pISSN: 0259-9996 – eISSN: 2783-3968

Journal of Entomological Society of Iran

2026, 46 (4), 489–500

Research Article

ارزیابی امکان جایگزینی جیره رایج با پسماندهای صنایع غذایی بر عملکرد زیستی و ارزش غذایی لاروهای سوسک *Zophobas morio* (Col., Tenebrionidae)

ابوالفضل نوریانی [۱]، عباس ارباب [۲] و احد صحرا گرد [۱]

۱. گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. گروه گیاه‌پزشکی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

چکیده: لاروهای سوسک سوپرورم(*Zophobas morio*) ارزش غذایی بالایی دارند، اما هزینه جیره رایج مانعی برای تولید انبوه است. این پژوهش با هدف کاهش هزینه تولید از طریق جایگزینی جیره رایج با پسماندهای ارزان تفاله گوجه‌فرنگی و ویناس ذرت انجام شد. پنج جیره غذایی شامل جیره رایج (شاهد) و چهار تیمار بر پایه پسماندها T_1: ۵۰٪ سبوس برنج + ۵۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی؛ T_2: ۵۰٪ سبوس گندم + ۵۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی؛ T_3:۱۰۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی و T_4: ۸۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی + ۲۰٪ ویناس ذرت، روی لاروهای سنین ۳ تا ۵ بررسی شدند. شاخص‌های رشد، ترکیب لاشه و مراحل رشد به‌تفکیک جنسیت ارزیابی گردید. تیمار T_2 بهترین عملکرد را با بالاترین وزن لارو سن آخر نرها ۰/۸۱۸ گرم و ماده‌ها ۰/۸۰۸ گرم (در مقایسه با شاهد: ۰/۸۱۷ و ۰/۷۲۵ گرم) ، بهترین ضریب تبدیل غذایی (۶/۰۷) و کوتاه‌ترین دوره رشد را نشان داد و کاملاً با جیره شاهد رقابت کرد. محتوای پروتئین لاروها در تمامی تیمارها بالا و در محدوده ۶۳/۵۵–۵۹/۱۶ درصد باقی ماند، در حالی‌که جیره‌های با فیبر بالا (T_3 وT_4) منجر به کاهش معنی‌دار چربی لاشه تا ۲۲/۵۹ درصد(در مقایسه با ۳۸/۶۳ درصد در شاهد) شدند. بررسی تفکیک جنسی نشان داد ماده‌ها زودتر از نرها به حشره کامل تبدیل می‌شوند (۵۳/۱۸ روز در مقابل ۷۱/۲۰ روز در شاهد). نرخ زنده‌مانی در تمام تیمارها بالای ۸۹٪ بود. جایگزینی جیره رایج با پسماندها، به‌ویژه تیمارT_2 ، ضمن حفظ عملکرد زیستی و ارزش غذایی، هزینه تولید را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد و راهکاری پایدار برای مدیریت پسماندهای آلی و تولید صنعتی پروتئین حشرات ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی: تفاله گوجه‌فرنگی، ویناس ذرت، ضریب تبدیل غذایی، پرورش سوپرورم

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۴

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۱۵

انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۰۸

دبیر تخصصی: حسین مددی

نویسنده مسئول: عباس ارباب

ایمیل: abbasarbab@hotmail.com

DOI: https://doi.org/10.61186/jesi.46.3.9

مقدمه

پیش‌بینی سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) مبنی بر اینکه جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ از مرز ۹ میلیارد نفر فراتر خواهد رفت، تقاضا برای منابع پروتئینی جدید و پایدارتر را افزایش داده است (Van Peer *et al.*, 2021). همزمان، بخش قابل توجهی از غذا و فرآورده‌های غذایی در مراحل مختلف تولید تا مصرف، به پسماندهای آلی تبدیل می‌شوند (FAO, 2011). از این رو، کمبود غذا و خطر آلودگی محیط زیست ناشی از پسماندهای آلی، دو چالش اساسی در آینده نزدیک خواهد بود. اعتقاد بر این است که حشرات می‌توانند راه‌حلی کارآمد برای هر دو مشکل ارائه دهند. از یک سو، آن‌ها می‌توانند به‌عنوان یک منبع پروتئینی پایدار مورد توجه قرار گیرند (Dewangan *et al.*, 2025)، چرا که تولید آن‌ها در مقایسه با دام‌های معمول، پیامدهای زیست‌محیطی بسیار کمتری دارد (van Huis & Oonincx, 2017)، از سوی دیگر، آن‌ها توانایی قابل توجهی در تبدیل پسماندهای آلی کم ارزش به زیست‌توده‌ای غنی از مواد مغذی دارند(Fowles & Nansen, 2020) . به همین ترتیب، حشرات گزینه ی مناسبی برای جایگزینی بخشی از منابع پروتئینی رایج در جیره‌های غذایی طیور و آبزیان محسوب می‌شوند (Arbab, 2019؛ Khan, 2018). افزون بر این، حشرات را می‌توان در سیستم‌های پرورش عمودی با نیاز آب کمتر و تراکم بالاتر در هر متر مربع تولید کرد (Oonincx & de Boer, 2012). در نتیجه، حشرات به‌عنوان یکی از اجزای کلیدی اقتصاد چرخشی در نظر گرفته می‌شوند که توانایی برآورده ساختن نیازهای جوامع انسانی را به شیوه‌ای پایدارتر دارند(Van Peer *et al.*, 2021).

سوپرورم، *Zophobas morio*، یکی از گونه‌های حشرات است که اخیراً به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای مطلوب به‌عنوان یک ماده خوراکی جایگزین برای طیور و آبزیان و همچنین توانایی آن در ارزش‌آفرینی از پسماندهای آلی، توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. این حشره بومی مناطق گرمسیری آمریکای مرکزی و جنوبی است و با ویژگی‌های زیستی مانند باروری بالا و سازگاری با پرورش در تراکم بالا شناخته می‌شود (Quennedey *et al.*, 1995). شرایط پرورش آن بسیار شبیه به گونه مشهورتر هم‌خانواده‌اش، میلورم (*Tenebrio molitor* L.) می‌باشد. لاروهای این حشره، فراتر از داشتن درصد بالایی از پروتئین (۴۲–۳۴ درصد وزن خشک) و چربی (۴۳–۳۳ درصد وزن خشک) (Van Broekhoven *et al.*, 2015)، منبعی غنی از اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیراشباع

© 2026 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran
This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International Public License.

