2026, 2(4): 27-32

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

Effect of fish meal replacement with mealworm (*Tenebrio molitor*) on growth performance and immune response of common carp (*Cyprinus carpio*)

Mohsen Barkhordar *

Department of Animal Sciences Research, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran

Key Words

Mealworm
Fishmeal
Common Carp
Growth performance
Immune response

Abstract

Introduction: This study aimed to investigate the possibility of partially replacing fishmeal, an expensive protein source dependent on marine resources, with mealworm (*Tenebrio molitor*) in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*). Increasing production costs and environmental sustainability concerns due to overexploitation of marine resources have necessitated the use of alternative protein sources such as insects.

Materials & Methods: In this study, five experimental diets were formulated with different levels of substitution (0, 25, 50, 75 and 100% replacement of fishmeal with mealworm) while maintaining a crude protein level of 32%.

Results: The results showed that substitution up to 50% had no significant effect on growth performance (weight gain rate and feed conversion ratio) ($p>0.05$). However, higher levels of replacement (75% and 100%) resulted in significant reductions in growth rate and feed conversion ratio ($p<0.05$). Analysis of blood parameters showed that lower levels of replacement had a positive effect on the health status of the fish, as glucose and total cholesterol levels improved in the 50% group ($p<0.05$). Liver enzyme activities (AST, ALT) also increased in the groups where fish meal was completely removed, indicating greater metabolic stress ($p<0.05$).

Conclusion: This study shows that mealworm is a potential and sustainable alternative to provide part of the protein required in the diet of carp, but to achieve optimal growth performance, there is a need for more precise optimization of the diet formulation, especially the balance of essential amino acids.

Article info

* Corresponding Author's email:
mohsen.barkhordar@gmail.com

Received: 22 December 2025
Reviewed: 23 January 2026
Revised: 25 March 2026
Accepted: 5 May 2026

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

مقاله پژوهشی

اثر جایگزینی میلورم (*Tenebrio molitor*) با پودر ماهی بر عملکرد رشد و پاسخ ایمنی در جیره غذایی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

محسن برخوردار[*]

بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

کلمات کلیدی

میلورم
پودر ماهی
کپور معمولی
عملکرد رشد
پاسخ ایمنی

چکیده

مقدمه: این پژوهش با هدف بررسی امکان جایگزینی بخشی از پودر ماهی، به عنوان یک منبع پروتئینی گران‌قیمت وابسته به منابع دریایی با میلورم (*Tenebrio molitor*) در جیره غذایی ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) انجام شد. افزایش هزینه‌های تولید و نگرانی‌های پایداری زیست‌محیطی ناشی از برداشت بی رویه منابع دریایی، استفاده از منابع پروتئینی جایگزین مانند حشرات را ضروری ساخته است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه پنج جیره آزمایشی با سطوح مختلف جایگزینی (۰ و ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰٪ جایگزینی پودر ماهی با میلورم) با حفظ سطح پروتئین خام ۳۲٪ فرموله شدند.

نتایج: نتایج نشان داد که جایگزینی تا سطح ۵۰٪ اثر معنی‌داری برعملکردرشد (نرخ افزایش وزن و ضریب تبدیل غذایی) نداشت ($p>0/05$). با این‌حال، سطوح بالای جایگزینی (۷۵٪ و ۱۰۰٪) منجر به کاهش معنی‌دار در نرخ رشد و ضریب تبدیل غذایی گردید ($p<0/05$). تجزیه و تحلیل شاخص‌های خونی نشان داد که سطوح پایین‌تر جایگزینی تاثیر مثبتی بر وضعیت سلامتی ماهیان دارد، به‌طوری که سطوح گلوکز و کلسترول تام در گروه ۵۰٪ بهبودیافت ($p<0/05$). همچنین فعالیت‌آنزیم‌های کبدی (AST, ALT) در گروه‌هایی که پودر ماهی به‌طور کامل حذف شده بود، افزایش یافت که نشان‌دهنده فشار متابولیکی بیشتر است ($p<0/05$).

