafield, A.E. 1985. Laboratories studies on energy budgets. In: Fish energetic. New perspective. Tytler, P., Calow, P. (Eds.). Croom Helm, London, 257-281.
- Caimi, C., Biasato, I., Chemello, G., Odon, S., Lussiana, C., Malfatto, V.M., Teresa, M., Capucchi, C.E., Schiavone, A., Gai, F., Trocino, A., Alberto, B., Manuela, R., Gasco, L. 2021. Dietary inclusion of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larva meal in low fishmeal-based diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Animal Science and Biotechnology* 12: 1-15. DOI: 10.1186/s40104-021-00575-1.
- Cardinaletti, G., Randazzo, B., Messina, M., Zarantonello, M., Giorgini, E., Zimbelli, A., Bruni, L., Parisi, G., Olivotto, I., Tulli, F. 2019. Effects of graded dietary inclusion level of full-fat *Hermetia illucens* prepupae meal in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals* 9: 1-21. DOI: 10.3390/ani9050251.
- Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Guerreiro, I., Oliva-Teles, A., Enes, P., Biasato, I., Schiavone, A., Gai, F., Gasco, L. 2020. Partially defatted *Tenebrio molitor* larva meal in diets for grow-out rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on growth performance, diet digestibility and metabolic responses. *Animals* 10: 1-15. DOI: 10.3390/ani9050251.
- Cho, H.S., Park, J.H., Olawuyi, I.F., Nam, J.O., Lee, W.Y. 2025. Physicochemical characteristics and anti-inflammatory properties of *Zophobas morio* (super mealworm) protein extracted by different methods. *Food Chemistry* 468: 142519. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.142519.
- Das, M., Mondal, M., Ambiya, Md.G., Basu, A., Bej, A., Mistry, I. 2024. Dietary fishmeal protein replacement with superworm (*Zophobas morio*) larvae meal: Effect on growth, feed utilization,

- survival, digestive enzyme activity, skin color enhancement of juvenile goldfish, *Carassius auratus*. International Journal of Bioscience 25: 238-251. DOI: 10.12692/ijb/25.5.238-251.
- Dragojlovic, D., Duragic, O., Pezo, L., Popovic, L., Rakita, S., Tomicic, Z., Spasevski, N. 2022. Comparison of nutritional profiles of superworm (*Zophobas morio*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) as alternative feeds used in animal husbandry: Is superworm superior? Animals 12: 1-16. DOI: 10.3390/ani12101277.
- Dumas, A., Raggi, T., Barkhouse, J., Lewis, E., Weltzien, E. 2018. The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 492: 24-34. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.03.038.
- Fawole, F.J., Labh, S.N., Hossain, Md.S., Overturf, K., Small, B.C., Welker, T.L., Hardy, R.W., Kumar, V. 2021. Insect (black soldier fly larvae) oil as a potential substitute for fish or soy oil in the fish meal-based diet of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Animal Nutrition 7: 1360-1370. DOI: 10.1016/j.aninu.2021.07.008.
- 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.
- Gebremichael, A., Sándor, Z.J., Kucska, B. 2022. Does dietary inclusion of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) affect growth and body composition of juvenile common carp (*Cyprinus carpio*)? South African Journal of Animal Science 52: 444-451. DOI: 10.4314/sajas.v52i4.04.
- Gou, N., Wang, K., Jin, T., Yang, B. 2023. First insights on the administration of insect oil (black soldier fly larvae) in the diet of juvenile *Onychostoma macrolepis*. Animals 13: 518. DOI: 10.3390/ani13030518.
- Gourgouta, M., Andreadis, S.S., Koutsogeorgiou, E.I., Rumbos, C.I., Grigoriadou, K., Giannenas, I., Bonos, E., Skoufos, I., Athanassiou, C.G. 2024. Larval performance of *Zophobas morio* (F.) (Coleoptera: Tenebrionidae) on various diets enriched with post-distillation residues and essential oils of aromatic and medicinal plants. Environmental Science and Pollution Research 31: 28847-28855. DOI: 10.1007/s11356-024-32603-8.
- Harsányi, E., Juhász, C., Kovács, E., Huzsvai, L., Pintér, R., Fekete, G., Varga, Z.I., Aleksza, L., Gyuricza, C. 2020. Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* larvae as alternative feed supplements. Insects 11: 1-17. DOI: 10.3390/insects11090604.
- Henry, M.A., Golomazou, E., Asimaki, A., Psafakis, P., Fountoulaki, E., Mente, E., Rumbos, C.I., Athanassiou, C.G., Karapanagiotidis, I.T. 2022. Partial dietary fishmeal replacement with full-fat or defatted superworm (*Zophobas morio*) larvae meals modulates the innate immune system of gilthead seabream, *Sparus aurata*. Aquaculture Reports 27: 101347. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101347.
- Hosseini Shekarabi, S.P., Shamsaie Mehrgan, M., Banavreh, A. 2021. Feasibility of superworm, *Zophobas morio*, meal as a partial fishmeal replacer in fingerling rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, diet: growth performance, amino acid profile, proteolytic enzymes activity and pigmentation. Aquaculture Nutrition 27: 1077-1088. DOI: 10.1111/anu.13249.