چندگانه، مواد معدنی، فیبر، ترکیبات زیست‌فعال و کاروتنوئیدها نیز به شمار می‌روند (Veldkamp & Bosch, 2015). جیره غذایی استاندارد توصیه‌شده برای پرورش سوپرورم، مخلوطی از آرد سویا، آرد ذرت، سبوس گندم و مخمر است (Cardoso *et al.*, 2020). که هزینه نسبتاً بالایی را به دنبال دارد. در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی برای ارزیابی امکان پرورش سوپرورم با استفاده از پسماندهای آلی صنایع غذایی، از جمله ضایعات تولید نان و بیسکویت، پوست بادام، فرآوری سیب‌زمینی و تولید اتانول صورت گرفته است (Van Broekhoven *et al.*, 2015; Arbab, 2026). در همین راستا، ویناس ذرت و تفاله گوجه‌فرنگی، – دو پسماند آلی فراوان و در دسترس از صنایع الکل‌سازی و فرآوری گوجه‌فرنگی – به‌عنوان جایگزین‌های کامل یا جزئی بالقوه برای جیره رایج انتخاب شدند. تفاله گوجه‌فرنگی مخلوطی از پوست، دانه و مقدار کمی پالپ میوه باقی‌مانده پس از فرآوری است (Mirzaei-Aghsaghali *et al.*, 2011). این محصول جانبی حاوی ۶/۲۲–۱/۲۴ درصد پروتئین، ۷/۱۵–۵/۱۴ درصد چربی و ۸/۲۰–۵/۳۰ درصد فیبر بوده و همچنین منبع خوبی از ویتامین‌های A و B می‌باشد. تفاله گوجه فرنگی حاوی ۲۴/۱ – ۲۲/۶ درصد پروتئین، ۱۵/۷– ۱۴/۵ درصد چربی و ۳۰/۵ – ۲۰/۸ درصد فیبر است و منبع خوبی برای ویتامین‌های A و B می باشد (Rahbarpur *et al.*, 2013). تفاله خشک تقریباً از ۴۴ درصد دانه و ۵۶ درصد پالپ و پوست تشکیل شده است. مواد لیگنوسلولزی بخش عمده تفاله را تشکیل می‌دهند، به‌طوری‌که تا ۶۵ درصد از کل فیبر بر پایه ماده خشک را شامل می‌شوند (Cepeda & Collado, 2014). ویناس ذرت مایعی تیره‌رنگ و غنی از مواد آلی با پتانسیل آلایندگی بالا است که از پساب تولید اتانول در صنایع الکل‌سازی به‌دست می‌آید. به ازای هر لیتر اتانول تولیدی، ۷–۶ لیتر ویناس تولید می‌شود (Arora *et al.*, 2011). هرچند یکی از موارد مصرف ویناس، استفاده در اصلاح و تثبیت بافت خاک است، اما به دلیل شوری بالای اکثر خاک‌های زراعی ایران (Saadat *et al.*, 2023)، مصرف آن عموماً توصیه نمی‌شود. این محدودیت، ویناس را به یک معضل زیست‌محیطی قابل توجه برای صنایع الکل‌سازی داخلی تبدیل کرده است. از نظر ترکیبات، ۸۹–۸۶ درصد وزنی ویناس را آب، ۱/۳۴ درصد را ازت و ۲/۵۶ درصد را ساکارز تشکیل می‌دهد. با وجود توانمندی بالای سوپرورم، وابستگی پرورش صنعتی آن به جیره‌های غذایی گران‌قیمت (بر پایه سبوس و مخمر)، بزرگترین مانع برای تجاری‌سازی پایدار و رقابت‌پذیری اقتصادی آن است. این هزینه ی بالا، تناقضی آشکار با فلسفه اقتصاد چرخشی ایجاد می‌کند. برای حل این معضل، صنعت پرورش انبوه این حشره به جیره‌های غذایی جایگزین و ارزان‌قیمت نیاز دارد که نه تنها هزینه را کاهش دهند، بلکه با تبدیل پسماندهای مسئله‌ساز به زیست‌توده غنی از پروتئین، ارزش افزوده زیست‌محیطی ایجادکنند. در این راستا، تفاله گوجه‌فرنگی و ویناس ذرت، دو پسماند آلی فراوان و در دسترس در ایران که به‌ترتیب سرشار از فیبر لیگنوسلولزی و مواد آلی محلول هستند، به‌عنوان گزینه های ایده‌آل انتخاب شدند. نوآوری این پژوهش در ارزیابی دقیق و چندبعدی (عملکرد زیستی به تفکیک جنس، ارزش غذایی، و ترکیب لاشه) جایگزینی کامل یا جزئی جیره رایج با این دو پسماند، است. هدف نهایی، توسعه یک مدل زیستی–اقتصادی برای پرورش پایدار سوپرورم در چارچوب اقتصاد چرخشی، کاهش هزینه تولید و ارائه راهکاری عملی برای مدیریت بحران این پسماندهای صنایع غذایی می باشد.

مواد و روش‌ها

شرایط عمومی پرورش. تمام آزمایش‌ها در شرایطی مشابه با مراکز پرورش انبوه سوپرورم (دما ۲۸–۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۵۵ درصد و دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی) انجام شد. برای پرورش لاروها از ظروف پلاستیکی مات (به قطر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر) و برای نگهداری پیش‌شفیره‌ها از لیوان‌های پلاستیکی (به قطر ۵/۵ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر) استفاده گردید.

آماده‌سازی جیره‌های غذایی. بر اساس فراوانی، در دسترس بودن و ترکیبات تشکیل دهنده، دو محصول جانبی از صنایع غذایی – ویناس ذرت حاصل از تولید اتانول و تفاله گوجه‌فرنگی حاصل از فرآوری گوجه‌فرنگی – برای این مطالعه انتخاب شدند. ویناس ذرت از شرکت صنایع الکل‌سازی بیدستان (قزوین)، تفاله گوجه‌فرنگی از مجتمع کشت و صنعت روژین تاک (کرمانشاه)، سبوس گندم از فروشندگان محلی، آرد ذرت از شرکت صنایع غذایی گلها، کنجاله سویا از شرکت آرپا دانه، سبوس برنج از کارگاه شالی‌کوبی (رشت) و مخمر از شرکت ضامن تهیه شدند. به غیر از ویناس ذرت (به دلیل ماهیت مایع آن)، تمامی اجزای جیره با استفاده از آسیاب دستی خرد شدند تا پودری یکنواخت با اندازه ذرات تقریبی ۳ میلی‌متر به‌دست آید. پودر حاصل سپس با استفاده از الک ۳۰۰ میکرومتری غربال شد تا ریزترین ذرات که از نظر اندازه مشابه مدفوع لارو هستند، حذف گردند. چهار جیره غذایی اصلی مطابق جدول ۱ تهیه و در صورت نیاز به نسبت‌های مشخص مخلوط شدند. ارزش غذایی تمامی جیره‌ها از نظر محتوای پروتئین و چربی ارزیابی گردید (جدول۱). تیمارهای ۱ و ۳ به‌عنوان جیره‌های کم‌پروتئین و تیمارهای ۲ و ۴ به‌عنوان جیره‌های با پروتئین متوسط طبقه‌بندی شدند. محتوای چربی تمامی تیمارها بیش‌تر از شاهد بود. بسترهای غذایی آماده‌شده تا زمان استفاده در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در آغاز آزمایش، ۱۰۰ گرم از بستر همگن‌شده در هر ظرف پرورش ریخته شد که تقریباً تا ارتفاع ۴ سانتی‌متری ظرف را پر می‌کرد. بسترهای غذایی هر ۳۰ روز یک‌بار به‌طور کامل تعویض شدند. به‌منظور تأمین آب مورد نیاز لاروها و کاهش هم‌خواری، هر دو روز یک‌بار قطعات ۵ گرمی پوست هندوانه (Arbab, 2022) به‌عنوان منبع غذایی کمکی روی سطح بستر قرار داده شد.

منبع حشرات و طرح آزمایشی. یک کیلوگرم لارو سنین ۳ تا ۵ از یک مرکز پرورش تجاری سوپرورم در رامسر (استان مازندران) تهیه شد. از این جمعیت، ۳۰۰ عدد لارو در مرحله سنی ۳ تا ۵، هر یک با وزن ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ گرم که همگی پیش‌تر روی بستر سبوس گندم پرورش یافته بودند، به‌طور تصادفی انتخاب شدند. برای به حداقل رساندن اثر باقی‌مانده جیره قبلی، لاروها به مدت ۲۴ ساعت بدون غذا نگهداری شدند. سپس، ۱۵ عدد لارو هم‌وزن پس از اندازه‌گیری طول بدن، در هر ظرف پرورش قرار داده شدند. هر ۱۰ روز یک‌بار، پنج لارو و کل بستر غذایی از هر ظرف به‌طور تصادفی نمونه‌برداری و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. همچنین، طول سه لارو از هر تیمار به‌طور تصادفی با استفاده از خط‌کش فلزی (با دقت ۰/۵ میلی‌متر) اندازه‌گیری و ثبت گردید. زمانی که لاروها با توقف تغذیه و رفتار پرسه‌زنی برای جستجوی مکان امن شفیره‌شدن آماده ورود به مرحله پیش‌شفیرگی شدند، به‌صورت انفرادی به ظروف شفیره‌گیری (لیوان‌های به قطر ۵/۵ و ارتفاع ۸ سانتی‌متر) منتقل شدند. تعیین جنسیت در مرحله حشره کامل با استفاده از روش Mondragón (2021) انجام شد.