بحث و نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد که میلورم یک جایگزین بالقوه و پایدار برای تامین بخشی از پروتئین مورد نیاز در جیره غذایی ماهی کپور است، اما برای دستیابی به عملکرد بهینه رشد، نیاز به بهینه‌سازی دقیق‌تر فرمولاسیون جیره به‌ویژه تعادل اسیدهای آمینه ضروری دارد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
mohsen.barkhordar@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱ دی ۱٤۰٤
تاریخ داوری: ۳ بهمن ۱٤۰٤
تاریخ اصلاح: ۵ فروردین ۱٤۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۵ اردیبهشت ۱٤۰۵

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

مقدمه

توسعه صنعت آبزی‌پروری در دهه‌های اخیر به یک ضرورت جهانی برای تامین پروتئین با کیفیت برای جمعیت رو به رشد بشر تبدیل شده است. ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) به دلیل سازگاری بالا با محیط‌های مختلف، نرخ رشد مناسب و پذیرش مناسب خوراک‌های تجاری، یکی از مهم‌ترین گونه‌های آبزیان پرورشی در سراسر جهان محسوب می‌شود (۲۰). هسته اصلی هر جیره غذایی در آبزیان پروتئین است که نقشی حیاتی در رشد، ترمیم بافت و سیستم ایمنی ایفا می‌کند. به‌طور سنتی پودر ماهی به‌دلیل دارا بودن پروفایل کامل اسیدهای آمینه ضروری، قابلیت هضم بالا و ارزش غذایی بالا به عنوان استاندارد طلایی در فرمولاسیون جیره‌های غذایی آبزیان مورد استفاده قرار گرفته است (۱۴). با این حال، وابستگی شدید به پودر ماهی با چالش‌های جدی اقتصادی و زیست‌محیطی روبرو است. تولید پودر ماهی بیشتر وابسته به صید منابع دریایی است که منجر به فشار مضاعف بر ذخایر ماهیان مولد و افزایش هزینه‌های جهانی شده است (۱۶)، از سوی دیگر نوسانات شدید عرضه و تقاضا قیمت پودر ماهی را به شدت متغیر ساخته و حاشیه سود مزارع پرورش ماهی را کاهش داده است. در راستای جستجو برای منابع پروتئینی جایگزین پایدار، حشرات به عنوان یک منبع پروتئین نسل جدید مطرح شده‌اند. لارو میلورم به‌دلیل چرخه پرورش کوتاه، سهولت در مقیاس‌پذیری، قابلیت رشد بر روی ضایعات کشاورزی (کاهش اثرات زیست محیطی) و داشتن ارزش غذایی بالا (شامل ۴۵ تا ۶۵ درصد پروتئین، چربی‌های مفید و کیتین)، به‌عنوان یک جایگزین امیدوار کننده مورد توجه قرار گرفته است (۶، ۱۹). علاوه بر این، میلورم نه تنها می‌تواند هزینه‌های خوراک را در بلند مدت تثبیت کند، بلکه با توجه به ضریب تبدیل غذایی پایین‌تر حشرات در مقایسه با پودر ماهی، پایداری اقتصادی را افزایش می‌دهد. پروفایل اسیدهای آمینه میلورم تا حدود زیادی مشابه پودر ماهی می‌باشد، هرچند محتوای اسیدهای آمینه گوگرد دار ممکن است نیاز به تعدیل داشته باشد (۲۲). همچنین وجود کیتین در دیواره سلولی میلورم ممکن است اثرات مفیدی بر تحریک سیستم ایمنی و سلامت روده ماهیان داشته باشد، اگرچه مقادیر بالای آن می‌تواند هضم را کاهش دهد. هدف از این مطالعه تعیین سطح بهینه جایگزینی پودر ماهی با میلورم در جیره غذایی ماهی کپور معمولی برای دستیابی به بهترین عملکرد رشد، بهره‌وری خوراک و حفظ پارامترهای خونی نشانگر سلامت، به منظور ارائه یک فرمولاسیون پایدار و مقرون به صرفه است.

مواد و روش‌ها

فرمولاسیون جیره‌ها: میلورم به‌صورت تجاری و خشک از شرکت ورمیکا (مشهد) خریداری و با آسیاب برقی (ZG - 0131) پودر شد. پودر ماهی و اقلام جیره مورد استفاده از شرکت تولید و فروش دامپروری مشهد خریداری شد. جیره‌های آزمایشی براساس استاندارد پروتئین مورد نیاز کپور (۳۲٪ پروتئین خام) فرموله شدند. پودر ماهی در پنج سطح جایگزینی با میلورم مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). سایر مواد اولیه جیره شامل کنجاله سویا، روغن ماهی و مخلوط ویتامین- مواد معدنی استاندارد به‌کار برده شد. جیره‌ها به صورت پلت با چرخ‌گوشت (MT-1200) به قطر ۳ میلی‌متر تهیه و تا زمان استفاده در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند.