- Iaconisi, V., Bonelli, A., Pupino, R., Gai, F., Parisi, G. 2018. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture* 484: 197-204. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.11.034.
- Jabir, A.R.M.D., Razak, S.A., Vikineswary, S. 2012. Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology* 11: 6592-6598. DOI: 10.5897/AJB11.1084.
- Kuo, I.P., Liu, C.S., Yang, S.D., Liang, S.H., Hu, Y.F., Nan, F.H. 2022. Effects of replacing fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae meal in Japanese eel (*Anguilla japonica*) diet on growth performance, fillet texture, serum biochemical parameters, and intestinal histomorphology. *Aquaculture Nutrition* 1: 1-14. DOI: 10.1155/2022/1866142.
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., 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.
- Li, X., Qin, C., Fang, Z., Sun, X., Shi, H., Wang, Q., Zhao, H. 2022. Replacing dietary fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal affected growth, digestive physiology and muscle quality of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*). *Frontier in Physiology* 13: 855-957. DOI: 10.3389/fphys.2022.855957.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V., Ankers, P. 2014. State of the art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1-33. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
- Melenchón, F., Larrán, A.M., De Mercado, E., Hidalgo, M.C., Cardenete, G., Barroso, F.G., Fabrikov, D., Lourenço, H.M., Pessoa, M.F., Tomás-Almenar, C. 2021. Potential use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) and mealworm (*Tenebrio molitor*) insect meals in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition* 27: 491-505. DOI: 10.1111/anu.13201.
- Mikołajczak, Z., Rawski, M., Mazurkiewicz, J., Kierończyk, B., Józefiak, D. 2020. The effect of hydrolyzed insect meals in sea trout fingerling (*Salmo trutta* m. *trutta*) diets on growth performance, microbiota and biochemical blood parameters. *Animals* 10: 1031. DOI: 10.3390/ani10061031.
- Nascimento, R.Q., Di Mambro Ribeiro, C.V., Colauto, N.B., da Silva, L., Lemos, P.V.F., de Souza Ferreira, E., Linde, G.A., Machado, B.A.S., Tavares, P.P.L.G., Biasoto, A.C.T., Umsza Guez, M.A., Carvalho, N., de Jesus Assis, D., da Silva, J.B.A., de Souza, C.O. 2022. Utilization of agro-industrial residues in the rearing and nutritional enrichment of *Zophobas atratus* larvae: new food raw materials. *Molecules* 27: 6963. DOI: 10.3390/molecules27206963.
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., Józefiak, A. 2019. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture* 11: 1080-1103. DOI: 10.1111/raq.12281.
- Nugroho, R.A., Aryani, R., Hardi, E.H., Manurung, H., Rudianto, R. 2024. Nutritional benefits of black soldier fly larvae oil in animal feed. *Bioeksperimen* 10: 30-39. DOI: 10.1016/j.Bioe.2019.05.042.
- Oliva-Teles, A., Enes, P., Peres, H. 2015. Replacing fishmeal and fish oil in industrial aquafeeds for carnivorous fish. In: *Feed and feeding practice in aquaculture*. Davis, D.A. (Ed.).