ارزیابی اثر جیره‌های غذایی بر عملکرد زیستی. کارایی جیره‌های غذایی با استفاده از شاخص‌های تغذیه‌ای زیر محاسبه شد (Waldbauer, 1968; Loiotine *et al.*, 2026).

۱ نرخ رشد نسبی (Relative Growth Rate - RGR)

$$RGR = \frac{\ln(\text{وزن خشک نهایی لارو}) - \ln(\text{وزن خشک اولیه لارو})}{(\text{روز})\text{مدت زمان تغذیه}}$$

۲ نرخ افزایش طول (Length Growth Rate - LG)

$$LG(\%) = \frac{(\text{طول اولیه لارو} - \text{طول نهایی لارو})}{(\text{روز})\text{زمان} * \text{طول اولیه لارو}} * 100$$

۳ نرخ رشد ویژه (Specific Growth Rate - SGR)

$$SGR = \frac{\ln(\text{وزن نهایی لارو}) - \ln(\text{وزن اولیه لارو})}{(\text{روز})\text{مدت زمان تغذیه}}$$

۴ ضریب تبدیل غذایی (Feed Conversion Ratio - FCR)

$$FCR(\%) = \frac{\text{وزن غذای مصرف شده}}{\text{وزن اضافه شده لارو}}$$

۵ بازدهی تبدیل خوراک (Feed Conversion Efficiency - FCE)

$$FCE(\%) = \frac{\text{وزن اضافه شده لارو}}{\text{وزن غذای مصرف شده}}$$

۶ نسبت فضولات به زیست‌توده (Waste to Biomass Ratio - WBR)

$$WBR = \frac{\text{وزن کل فضولات}}{\text{وزن اضافه شده لارو}}$$

۷ نرخ زنده‌مانی (Survival Rate - SR)

$$SR(\%) = \frac{\text{تعداد لاروهای زنده نهایی}}{\text{تعداد لاروهای زنده اولیه}} * ۱۰۰$$

۸ افزایش وزن (Weight Gain - WG)

$$WG(\%) = \frac{\text{وزن خشک اولیه لارو} - \text{وزن خشک نهایی لارو}}{\text{وزن خشک اولیه لارو}} * ۱۰۰$$

جدول ۱: جیره‌های غذایی مورد استفاده در آزمایش و ارزش غذایی آنها

Table 1: Dietary rations used in the experiment and their nutritional value

Treatment Code	Dietary composition	Protein	Fat
T_1	50% Rice bran + 50% Tomato pomace	13.12	6.59
T_2	50% Wheat bran + 50% Tomato pomace	17.35	5.48
T_3	100% Tomato pomace	12.41	7.42
T_4	80% Tomato pomace + 20% Corn vinasse	16.98	5.32
Control	30% Soybean meal + 30% Wheat bran + 30% Corn flour + 10% Yeast (Adapted from Cardoso *et al.*, 2020)	23.77	3.93

ارزیابی اثر جیره‌های غذایی بر ارزش غذایی لاروها. پس از جداسازی لاروهای کامل از بستر هر تیمار، ابتدا آن‌ها به مدت ۲۴ ساعت بدون غذا نگهداری شدند تا محتویات روده تخلیه شده و تأثیر باقی‌مانده مواد غذایی به حداقل برسد. سپس لاروها با قرار دادن در دمای ۲۰- درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه و به دنبال آن غوطه‌وری در آب جوش به مدت ۲ دقیقه، کشته شدند. نمونه‌ها سپس در دمای ۵۰ درجه سلسیوس به آرامی و به مدت ۲۴ تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده و به پودری یکنواخت آسیاب شدند. یک گرم از نمونه مخلوط هر تیمار برای تجزیه چربی و پروتئین خام مورد استفاده قرار گرفت. محتوای پروتئین و چربی طبق روش‌های استاندارد AOAC (1996) تعیین گردید. پروتئین خام با استفاده از دستگاه پروتئین‌سنج (Gerhardt Vap50s) ، اندازه‌گیری شد. محتوای چربی با استفاده از روش استخراج سوکسله (Soxhlet, 1879) و دستگاه چربی‌سنج (Gerhardt Soxtherm) تعیین گردید. ۱ گرم (با دقت ۰/۰۰۰۱ ± گرم) از نمونه خشک و همگن‌شده در انگشتانه استخراج قرار گرفته و با ۱۵۰ میلی‌لیتر اتر نفتی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۲۰ دقیقه استخراج انجام شد. سپس بالن استخراج در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید. محتوای نیتروژن و متعاقباً پروتئین خام با استفاده از روش کجدال تجزیه و تحلیل شد. یک گرم نمونه ابتدا در دمای ۴۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰۵ دقیقه معدنی‌سازی شده و سپس به مدت ۴ دقیقه تقطیر انجام گردید. محتوای پروتئین با استفاده از ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین ۲۵/۶ محاسبه شد (Adamkova *et al.*, 2016).

تجزیه و تحلیل آماری. داده‌های جمع‌آوری‌شده ابتدا در نرم‌افزار اکسل سازمان‌دهی شدند. سپس با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک از نظر نرمال بودن و با آزمون لون از نظر همگنی واریانس بررسی شدند. داده‌های غیرنرمال در صورت لزوم با استفاده از تبدیل لگاریتمی (Log10) نرمال‌سازی شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار و چهار تکرار انجام شد. داده‌ها با استفاده از مدل خطی عمومی در نرم‌افزار Minitab 21.2.0 تحلیل شدند. پیش از تحلیل نهایی، معنی‌داری اثر بلوک مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که اثر بلوک برای صفات اندازه‌گیری‌شده از نظر آماری معنی‌دار نبود ($P > 0.05$)، داده‌ها مجدداً بر اساس طرح کاملاً تصادفی تحلیل و گزارش شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (Tukey's HSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