جدول ۱: مواد خوراکی مورد استفاده در جیره‌های آزمایشی

Table 1: Feed ingredients used in the experimental diets

	Treatments				
Feed ingredients	**Control**	**25%**	**50%**	**75%**	**100%**
Fish meal	20	15	10	5	0
Soybean meal	30	30	30	30	30
Mealworm meal	0	5	10	15	20
Rice flour	10	10	10	10	10
Wheat flour	21	21.5	22	22.5	23
Corn meal	12	12	12	12	12
Soybean oil	3	2.5	2	1.5	1
Vitamin premix[a]	1	1	1	1	1
Mineral premix[b]	1	1	1	1	1
Molasses	2	2	2	2	2
Chemical Composition					
Crude Protein (%)	32.89	32.25	31.92	32.01	31.6

[a] Vitamin premix contained the following vitamins (each kg $^{-1}$ diet): vitamin A, 10,000 IU; vitamin D3, 2,000 IU; vitamin E, 100 mg; vitamin K, 20mg; vitamin B_1, 400 mg; vitamin B_2, 40 mg; vitamin B_6, 20mg; vitamin B_{12}, 0.04 mg; biotin, 0.2 mg; choline chloride, 1,200 mg; folic acid, 10 mg; inositol, 200 mg; niacin 200 mg and pantothenic calcium, 100 mg.

[b] Mineral premix (g kg^{-1} mix): $MgSO_4.2H_2O$, 127.5; KCL, 50; NaCl, 60; $CaHPO_4.2H_2O$, 727.8; $FeSO_4.7H_2O$, 25; $ZnSO_4.7H_2O$, 5.5; $CuSO_4.5H_2O$, 0.785; $MnSO_4.4H_2O$, 2.54; $CoSO_4.4H_2O$, 0.478; $Ca(IO_3)_2.6H2O$, 0.295; $CrCl_3.6H_2O$, 0.128.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

طراحی آزمایش و پرورش ماهی: بچه‌ماهیان از مجتمع کشت و صنعت برزگر شهرستان نیشابور تهیه شده و به یک کارگاه خصوصی پرورش ماهیان زینتی واقع در شهرستان مشهد منتقل شدند. بعد از دوره آداپتاسیون، تعداد ۳۰۰ قطعه ماهی کپور با میانگین وزن اولیه ۴/۱۸±۷۴/۵ گرم به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. ماهی‌ها در حوضچه‌های فایبرگلاس به‌صورت سیستم مدار بسته با نرخ جابجایی آب ۱۰٪ روزانه در دوره آزمایشی ۶۰ روزه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی نگه‌داری شدند. هر جیره به‌صورت ۳ تکرار (تعداد ۲۰ ماهی در هر تکرار) تقسیم شد. ماهی‌ها دو بار در روز تا حد سیری تغذیه شدند. پارامترهای محیطی آب (دما ۲۵ درجه سانتی گراد، اکسیژن محلول ۶ میلی‌گرم در لیتر و pH ۷/۲ تا ۷/۵) به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و کنترل شد. ترکیب شیمیایی جیره‌های غذایی (ماده خشک، پروتئین خام، چربی و خاکستر) از روش AOAC تعیین شد (۳).

تجزیه و تحلیل عملکرد رشد: در پایان دوره آزمایش، ماهی‌ها صید شده و پارامترهای رشد شامل وزن نهایی، نرخ افزایش ویژه (SGR)، ضریب تبدیل غذایی (FCR) محاسبه گردید (۴).

ضریب رشد ویژه (درصد) = [(لگاریتم طبیعی وزن نهایی- لگاریتم طبیعی وزن ابتدایی) / (طول دوره پرورش)] ×۱۰۰

ضریب تبدیل غذایی= (کل خوراک مصرفی/ (میانگین وزن نهایی- میانگین وزن اولیه) × تعداد ماهیان تکرارهای هر تیمار