- Woodhead Publishing, Cambridge, 203-233.
- Oonincx, D.G.A.B., de Boer, I.J.M. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans- A life cycle assessment. *PLoS One* 7: e51145. DOI: 10.1371/journal.pone.0051145.
- Perez-Santaescolastica, C., De Winne, A., Devaere, J., Fraeye, I. 2023. Comparing the aromatic profile of seven unheated edible insect species. *Food Research International* 164: 112389. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112389.
- Prachom, N., Boonyoung, S., Hassaan, M.S., El-Haroun, E., Davies, S.J. 2021. Preliminary evaluation of Superworm (*Zophobas morio*) larval meal as a partial protein source in experimental diets for juvenile Asian sea bass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture Nutrition* 27: 1304-1314. DOI: 10.1111/anu.13269.
- Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Biasibetti, E., De Marco, M., Brugiapaglia, A., Zoccarato, I., Gasco, L. 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8: 57. DOI: 10.1186/s40104-017-0191-3.
- Rumbos, C.I., Athanassiou, C.G. 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): A sleeping giant in nutrient sources. *Journal of Insect Science* 21: 1-11. DOI: 10.1093/jisesa/ieab014.
- Sánchez-Muros, M.J., Haro, C.de., Sanz, A., Trenzado, C.E., Villareces, S., Barroso, F.G. 2016. Nutritional evaluation of *Tenebrio molitor* meal as fishmeal substitute for tilapia (*Oreochromis niloticus*) diet. *Aquaculture Nutrition* 22: 943-955. DOI: 10.1111/anu.12313.
- Scaffardi, L., Formici, G. 2022. Novel Foods and Edible Insects in the European Union: An Interdisciplinary Analysis. Springer, Amsterdam, 181 p.
- Son, Y.J., Choi, S.Y., Hwang, I.K., Nho, C.W., Kim, S.H. 2020. Could defatted mealworm (*Tenebrio molitor*) and mealworm oil be used as food ingredients? *Foods* 9: 1-15. DOI: 10.3390/foods9010040.
- Tacon, G.J., Metian, M. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil industrially compounded aqua feeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285: 146-158. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.08.015.
- Tran, H.Q., Prokešová, M., Zare, M., Matoušek, J., Ferrocino, I., Gasco, L., Stejskal, V. 2022. Production performance, nutrient digestibility, serum biochemistry, fillet composition, intestinal microbiota and environmental impacts of European perch (*Perca fluviatilis*) fed defatted mealworm (*Tenebrio molitor*). *Aquaculture* 547: 737499. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737499.
- van Broekhoven, S., Oonincx, D.G.A.B., van Huis, A., van Loon, J.J.A. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology* 73: 1-10. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2014.12.005.
- Weththasinghe, P., Hansen, J., Nøklund, D., Lagos, L., Rawski, M., Øverland, M. 2021. Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality, nutrient digestibility, nutrient utilization and growth performances. *Aquaculture* 530: 735785. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735785.
- Yang, S.S., Brandon, A.M., Flanagan, J., Yang, J., Ning, D., Cai, S.Y., Fan, H.Q., Wang, J.Z.Y., Benbow, E., Ren, N.Q., Waymouth, R.M., Zhou, J., Criddle, C.S.,

Wu, W.M. 2018. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere* 191: 979-989. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.117.

Zagon, J., Winter, R., Winkel, M., Garino C. 2025. Detection of the giant mealworm (*Zophobas atratus*) in food and feed by single copy gene based real time PCR. *Food Control* 171: 111069. DOI: 10.1016/j.foodcont.2024.111069.