اثر جیره‌های غذایی بر وزن لاروهای سن آخر. نتایج بررسی اثر جیره‌های غذایی مختلف بر میانگین وزن لاروهای سن آخر نر و ماده در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس یافته‌ها، نوع جیره غذایی تأثیر معناداری بر وزن نهایی لاروها در هر دو جنس داشت. در بین لاروهای نر، بیشترین افزایش وزن در تیمار ۲ (مخلوط مساوی تفاله گوجه‌فرنگی و سبوس گندم) با میانگین وزن ۰/۸۱۸ گرم مشاهده شد که از نظر آماری با تیمار شاهد (جیره رایج: ۳۰٪ سبوس گندم، ۳۰٪ آرد ذرت، ۳۰٪ کنجاله سویا و ۱۰٪ مخمر) با میانگین وزن ۰/۸۱۷ گرم، در یک گروه برتر(A) قرار گرفتند. پس از آن، تیمار ۱ (مخلوط مساوی سبوس برنج و تفاله گوجه‌فرنگی) با وزن ۰/۷۰۸ گرم جایگاه حد واسطی را به خود اختصاص داد. در نهایت، تیمارهای ۴ (۸۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی و ۲۰٪ ویناس ذرت) و ۳ (۱۰۰٪ تفاله گوجه‌فرنگی) به‌ترتیب با میانگین وزن‌های ۰/۶۱۶ و ۰/۶۱۲ گرم، کمترین وزن را نشان داده و در پایین‌ترین رتبه (B) طبقه‌بندی شدند. تأثیر جیره بر وزن لاروهای نر کاملاً معنی‌دار بود(F=13.63, $P < 0.001$) . در لاروهای ماده نیز تیمار ۲ با میانگین وزن ۰/۸۰۸ گرم به‌طور معنی‌داری بالاترین وزن را به خود اختصاص داد. به دنبال آن، به ترتیب تیمارهای شاهد (۰/۷۲۵ گرم)، تیمار ۴ (۰/۶۴ گرم)، تیمار ۱ (۰/۶۱۷ گرم) و تیمار ۳ (۰/۵۷۸گرم) قرار گرفتند. اختلاف مشاهده‌شده میان تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود (F=9.79, $P < 0.001$). به‌طور کلی، لاروهای نر میانگین وزن بالاتری را نسبت به ماده‌ها نشان دادند. شایان ذکر است که تیمار شاهد در ماده‌ها، به دلیل همپوشانی آماری، در دو گروه A و B قرار گرفت و تیمار ۴ نیز در گروه‌های B و C جای گرفت. این نتایج به روشنی نشان می‌دهد که جیره حاوی سبوس گندم (تیمار ۲) و جیره رایج (شاهد) مؤثرترین تیمارها برای افزایش وزن لاروهای سن آخر هستند.

اثر جیره‌های غذایی بر وزن پیش‌شفیره. نتایج بررسی اثر جیره‌های غذایی بر میانگین وزن پیش‌شفیره‌ها نشان داد که جیره‌های با کیفیت بالاتر در مراحل لاروی، منجر به تولید پیش‌شفیره‌های سنگین‌تری می‌شوند. در مورد نرها، تیمار شاهد با میانگین ۰/۷۲۲گرم، بیشترین وزن پیش‌شفیرگی را به همراه داشت و پس از آن تیمارهای ۲ (۰/۷۰۵ گرم)، ۱ (۰/۶۰۵ گرم)، ۳ (۰/۵۰۲ گرم) و ۴ (۰/۴۷۰ گرم) رتبه‌بندی شدند. اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بوده(F=12.92, $P < 0.001$) و تیمارهای شاهد و ۲ از نظر آماری برتر از سایرین بودند. برای پیش‌شفیره‌های ماده نیز روند مشابهی دیده شد. سنگین‌ترین پیش‌شفیره‌ها به تیمار شاهد (۰/۶۵۲ گرم) و تیمار ۲ (۰/۶۲۴ گرم) تعلق داشت و کمترین وزن در تیمار ۳ (۰/۴۵۸ گرم) ثبت شد. گروه‌بندی آماری در ماده‌ها، همپوشانی بیشتری میان تیمارها نشان داد، به‌طوری‌که تیمار ۲ در گروه‌های A و B و تیمار ۴ در هر سه گروه B, A و C قرار گرفتند. در کل، میانگین وزن پیش‌شفیره‌های نر به‌طور معنی‌داری بیش از ماده‌ها بود که این امر با الگوی رشد مشاهده‌شده در مرحله لاروی همخوانی دارد (جدول ۲).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین وزن شفیره. کاهش وزن در مرحله شفیرگی ادامه یافت و نتایج حاکی از تأثیرپذیری وزن شفیره از تغذیه دوران لاروی است. بیشترین میانگین وزن شفیره‌های نر در تیمار شاهد (۰/۶۳۷ گرم) و تیمار ۲ (۰/۶۰ گرم) مشاهده شد که در یک گروه آماری برتر(A) جای گرفتند. تیمار ۱ با میانگین وزن‌های ۰/۵۳گرم در رتبه‌ی بعدی و گروه B قرار گرفت و تیمارهای ۳ و ۴ به‌ترتیب با میانگین وزن ۰/۴۳ گرم در رتبه‌های بعدی و گروه C قرار گرفتند. اثر جیره بر وزن شفیره نر معنی‌دار بود (F=12.92, $P < 0.001$). در شفیره‌های ماده، اگرچه تیمار شاهد با میانگین ۰/۵۷ گرم بیشترین وزن را داشت، اما تیمار ۲ (۰/۵۳۷گرم) در کنار شاهد در گروه A قرار گرفت، درحالی‌که تیمارهای ۱ و ۴ در گروه پایین‌تر B و تیمار ۳ در گروه C طبقه‌بندی شدند. این اختلاف‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (F=8.57, $P < 0.001$). به نظر می‌رسد کیفیت جیره در مراحل ابتدایی، تأثیر مستقیم و پایداری بر زیست‌توده شفیره در هر دو جنس دارد (جدول ۲).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین وزن حشرات کامل. وزن حشره کامل به‌عنوان شاخص نهایی رشد، به‌وضوح تحت تأثیر جیره غذایی قرار گرفت. در هر دو جنس، باکیفیت‌ترین تیمارهای غذایی منجر به تولید حشرات کامل سنگین‌تری شدند. برای حشرات نر، تیمار ۲ (۰/۵۳ گرم) و شاهد (۰/۵۲ گرم) بالاترین وزن را داشتند، درحالی‌که برای ماده‌ها، شاهد (۰/۴۷گرم) و تیمار ۲ (۰/۴۶گرم) پیشتاز بودند. تیمار ۳ (تفاله گوجه‌فرنگی خالص) به‌طور مداوم کمترین وزن حشرات کامل را در هر دو جنس به‌دنبال داشت (۰/۳۶ گرم برای نر و ۰/۳۲گرم برای ماده). تأثیر جیره بر وزن حشرات کامل نر (F=7.93, $P < 0.001$) و ماده (F=8.75, $P < 0.001$) معنی‌دار بود و همانند مراحل پیشین، حشرات کامل نر میانگین وزن بالاتری نسبت به ماده‌ها ثبت کردند. این یافته‌ها تأیید می‌کند که وزن نهایی حشره ارتباط مستقیمی با کیفیت تغذیه دوران لاروی دارد (جدول ۲).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین دوره رشد (لارو سن آخر تا پیش‌شفیره). مدت‌زمان لازم برای طی کردن مراحل زیستی نیز به‌طور معنی‌داری از نوع جیره تأثیر پذیرفت. کوتاه‌ترین دوره رشد لارو سن آخر برای نرها در تیمار شاهد (۴/۸۵روز) و برای ماده‌ها نیز در تیمار شاهد (۴/۳۸روز) ثبت شد. این در حالی است که طولانی‌ترین دوره مربوط به تیمار ۴ (با ۶/۸۸ روز برای نر) و تیمار ۱ (با ۶/۷۱ روز برای ماده) بود. اختلاف مشاهده‌شده برای هر دو جنس معنی‌دار بود نر(F=9.00, $P<0.001$) ماده(F=5.74, $P<0.001$). به‌طور کلی، رژیم غذایی مغذی‌تر (شاهد) باعث تسریع فرآیند رشد و ورود سریع‌تر لاروها به مرحله پیش‌شفیرگی شده است (جدول ۳).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین طول دوره پیش‌شفیرگی. طول دوره پیش‌شفیرگی کمترین تأثیرپذیری را از جیره غذایی نشان داد. در نرها، کوتاه‌ترین دوره به تیمار ۲ (۵/۴۰ روز) و طولانی‌ترین به شاهد (۵/۸۵ روز) تعلق داشت که این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار بود(F=3.11, $P < 0.00127$). با این حال، در ماده‌ها، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد(F=0.78, P=0.545) و تمامی تیمارها در یک گروه آماری یکسان قرار گرفتند. این امر نشان می‌دهد که مرحله پیش‌شفیرگی از ثبات رشدی نسبی برخوردار بوده و بیشتر متأثر از عوامل فیزیولوژیک درونی است تا تغذیه مرحله لاروی(جدول ۳).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین دوره شفیرگی. طول دوره شفیرگی در نرها تحت تأثیر جیره غذایی قرار گرفت(F=5.58, $P<0.001$) ، به‌طوری‌که طولانی‌ترین دوره در تیمار ۳ (۱۲ روز) و کوتاه‌ترین آن در تیمارهای شاهد و ۱ (۱۰ روز) ثبت شد. تیمار ۳ به‌عنوان ضعیف‌ترین جیره، به‌طور معنی‌داری این مرحله را طولانی‌تر کرد. اما در ماده‌ها، همانند مرحله پیش‌شفیرگی، اختلاف معنی‌داری در طول دوره شفیرگی دیده نشد(F=1.83, P=0.136) و تمام تیمارها عملکرد مشابهی داشتند. این نتایج می‌تواند نشان‌دهنده مقاومت یا واکنش متفاوت دو جنس به تنش‌های تغذیه‌ای در مراحل دگردیسی باشد (جدول ۳).