تجزیه و تحلیل شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی: در انتهای دوره آزمایشی ۶۰ روزه، از هر تکرار ۱۰ قطعه ماهی، از قسمت ساقه‌دمی خونگیری انجام شد. خون به‌دست آمده در لوله‌های حاوی EDTA برای آنالیز هماتولوژی و در لوله‌های بدون ضد انعقاد برای آنالیز بیوشیمیایی سرم جمع آوری گردید و شاخص‌های بیوشیمیایی خون (گلوکز، کلسترول تام، تری‌گلیسرید، پروتئین تام ، آلبومین) و آنزیم‌های کبدی شامل آسپارتات‌آمینوترانسفراز (AST) و آلانین‌آمینو ترانسفراز (ALT) با استفاده از کیت‌های آزمایشگاهی (شرکت پارس آزمون ایران) و با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (CS-400) در آزمایشگاه واحد شیلات و محیط زیست دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. روش توصیه شده Ellis برای اندازه‌گیری لیزوزیم (۹) و روش پیشنهادی Yamamoto و Yonemasu، جهت سنجش میزان ایمنوگلوبولین (IgM) به‌کاربرده شدند (۲۴).

تجزیه و تحلیل آماری: این پژوهش براساس طرح آماری طرح کاملاً تصادفی انجام شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۵) مورد تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) قرار گرفتند. در صورت وجود اختلاف معنی‌دار، آزمون دانکن برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج

عملکرد رشد: نتایج مربوط به اثرات تغذیه جایگزینی پودر ماهی با میلورم بر عملکرد رشد کپور معمولی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های رشد ماهیان نشان داد که شاخص‌های وزن نهایی، نرخ رشد ویژه و ضریب تبدیل غذایی با افزایش جایگزینی پودر ماهی با میلورم تا میزان ۵۰٪ حفظ شده‌اند و اختلاف معنی‌داری نداشتند ($p>0/05$) و در تیمارهای چهارم و پنجم (سطوح جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪) ماهی‌ها با کاهش رشد و افزایش ضریب تبدیل غذایی مواجه شدند ($p<0/05$).

جدول ۲: تاثیر استفاده از سطوح مختلف میلورم در جیره غذایی بر عملکرد رشد کپور معمولی

Table 2: Effects of dietary mealworm levels on growth performance of common carp

	Treatments				
Items	**Control**	**25%**	**50%**	**75%**	**100%**
Initial weight (g)	75±3.12	74.3±1.3	73.6±3.09	75.1±0.15	74.1±2.67
Final weight (g)	165±9.57^{a}	159±6.11^{a}	146±8.18^{ab}	128.91±11.02^{b}	122±5.94^{b}
Specific growth rate (SGR)	1.31±0.18^{a}	1.25±0.1^{a}	1.15±0.24^{ab}	0.91±0.16^{b}	0.82±0.15^{b}
Food conversion ratio (FCR)	1.92±0.09^{c}	1.95±0.17^{c}	2.18±0.14^{b}	2.27±0.21^{b}	2.32±0.09^{a}

*Mean values and standard deviation (±SD) are presented for each parameter (three groups per treatment).
*Means in the same row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی: نتایج مربوط به اثرات تغذیه جایگزینی پودر ماهی با میلورم بر شاخص های بیوشیمیایی خون کپور معمولی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در مورد شاخص‌های گلوکز، پروتئین تام و آلبومین افزایش سطح جایگزینی پودر ماهی با میلورم تا میزان ۵۰٪ تاثیر منفی معنی‌داری بر شاخص‌های مذکور نداشته است و پس از آن در مقادیر جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪ با تاثیر منفی معنی‌دار مواجه شده‌اند ($p<0/05$). نتایج تاثیر استفاده از سطوح مختلف میلورم در جیره غذایی بر آنزیم‌های کبدی و شاخص‌های ایمنی کپور معمولی نیز در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

آنزیم‌های کبدی در سرم خون ماهی‌ها نشان داد که جایگزینی پودر ماهی با میلورم تا سطح ۵۰٪ اختلاف معنی‌داری در هیچ‌کدام از آنزیم‌های کبدی آسپارتات آمینوترانسفراز (AST) و آلانین آمینو ترانسفراز (ALT) به‌وجود نمی‌آورد ($p>0/05$) و پس از آن در تیمارهای چهارم و پنجم (سطوح جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪) آنزیم‌های کبدی اندازه‌گیری شده افزایش یافت ($p<0/05$). نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری شاخص‌های ایمنی کپور ماهیان نشان‌داد که شاخص‌های ایمونوگلوبولین و لیزوزیم تا سطح جایگزینی ۵۰٪ حفظ شده‌اند و پس از آن هم‌زمان با افزایش سطح جایگزینی پودر ماهی با میلورم با کاهش معنی‌دار مواجه شده‌اند ($p<0/05$).

جدول ۳: تاثیر استفاده از سطوح مختلف میلورم در جیره غذایی بر شاخص‌های بیوشیمیایی خون کپور معمولی

Table 3: Effects of dietary mealworm levels on blood biochemical parameters of common carp

	Treatments				
Items	**Control**	**25%**	**50%**	**75%**	**100%**
Glucose (mg/dl)	48.12 ± 1.90^{b}	49 ± 2.23^{b}	45.9 ± 2.12^{c}	52 ± 2.93^{a}	58 ± 3.20^{a}
Total cholesterol (mg/dl)	118 ± 3.75^{b}	115.9 ± 3.11^{b}	108 ± 2.91^{a}	121 ± 2.18^{bc}	146.1 ± 3.20^{c}
Triglycerides (mg/dl)	465 ± 7.23^{b}	452.6 ± 8.2^{c}	471 ± 11.35^{b}	478.2 ± 11.19^{ab}	495 ± 8.19^{a}
Total protein (g/dl)	49.73 ± 2.65^{a}	41.17 ± 2.15^{ab}	44.85 ± 2.92^{ab}	36.22 ± 1.88^{b}	23.8 ± 2.17^{b}
Albomin (g/dl)	8.82 ± 0.55^{a}	8.95 ± 0.74^{a}	8.16 ± 0.82^{ab}	7.82 ± 0.35^{b}	7.18 ± 0.21^{b}

*Mean values and standard deviation (±SD) are presented for each parameter (three groups per treatment).
*Means in the same row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

جدول ۴: تاثیر استفاده از سطوح مختلف میلورم در جیره غذایی بر آنزیم‌های کبدی و شاخص‌های ایمنی کپور معمولی

Table 4: Effects of dietary mealworm levels on liver enzymes and immune parameters of common carp

	Treatments				
Items	**Control**	**25%**	**50%**	**75%**	**100%**
AST (u/l)	241 ± 5.17^{b}	248 ± 4.8^{b}	239 ± 8.12^{b}	270.2 ± 2.58^{a}	261 ± 6.65^{a}
ALT (u/l)	115 ± 12.08^{b}	119 ± 8.8^{b}	120.4 ± 6.96^{b}	128 ± 8.19^{a}	133.1 ± 11.02^{a}
Immunoglobulin (mg/ml)	0.58 ± 0.09^{a}	0.54 ± 0.06^{a}	0.51 ± 0.05^{ab}	0.45 ± 0.03^{b}	0.42 ± 0.02^{b}
Lysozyme (g/dl)	2.27 ± 0.33^{a}	2.18 ± 0.41^{a}	2.22 ± 0.25^{a}	1.92 ± 0.15^{b}	1.79 ± 0.12^{b}

*Mean values and standard deviation (±SD) are presented for each parameter (three groups per treatment).
*Means in the same row with different letters are significantly different ($p<0.05$).

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش در مورد جایگزینی میلورم در جیره غذایی کپور، ترکیبی از یافته‌های امید بخش در زمینه پایداری و چالش‌های فنی مرتبط با کیفیت پروتئین جایگزین را منعکس می‌سازد.