دوره رشد و نمو لارو سن آخر تا حشره کامل. با جمع‌بندی مراحل، مشخص شد که جیره غذایی بر کل مدت‌زمان لازم برای تبدیل لارو سن آخر به حشره کامل تأثیر قاطع دارد. در نرها، کوتاه‌ترین دوره به تیمار ۲ (۲۰/۲۰ روز) و شاهد (۲۰/۷۱ روز) و طولانی‌ترین دوره به تیمار ۳ (۲۳/۵۰ روز) تعلق داشت(F=6.78, $P < 0.001$). در ماده‌ها، تیمار شاهد با اختلافی چشمگیر، سریع‌ترین زمان تکامل (۱۸/۵۳روز) را رقم زد، درحالی‌که سایر تیمارها (به‌ویژه تیمار ۱ با ۲۱/۷۸ روز) به‌طور معنی‌داری طولانی‌تر بودند(F=6.34, $P < 0.001$). این یافته‌ها نشان‌دهنده برتری مطلق جیره رایج و سپس جیره ترکیبی با سبوس گندم در بهینه‌سازی سرعت نمو است (جدول ۳).

اثر جیره‌های غذایی بر میانگین طول لاروها. نه تنها وزن، بلکه طول بدن لاروها نیز تحت تأثیر جیره غذایی قرار گرفت. بیشترین میانگین طول لاروها در تیمار ۲ (۶۱/۴۹ میلی‌متر) و کمترین آن در تیمار ۳ (۴۶/۴۲ میلی‌متر) به ثبت رسید. جیره شاهد با میانگین ۱۴/۴۸ میلی‌متر در کنار تیمار ۲، عملکردی برتر از خود نشان داد. اختلاف بین تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود (F=3.4, $P < 0.001$). این نتایج همراستا با داده‌های وزنی، مجدداً کیفیت پایین تفاله گوجه‌فرنگی خالص (تیمار ۳) را در حمایت از رشد لاروها تأیید می‌کند (جدول ۴).

جدول ۲: اثر میانگین وزن (±SE) لارو های سن آخر، پیش شفیره، شفیره و حشرات کامل (نر و ماده) *Zophobas morio* با تغذیه از جیره‌های غذایی مختلف.

Table 2: Mean weight (±*SE*) of late-instar larvae, prepupae, pupae, and adults (male and female) of *Zophobas morio* fed on different diets.

Treatment Code	Late instar larvae		Pre-pupae		Pupae		Adult	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
T_1	0.708±0.051^{ab}	0.617±0.018^{c}	0.605 ± 0.052^{b}	0.520 ± 0.019^{bc}	0.530 ± 0.072^{b}	0.443 ± 0.066^{b}	0.44 ± 0.036^{ab}	0.36 ± 0.015^{b}
T_2	0.818±0.024^{a}	0.808±0.019^{a}	0.705 ± 0.031^{a}	0.624 ± 0.293^{ab}	0.600 ± 0.040^{a}	0.537 ± 0.089^{a}	0.53 ± 0.023^{a}	0.46 ± 0.021^{a}
T_3	0.612±0.021^{b}	0.578±0.017^{c}	0.502 ± 0.184^{c}	0.458 ± 0.011^{c}	0.431 ± 0.017^{c}	0.389 ± 0.388^{c}	0.36 ± 0.014^{b}	0.32 ± 0.008^{b}
T_4	0.616±0.033^{b}	0.640±0.020^{bc}	0.470 ± 0.041^{d}	0.554 ± 0.019^{abc}	0.430 ± 0.027^{c}	0.472 ± 0.079^{b}	0.39 ± 0.025^{b}	0.38 ± 0.019^{ab}
Control	0.817±0.017^{a}	0.725±0.040^{ab}	0.722 ± 0.020^{a}	0.652 ± 0.034^{a}	0.637 ± 0.031^{a}	0.570 ± 0.121^{a}	0.52 ± 0.030^{a}	0.47 ± 0.027^{b}

Mean values in a row followed by different letters are significantly different (P≤0.05). Control: wheat bran, soybean meal, corn flour, and yeast, T_1: rice bran and tomato pomace, T_2: wheat bran and tomato pomace, T_3: tomato pomace, T_4: corn vinasse and tomato pomace

جدول ۳: میانگین دوره رشد (±*SE*) (روز) لارو سن آخر تا پیش شفیره، پیش شفیره، شفیره و لارو سن آخر تا حشرات کامل (نر و ماده) *Zophobas morio* با تغذیه از جیره‌های غذایی مختلف.

Table 3: Mean duration (±*SE*) (days) of the final larval instar to prepupa, prepupa, pupa, and final larval instar to adult (male and female) of *Zophobas morio* fed on different diets.

Treatment Code	Last instar larva to pre-pupa		Pre-pupae		Pupae		last instar larva to adult	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female	Male	Female
T_1	5.33 ± 0.192^{b}	6.71 ± 0.488^{a}	5.00 ± 0.408^{ab}	4.64 ± 0.239^{a}	10.00 ± 0.230^{b}	10.42 ± 0.31^{a}	20.33 ± 0.83^{b}	21.78 ± 1.04^{a}
T_2	5.10 ± 0.219^{b}	5.30 ± 0.171^{a}	4.50 ± 0.219^{b}	5.00 ± 0.239^{a}	10.20 ± 0.410^{b}	10.30 ± 0.24^{a}	20.20 ± 0.91^{b}	21.60 ± 0.85^{a}
T_3	6.00 ± 0.288^{ab}	5.58 ± 0.230^{ab}	5.50 ± 0.204^{ab}	4.66 ± 0.125^{a}	12.00 ± 0.280^{a}	10.66 ± 0.25^{a}	23.50 ± 0.78^{ab}	20.91 ± 0.60^{a}
T_4	6.88 ± 0.357^{a}	5.63 ± 0.235^{ab}	5.00 ± 0.384^{ab}	5.09 ± 0.289^{a}	10.32 ± 0.420^{b}	10.09 ± 0.35^{a}	22.11 ± 1.16^{a}	20.81 ± 0.87^{a}
Control	4.85 ± 0.404^{b}	4.38 ± 0.268^{b}	5.58 ± 0.404^{a}	4.53 ± 0.389^{a}	10.00 ± 0.310^{b}	9.62 ± 0.13^{a}	20.71 ± 1.16^{b}	18.53 ± 0.66^{b}

Mean values in a row followed by different letters are significantly different (P≤0.05). Control: wheat bran, soybean meal, corn flour, and yeast, T_1: rice bran and tomato pomace, T_2: wheat bran and tomato pomace, T_3: tomato pomace, T_4: corn vinasse and tomato pomace

جدول ٤: میانگین (±SE) طول(میلیمتر) لارو *Zophobas morio* با تغذیه از جیره‌های غذایی مختلف.