عملکرد رشد و بهره‌وری خوراک: افزایش عملکرد رشد در جیره‌های تیمارهای دوم و سوم (جایگزینی تا ۵۰٪) نشان می‌دهد که پروتئین میلورم دارای قابلیت هضم و جذب مناسبی برای کپور معمولی در این سطوح است. دلیل اصلی این امر می‌تواند این باشد که پروفایل اسیدهای آمینه میلورم، به‌ویژه در بخش‌هایی که پروتئین ماهی حذف شده است هنوز می‌تواند نیازهای متابولیکی کپور را تا اندازه‌ای تامین کند (۴) یا این‌که میزان جذب آنزیم‌های گوارشی کپور برای هضم پروتئین‌های حشره در سطوح پایین کارآمد است (۸). این یافته‌ها با تحقیقات انجام شده بر روی ماهیان گرمابی مانند کپور معمولی (۱۰) و تیلاپیا (۲) هم‌خوانی دارد. تیلاپیا به‌دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر در جذب مواد مغذی، تحمل بیشتری نسبت به پروتئین‌های گیاهی و حشرات نشان داده است. مطالعات نشان داده است که کپور معمولی می‌تواند تا مقادیر بالای ۵۰٪ میلورم را بدون تاثیر منفی بر ضریب تبدیل غذایی یا نرخ رشد مصرف کند، مشروط بر آن‌که محتوای چربی جیره تنظیم شود تا انرژی کل ثابت بماند (۱۰). کاهش معنی‌دار در نرخ رشد ویژه (SGR) و افزایش ضریب تبدیل غذایی (FCR) در جیره‌های تیمارهای ۴ و ۵ (جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪)، عموماً به دو عامل تفاوت در تعادل اسیدهای آمینه و اثرات بالقوه کیتین نسبت داده می‌شود. در شرایطی که پودر ماهی به‌طور کامل حذف شود، کمبود اسیدهای آمینه ضروری (مانند متیونین و تریپتوفان که اغلب در پروتئین‌های حیوانی فراوان‌ترند) می‌تواند محدودکننده رشد شود (۱۷). در این حالت، ماهی‌ها انرژی دریافتی از کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها را به‌طور ناکارآمدتری برای ساخت بافت جدید استفاده می‌کنند که منجر به افزایش مصرف خوراک برای دستیابی به افزایش وزن مشابه (ضریب تبدیل غذایی بالاتر) می‌شود (۱۱، ۱۹). به‌طوری که در مورد قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mikiss*) که نیاز پروتئین و اسید آمینه بالاتری دارد، جایگزینی بیش از ۳۰٪ پودر

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

ماهی با میلورم معمولاً منجر به کاهش معنی‌دار نرخ رشد می‌شود (۵)؛ به‌طور مثال، گزارش شده است که پروفایل اسید آمینه میلورم، به‌ویژه لیزین و متیونین، در مقایسه با پودر ماهی پایین‌تر است و برای جبران آن نیازمند به استفاده از اسیدآمینه‌های سنتتیک می‌باشد (۱۵). همچنین مطالعات نشان داده‌اند که در مورد سالمون آتلانتیک (*Salmo salar*) چربی‌های موجود در میلورم (به‌ویژه اسید اولئیک بالا) ممکن است بر کبفیت لاشه تاثیر بگذارد و سطوح بالاتر جایگزینی، سبب کاهش قابلیت هضم چربی و در نهایت کاهش رشد می‌شود (۶، ۷).

شاخص‌های بیوشیمیایی خون و ایمنی: تاثیر جایگزینی بر پارامترهای خونی، اطلاعات حیاتی در مورد وضعیت متابولیک و سلامت ماهی ارائه می‌دهد. بهبود سطوح گلوکز و کلسترول تام در تیمار سوم (سطح جایگزینی ۵۰٪) در مقایسه با تیمار شاهد (بدون جایگزینی) می‌تواند نشان‌دهنده جذب کارآمدتر انرژی از منابع جدید و همچنین پتانسیل تعدیل‌کننده چربی‌های موجود در میلورم باشد (۱۰). اگر میلورم حاوی چربی‌های اشباع نشده با زنجیره بلندتری باشد، می‌تواند به تنظیم پروفایل لیپیدی سرم کمک کند. افزایش معنی‌دار آنزیم‌های کبدی (ALT و AST) در جیره‌های تیمارهای ۴ و ۵ (سطوح جایگزینی ۷۵ و ۱۰۰٪) نشان‌دهنده فشار متابولیکی یا مسمومیت خفیف کبدی است (۲۳). این افزایش اغلب به‌دلیل تلاش کبد برای دفع یا پردازش بیش از اندازه مواد غیرضروری (مانند دیواره‌های سلولی کیتین و یا اسیدهای آمینه اضافی ناشی از عدم تعادل) رخ می‌دهد. این نکته بر لزوم احتیاط در سطوح بالای جایگزینی تاکید دارد. بررسی‌های دیگر نیز نشان داده‌اند که تغییرات در منبع پروتئین می‌تواند بر بیوشیمی خون تاثیر بگذارد. هنگامی که کیفیت پروتئین جایگزین پایین‌تر باشد (کمبود اسیدهای آمینه)، ماهی‌ها مجبور به افزایش کاتابولیسم پروتئینی برای تامین انرژی می‌شوند که منجر به افزایش سطح اوره و اسیدهای آمینه در خون می‌گردد (۱۳). نتایج حاکی از آن است که سطوح پایین جایگزینی (تا ۵۰٪) توانسته‌اند سطح ایمونوگلوبین و لیزوزیم را در سطح گروه شاهد و یا حتی بالاتر حفظ کنند. این امر قویاً از نقش ایمنی‌زایی کیتین در دوزهای پایین حمایت می کند که در بسیاری از موارد بر روی کپور گزارش شده است (۱۰). کیتین به‌عنوان یک پاتوژن مرتبط مولکولی عمل کرده و سیستم ایمنی ذاتی ماهی را فعال نگه می‌دارد. میلورم حاوی مقادیر قابل توجهی کیتین است (حدود ۱۵-۱۰٪) که می تواند به عنوان یک پریبیوتیک شناخته شود و می‌تواند سلامت روده را بهبود ببخشد (۱، ۱۲)، با این حال اثرات آن در ماهی‌ها مختلف متفاوت است. تحقیقات بر روی کپور نشان داده‌اند که سطوح پایین کیتین (تا ۳٪) می‌تواند بیان ژن‌های مرتبط با ایمنی (مانند TLRs) را افزایش دهد و در جیره‌های کپور اگر درصد کیتین بیشتر از ۵٪ باشد، می‌تواند با کاهش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک، باعث کاهش جذب پروتئین شود و میزان رشد را تحت تاثیر قرار دهد (۱۸). این مطالعه نشان داد که میلورم یک جایگزین موثر برای پودر ماهی در جیره غذایی ماهی کپور معمولی است. سطح جایگزینی ۵۰٪ پودر ماهی با میلورم بهترین نتایج را از نظر حفظ عملکرد رشد، شاخص‌های بهره‌وری خوراک و پارامترهای بیوشیمیایی مطلوب (کاهش کلسترول) ارائه داد (۱۰). جایگزینی های بالاتر از ۵۰٪ منجر به افت عملکرد رشد و افزایش نشانگرهای استرس کبدی گردید (۱۱).

نتیجه‌گیری: مزارع پرورش کپور می‌توانند جایگزینی ۵۰٪ پودر ماهی با میلورم را در فرمولاسیون‌های تجاری خود، با هدف کاهش هزینه‌های خوراک و افزایش پایداری زیست‌محیطی به کار گیرند. تحقیقات آینده باید بر بهینه‌سازی اسیدهای آمینه (به‌ویژه افزودن متیونین و لیزین سنتتیک) در جیره‌های غذایی دارای در سطوح بالای میلورم تمرکز کنند تا بتوانند به جایگزینی کامل پودر ماهی دست یابند. بررسی دقیق‌تر تاثیر بلندمدت این جیره‌ها بر کیفیت فرآورده‌های گوشتی کپور (بافت و پروفایل چربی لاشه) توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از همکاران محترم مرکز تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی استان خراسان رضوی به‌ویژه آقای دکتر سعید ظریف نشاط، رئیس محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی به‌خاطر همکاری و حمایت‌شان در طول پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. **Aaqillah-Amr, M., Hidir, A., Ikhwanuddin, M., Fatan, N., Muhammad-Rahimi, R., Ning-Shahira, S., Siankhe, R., Vandenberg, G., Tanga, C. and Yossa, R., 2025**. Effects of insect meals on fish digestibility, blood parameters and economic performance: a meta-analysis. *Journal of Insects as Food and Feed.* 11(5): 833-859. doi: 10.1163/23524588-00001096

2. **Alegbeleye, W.O., Obasa, S.O., Olude, O.O., Otubu, K. and Jimoh, W., 2012.** Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*. 43(3): 412-420. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02844.x

3. **AOAC. 2005.** International Official Methods of Analysis, XXI. Gaithersburg, M.D. AOAC International.

4. **Asadi, H., Allaf Noveirian, H., Khoshkholgh, M.R. and Safari, R., 2022.** Effects of different levels of locust meal (*Schistocerca gregaria*) replacement on growth function, survival, biochemical composition and intestinal digestive

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]

enzymes of rainbow trout fingerling (*Oncorhynchus mykiss*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 30(6): 1-12. doi: 1022092/ISFJ. 2022.125693

5. **Basto, A., Valente, L. M., Sousa, V., Conde- Sieira, M. and Soengas, J.L., 2023.** Total fishmeal replacement by defatted *Tenebrio molitor* larvae meal induces alterations in intermediary metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Animal Science*. 101: skad040. doi: 10.1093/jas/skad040