Table 4: Mean (±*SE*) length of larvae (mm) *Zophobas morio* fed on different diets.

Length(mm)	T_1	T_2	T_3	T_4	Control
	46.01 ± 1.5^{ab}	49.61 ± 1.92^{a}	42.46 ± 0.81^{b}	45.32 ± 1.16^{ab}	48.11 ± 1.98^{a}

Mean values in a row followed by different letters are significantly different (P≤0.05). Control: wheat bran, soybean meal, corn flour, and yeast, T_1: rice bran and tomato pomace, T_2: wheat bran and tomato pomace, T_3: tomato pomace, T_4: corn vinasse and tomato pomace

ارزیابی شاخص‌های رشد در سنین مختلف لاروی. اثر جیره‌های غذایی بر میانگین شاخص‌های زیستی لاروها در جدول ۵ ارایه شده است. ارزیابی شاخص‌های رشد، تأثیر چشمگیر جیره غذایی به‌ویژه در سنین ابتدایی را آشکار ساخت. در حالی که شاخص‌های رشد برای لاروهای سنین پایانی (۱۵–۱۸) تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند، تمامی شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در سنین ابتدایی (۳–۵) به‌شدت از نوع جیره متأثر شدند. افزایش وزن(WG)، نرخ رشد ویژه (SGR) و نرخ نسبی رشد(RGR) ، در سنین ابتدایی، تیمارهای شاهد و ۲ (به‌ویژه شاهد) بالاترین مقادیر را داشته و اختلاف آن‌ها با تیمارهای ضعیف‌تر مانند ۳ و ۴ معنی‌دار بود. به‌عنوان مثال، شاهد با افزایش وزن تقریبا دو برابری (۱۹۹٪/۵۹) عملکردی خیره‌کننده داشت. بهترین (کمترین) ضریب تبدیل در سنین ابتدایی به تیمارهای شاهد و ۲ (حدود ۶/۱) تعلق داشت، درحالی‌که تیمار ۳ با ضریب تبدیل برابر ۸/۳۷ ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داد (F=26.57, $P < 0.001$) .این امر نشان‌دهنده بازدهی بسیار پایین جیره‌های بر پایه تفاله گوجه‌فرنگی خالص است. بازدهی تبدیل خوراک (FCE) و نسبت فضولات (WBR) به‌طور مشابه، در سنین ابتدایی، شاهد و تیمار ۲ بالاترین بازدهی تبدیل خوراک و کمترین نسبت فضولات را داشتند که نشان از هضم و جذب بهتر مواد مغذی توسط لاروها دارد. یکی از حیاتی‌ترین شاخص‌ها، یعنی زنده‌مانی، نیز تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد (F=22.26, $P < 0.001$). تیمار ۱ با ۹۸/۳۰٪ بیشترین زنده‌مانی را به خود اختصاص داد و تیمارهای ۳ و ۴ با حدود ۹۰٪ کمترین بقا را داشتند. نکته قابل توجه اینکه هم‌خواری و تلفات ناشی از بیماری، از عوامل اصلی کاهش جمعیت در جیره‌های غذایی با کیفیت پایین بود (جدول ۵).

جدول ۵: اثر جیره‌های غذایی بر میانگین (±*SE*) شاخص‌های زیستی لارو*Zophobas morio*

Table 5: Effect of diets on the mean (±*SE*) of biological indices of *Zophobas morio* larvae.

Growth Index	Control	T_1	T_2	T_3	T_4
SGR (15–18)	0.63 ± 0.04^{a}	0.56 ± 0.002^{a}	0.60 ± 0.01^{a}	0.51 ± 0.007^{b}	0.52 ± 0.12^{b}
SGR (3–5)	4.68 ± 0.60^{a}	3.22 ± 0.03^{bc}	4.00 ± 0.03^{ab}	2.47 ± 0.09^{c}	3.03 ± 0.12^{abc}
RGR (15–18)	1.70 ± 0.01^{a}	1.66 ± 0.07^{a}	1.79 ± 0.31^{a}	1.49 ± 0.10^{a}	1.49 ± 0.29^{abc}
RGR (3–5)	8.33 ± 0.26^{a}	6.80 ± 0.23^{b}	8.20 ± 0.17^{a}	5.24 ± 0.15^{c}	5.50 ± 0.23^{c}
FCR (15–18)	23.95 ± 1.16^{a}	37.16 ± 0.57^{a}	33.56 ± 0.19^{a}	42.29 ± 0.66^{a}	42.7 ± 10.6^{a}
FCR (3–5)	6.20 ± 0.07^{c}	7.26 ± 0.12^{b}	6.07 ± 0.12^{c}	8.04 ± 0.29^{a}	7.49 ± 0.17^{ab}
WBR (15–18)	12.42 ± 0.76^{a}	10.87 ± 0.21^{a}	10.34 ± 0.17^{a}	11.93 ± 0.06^{a}	12.09 ± 11.3^{a}
WBR (3–5)	6.15 ± 0.09^{c}	8.3 ± 0.03^{ab}	6.07 ± 0.124^{c}	8.67 ± 0.14^{a}	8.00 ± 0.05^{b}
WG (15–18)	42.06 ± 2.11^{a}	49.89 ± 0.19^{a}	54.96 ± 0.82^{a}	44.36 ± 0.53^{a}	45.98 ± 7.68^{a}
WG (3–5)	199.59 ± 8.60^{a}	148.42 ± 7.87^{b}	182.40 ± 11.73^{a}	116.63 ± 4.66^{c}	133.85 ± 5.48^{bc}
LG (3–15)	57.65 ± 2.73^{a}	55.71 ± 12.43^{a}	56.57 ± 2.78^{a}	30.77 ± 3.56^{b}	32.29 ± 2.8^{b}
FCE (15–18)	4.19 ± 0.20^{a}	2.69 ± 0.04^{ab}	2.98 ± 0.17^{ab}	2.36 ± 0.1^{1b}	2.49 ± 0.62^{b}
FCE (3–5)	16± 0.22^{a}	14.2 ± 0.55^{a}	15.96 ± 0.27^{a}	12.08 ± 0.24^{c}	12.40 ± 0.23^{c}
SR (3–15)	94.37 ± 0.65^{b}	98.30 ± 0.26^{a}	96.13 ± 1.31^{ab}	90.90 ± 0.41^{c}	89.5 ± 0.957^{c}

Mean values in a row followed by different letters are significantly different (P≤0.05).Control: wheat bran, soybean meal, corn flour, and yeast, T_1: rice bran and tomato pomace, T_2: wheat bran and tomato pomace, T_3: tomato pomace, T_4: corn vinasse and tomato pomace

اثر جیره بر ترکیبات بیوشیمیایی (پروتئین و چربی) لاروها. آنالیز لاشه لاروها نشان داد که جیره غذایی، ترکیب بدن آن‌ها را نیز دستخوش تغییر می‌کند. جالب توجه است که بالاترین درصد پروتئین در لاروهای تغذیه‌شده با تیمار ۴ (۵۹٪/۱۶) و پس از آن تیمار ۳ (۵۸٪/۴۴) مشاهده شد که تفاوت معنی داری با تیمار شاهد نداشتند. این در حالی است که بیشترین ذخیره چربی به لاروهای شاهد و تیمار های ۱و۲ اختصاص داشت. این داده‌ها نشان می دهند که اگرچه جیره‌های با پایه تفاله گوجه‌فرنگی رشد وزنی کمتری را باعث می‌شوند، اما تمایل به تولید لاروهایی با درصد پروتئین بالاتر و چربی کمتر دارند. در مقابل، جیره‌های غنی از غلات (شاهد و تیمار ۲) منجر به انباشت بیشتر چربی می‌شوند(جدول ۶).

بحث و نتیجه گیری

پروتئین، به دلیل قابلیت هضم بالا و پروفایل اسیدهای آمینه مطلوب، مهم‌ترین ترکیب تشکیل‌دهنده لاروها محسوب می‌شود و بیش از سایر ترکیبات مورد توجه قرار می‌گیرد. مطالعات متعددی به ارزیابی درصد پروتئین لاروهای سوپرورم پرداخته‌اند که نتایج متنوعی را نشان می‌دهد. Adamkova *et al.* (2017) پروتئین خام را ۴۶ درصد، Kuntadi *et al.* (2018) ۴۹/۹۶ درصد، Kulma *et al.* (2018) ۴۸/۱ درصد، Araújo *et al.* (2019) ۴۸/۱ درصد و Mlček *et al.* (2019) ۳۹/۴ درصد گزارش نموده‌اند. در پژوهش حاضر، مقدار پروتئین لاروهای شاهد ۵۵/۶۲ درصد و در تیمار T_4، ۵۹/۱۶ درصد به دست آمد. این تفاوت‌ها در گزارش‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در روش‌های محاسبه، روش‌های استخراج پروتئین و نوع جیره‌های غذایی به‌کار رفته باشد. نکته قابل توجه در نتایج این پژوهش آن است که لاروهای تیمارهای T_2، T_3 و T_4 با وجود تغذیه از جیره‌های غذایی کم‌ارزش‌تر و ارزان‌تر، همچنان مقادیر قابل توجهی پروتئین داشتند. این توانایی ذاتی لاروها برای تثبیت ترکیب بدن، یک ویژگی کلیدی برای تبدیل زیستی پسماندهای ناهمگن به یک محصول زیستی استاندارد است. حشرات به‌عنوان "پالایشگاه‌های زیستی کوچک" عمل می‌کنند که می‌توانند نوسانات کیفیت مواد اولیه (پسماندها) را جذب کرده و یک خروجی نسبتاً ثابت از نظر پروتئین و مواد معدنی تولید نمایند. این انعطاف‌پذیری متابولیک، ریسک استفاده از پسماندهای فصلی و متغیر را برای صنعت کاهش می‌دهد(Sun *et al.*, 2023).

دومین جزء مهم تشکیل‌دهنده لاروها، چربی است. لاروهای شاهد دارای ۳۸/۶۳ درصد چربی بودند که در مقایسه با تحقیقات گذشته(Adamkova *et al.*, 2017; Kuntadi *et al.*, 2018 و Kulma *et al.*, 2018)، مقداری متعادل محسوب می‌شود. اما اختلاف آن‌ها با لاروهای تیمارهای T_1 و T_2 (به‌ترتیب با ۳۶/۸۹ و ۳۵/۴۵ درصد چربی) که ۵۰ درصد جیره غذایی خود را از مواد پسماند تأمین می‌کردند، قابل توجه نبود. در مقابل، لاروهای تیمارهای T_3 و T_4 کاهش چشمگیری در محتوای چربی (حدود ۲۳ درصد) نشان دادند که با نسبت بالای فیبر در آنها مرتبط است. این یافته با نتایج (Bordiean *et al.*, 2022) مطابقت دارد که نشان دادند پسماندهای غنی از لیگنوسلولز، مسیرهای لیپوژنز را مهار می‌کنند. افزایش فیبر نامحلول در جیره، نه تنها قابلیت هضم را کاهش می‌دهد، بلکه با تسریع زمان عبور غذا از دستگاه گوارش، مدت زمان تماس آنزیم‌های گوارشی با سوبسترا را محدود می‌کند. این امر به‌طور ویژه بر هیدرولیز و جذب چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها تأثیر منفی می‌گذارد، در حالی که هضم پروتئین‌ها به دلیل اولویت بیولوژیک، تا حدی حفظ می‌شود. این مکانیسم، مشاهدات ما مبنی بر کاهش شدید چربی و حفظ پروتئین در تیمارهای با پایه تفاله گوجه‌فرنگی خالص را به‌طور کامل توجیه می‌کند. این ویژگی می‌تواند یک مزیت فنی برای تولید لاروهای "کم‌چرب" و "غنی از پروتئین" به‌عنوان یک ماده اولیه هدفمند برای جیره‌های غذایی خاص (مانند خوراک آبزیان گوشتخوار) باشد. همانگونه که نتایج جدول ۱۱ به وضوح نشان می‌دهد، جیره‌های غذایی مختلف، تأثیرات کاملاً متفاوتی بر ترکیب بدن لاروها داشته‌اند. تیمارT_1 ضعیف‌ترین عملکرد را داشت این جیره نه تنها باعث کاهش معنی‌دار پروتئین لارو شد، بلکه نتوانست چربی آن را نیز کاهش دهد. این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده یک جیره با کیفیت پایین یا نامتعادل باشد که سنتز پروتئین را مختل کرده اما همچنان منجر به ذخیره چربی می‌شود. دو جیره ی T_3 وT_4 یک الگوی بسیار مشابه و مطلوب (از دیدگاه تولید پروتئین بدون چربی) ایجاد کرده‌اند. آن‌ها ضمن حفظ درصد پروتئین در بالاترین سطح آماری (مشابه شاهد)، موفق به کاهش شدید و معنی‌دار درصد چربی بدن لاروها شده‌اند. این پدیده معمولاً بسیار ارزشمند تلقی می‌شود، زیرا محصول نهایی (لارو) دارای پروتئین بالا و چربی پایین است که برای مصارف مختلف (مانند تغذیه دام، طیور و آبزیان) مطلوب‌تر است. این نتایج پیشنهاد می‌کند که ترکیبات خاص موجود در این جیره‌ها احتمالاً مسیرهای متابولیکی لیپوژنز (چربی‌سازی) را مهار کرده ویا لیپولیز (چربی‌سوزی) را تحریک کرده‌اند، بدون آنکه تأثیر منفی بر سنتز پروتئین بگذارند.