6. **Biancarosa, I., Sele, V., Belghit, I. and Qrnsrud, R., 2019.** Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet. *Food Additives & Contaminants Part A*. 36(10): 1-15. doi: 10.1080/19440049.2019.1619938

7. **Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, A. and Lock, E.J., 2018.** Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 491: 72-81. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016

8. **Borges, A., Scotti, L.V., Siqueira, D.R., Jurinitz, D.F. and Wassermann, G.F., 2004.** Hematologic and serum biochemical values for jundiá (*Rhamdia quelen*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 30: 21-25. doi: 10.1007/s10695- 004-5000-1

9. **Ellis, A.E., 1990.** Lysozyme Assays. In: Stolen, J.S., Fletcher, T.C., Anderson, D.P., Roberson, B.S. and Van Muiswinkel, W.B., Eds., Techniques in Fish Immunology, SOS Publications, Fair Haven. 101-103.

10. **Gebremichael, A., Sándor, Z.J. and 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(4): 444-451. doi: 10.4314/sajas.v52i4.04

11. **Hekmatpour, F., Amiri, F., Yooneszadeh Fashalami, M., Nazemroaya, S., Sadr, A. and Mousavi S., 2023.** Research Article: Replacement effects of soybean meal with sesame seed cake on growth, biochemical body composition, and economic efficiency of *Cyprinus carpio* formulated diet. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 22(3): 678-700. doi: http://jifro.ir/article-1-5119-en.html

12. **Islam, M.M. and Chul-Ju, Y., 2017.** Efficacy of mealworm and super mealworm larvae probiotics as an alternative to antibiotics challenged orally with *Salmonella* and *E. coli* infection in broiler chicks. *Poultry science*. 96(1): 27-34. doi: https://doi.org/10.3382/ps/pew220

13. **Kaushik, S. and Seiliez, I., 2010**. Protein and amino acid nutrition and metabolism in fish: Current knowledge and future needs. *Aquaculture*. 41(3): 322-332. doi: 10.1111/j.1365-2109.2009.02174.x

14. **Majluf, P., Matthews, K., Pauly, D., Skerritt, D.J., Lourdes, M. and Palomares, D., 2024.** A review of the global use of fishmeal and fish oil and the Fish In: Fish Out metric. *Science Advances*. 10(42): eadn5650. doi: 10.1126/sciadv.adn5650

15. **Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V. and 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

16. **Naylor, R.L., Hardy, R.W., Buschmann, A.H., Bush, S.R., Cao, L., Klinger, D.H., Little, D.C., Lubchenco, J., Shumway, S.E., Troell, M. and Troell, M., 2021.** A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*. 591(7851): 551-563. doi: 10.1038/S41586-021-03308-6

17. **NRC. 2011.** Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academies Press, Washington D.C., USA. https://doi.org/10. 17226/13039.

18. **Pascon, G., Opere Akinyi, R., Cardinaletti, G., Daniso, E., Messina, M. and Tulli, F., 2025.** Chitin and its efects when included in aquafeed. *Aquaculture International*. 33: 202. https://doi.org/10.1007/s10499-025-01879-z

19. **Tippayadara, N., Dawood, M.A.O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S.H., Doan, H.V. and Paolucci, P., 2021.** Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus. Animals* (Basel). 11(1):193. doi: 10.3390/ani11010193

20. **FAO. 2022.** The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. doi: 10.4060/cc0461en.

21. **Iaconisi, V., Secci, J., Sabatino, G., Piccolo, G., Gasco, G., Papini A.M. and Parisi, G., 2019.** Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets. Aquaculture. 513: 734403. doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.73440

22. **Huit, A.V., 2013.** Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Enviroment and Resources*. 58: 563-583. doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153704

23. **Yang, L., Cai, M., Zhong, L., Yin, Y., Xie, Y., Xie, S., Hu, Y. and Zhang, J., 2025.** Yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal in diets of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*): Effects on growth performance, antioxidant capacity, immunity, intestinal morphology, and intestinal microbiota. *Animal Nutrition*. 29(21): 70-83. doi: 10.1016/j.aninu.2025.01.001. PMID: 40416717; PMCID: PMC12099804

24. **Yamamoto, T. and Yonemasu, K., 1999.** Multiple molecular forms of serum immunoglobulin M in a patient with Waldenström's macroglobulinemia. *Clinical Chimica Acta*. 289(1-2): 173-176. doi: 10.1016/s0009-8981(99)00162-x. PMID: 10556663

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-09-19]