یکی از نوآوری‌های پژوهش حاضر، بررسی مراحل رشد و نمو سوپرورم از لارو سن آخر تا حشره کامل، به تفکیک جنسیت است. Quennedey *et al.*, (1995)بدون اشاره به جنسیت، مدت زمان تبدیل لارو سن پایانی به پیش‌شفیره را در دمای ۲۵درجه سلسیوس، ۶ روز گزارش کردند. این در حالی است که در مطالعه حاضر، لاروهای نر و ماده شاهد به‌ترتیب پس از ۴/۸۵ و ۴/۵۳ روز به مرحله پیش‌شفیرگی رسیدند. اختلاف بین تیمارها برای هر دو جنس نر و ماده در این مرحله معنی‌دار بود (سطح احتمال ۵ درصد). به نظر می‌رسد این تفاوت در نتایج، به دمای پرورش و نوع جیره‌های غذایی مورد استفاده مربوط باشد. در مورد دوره پیش‌شفیرگی نیز Quennedey *et a.* (1995) مدت زمان آن را در دمای ۲۵درجه سلسیوس، ۶ روز گزارش کرده است. در پژوهش حاضر، این دوره برای لاروهای نر شاهد به‌طور میانگین ۵/۸۵ روز و برای لاروهای ماده شاهد ۴/۵۳ روز به طول انجامید. کوتاه‌ترین دوره پیش‌شفیرگی مربوط به لاروهای نر تیمار ۲ با ۴/۵ روز بود. اختلاف نتایج بین تیمارها در جنس نر معنی‌دار اما در جنس ماده غیرمعنی‌دار بود. همچنین، دوره شفیرگی در پژوهش Quennedey *et al.* (1995) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، ۱۳ تا ۱۵ روز گزارش شده، اما در تحقیق حاضر این دوره برای نرهای شاهد ۱۰ روز و برای ماده‌های شاهد ۹/۶۲ روز ثبت گردید. مشابه مرحله پیشین، اختلاف بین تیمارها برای جنس نر معنی‌دار و برای جنس ماده غیرمعنی‌دار بود. لاروهای سوپرورم در سن پایانی به حداکثر وزن خود می‌رسند و پرورش‌دهندگان معمولاً در این مرحله آن‌ها را برداشت می‌کنند. Harsanyi *et al.* (2020) بدون تفکیک جنسیت، بیشینه وزن لاروها (تغذیه شده با جیره غذایی دان مرغ)، ۰/۸۳ گرم و کمینه وزن آن‌ها را با جیره پسماند سبزیجات کم‌پروتئین و کم‌نشاسته، ۰/۴۲ گرم گزارش نمودند. در پژوهش حاضر، بیشترین میانگین وزن لاروهای نر و ماده در تیمار ۲ (با ۵۰ درصد پسماند صنایع غذایی در جیره) به ترتیب ۰/۸۲ و ۰/۸۱ گرم ثبت شد.

جدول ٦: ترکیبات بیوشیمیایی لاروهای *Zophobas morio* (درصد پروتئین و چربی) تغذیه شده با جیره‌های مختلف

Table 6: Biochemical composition (protein and fat percentages) of *Zophobas morio* larvae fed different diets.

Proximate composition	Control	T_1	T_2	T_3	T_4
Protein	55.62[a]	51.97[b]	55.92[a]	58.44[a]	59.16[a]
Fat	38.63[a]	36.89[a]	35.45[a]	22.59[b]	23.09[b]

Mean values in a row followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$). Control: wheat bran, soybean meal, corn flour, and yeast, T_1: rice bran and tomato pomace, T_2: wheat bran and tomato pomace, T_3: tomato pomace, T_4: corn vinasse and tomato pomace

لاروهای نر و ماده شاهد با ۰/۸۲ و ۰/۷۲گرم در رتبه بعدی قرار داشتند و کمینه میانگین وزن مربوط به لاروهای نر و ماده تیمار ۳ (تغذیه ۱۰۰ درصد با پسماند) به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۸ گرم بود. نکته مهم این است که حتی لاروهای تیمار ۳ نیز میانگین وزن بالاتری نسبت به کمینه وزن گزارش‌شده در پژوهش هارسانی و همکاران داشتند. زمانی که لاروها به سن پایانی می‌رسند، تغذیه را متوقف کرده و با جستجوی مکانی امن برای تبدیل شدن به پیش‌شفیره، تا پایان دوره رشد و نمو دیگر تغذیه نمی‌کنند و در نتیجه وزن آن‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش وزن از لارو سن آخر تا حشره کامل، به تفکیک جنسیت محاسبه شد. نتایج نشان داد که لاروهای نر و ماده ی تیمار شاهد در طول این دوره به‌طور میانگین به ترتیب ۳/۶۳ درصد و ۶/۶۶ درصد کاهش وزن داشتند. به طور کلی، حشرات کامل ماده زودتر از نرها ظاهر شدند. این مشاهدات در تطابق با روندهای کلی گزارش‌شده(Scriber & Slansky, 1981) است، که تأکید می‌کنند سرعت نمو در حشرات، یک ویژگی با درجه بالایی از کنترل ژنتیکی است، اما به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر "کیفیت تغذیه‌ای" قرار می‌گیرد. آن‌ها با مرور داده‌های چندین گونه، نتیجه‌گیری کردند که تفاوت‌های جنسی در زمان رشد، یک استراتژی تکاملی برای کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و افزایش شانس جفت‌گیری موفق است. با این حال، جیره‌های غذایی نامناسب می‌توانند این تفاوت‌های ظریف را مختل کرده یا تشدید کنند.

داده‌های ما نشان می‌دهد که در جیره‌های ضعیف‌تر (تیمار ۳ و ۴)، این اختلاف جنسی در طول دوره رشد کاهش یافت، که احتمالاً به دلیل غالب شدن تنش تغذیه‌ای بر برنامه‌ریزی رشدی ذاتی است. همچنین حشرات نر وزن بیشتری نسبت به ماده‌ها داشتند و یک همبستگی منفی بین وزن حشره و طول دوره رشد و نمو مشاهده شد، به این معنا که حشرات سنگین‌وزن‌تر (نرها) دیرتر دوره رشد خود را کامل کردند. در این ارزیابی اختلاف نرخ رشد ویژه (SGR) و ضریب تبدیل غذا (FCR) در سنین ابتدایی (۳–۵) برای گروه شاهد معنی‌دار بود این نشان می دهد که کیفیت تغذیه در مراحل اولیه لاروی حیاتی است و بیشترین تأثیر را بر عملکرد نهایی (زیست‌توده) دارد، زیرا در این مرحله نرخ نسبی رشد و سنتز بافت‌های جدید در اوج خود قرار دارد. داده‌های ما تایید می کند که شاخص‌های رشد مانند RGR و FCR در سنین ابتدایی به‌شدت به نوع جیره حساس بودند، اما این حساسیت در سنین پایانی (۱۵–۱۸) به‌دلیل نزدیک شدن به دگردیسی و توقف تغذیه، کاهش یافت. این یافته این دستورالعمل عملی برای پرورش‌دهندگان را ارائه می‌دهدکه تأمین جیره با کیفیت بالاتر در ۳۰ تا ۴۰ روز اول پرورش، می‌تواند بازدهی کلی سیستم را حتی در صورت استفاده از جیره‌های ارزان‌تر در مراحل بعدی، به حداکثر برساند. نرخ زنده‌مانی(SR) لاروهای سوپرورم در پژوهش Harsanyi *et al.* (2020) پس از ۴۵ روز پرورش، ۹۳/۳۳ درصد گزارش شده است. در پژوهش حاضر، پس از یک دوره پرورش ۱۰۰ روزه، نرخ زنده‌مانی برای گروه شاهد ۹۴/۳۷ درصد و برای تیمار ۱ به ۹۸/۳۰ درصد رسید. کمترین نرخ زنده‌مانی با ۸۹/۵ درصد در تیمار ۴ مشاهده شد و اختلاف بین تیمارها معنی‌دار بود. تفاله گوجه‌فرنگی به‌تنهایی (تیمار ۳) به دلیل فیبر بالا، یک جیره ضعیف بود، اما ترکیب آن با یک جریان جانبی غنی از کربوهیدرات و پروتئین قابل هضم مانند سبوس گندم (تیمار ۲)، یک هم‌افزایی ایجاد کرد که عملکردی هم‌سطح با جیره رایج تجاری ارائه داد. این رویکرد نه تنها قیمت تمام شده خوراک را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد، بلکه با متنوع‌سازی سبد پسماندهای ورودی، تاب‌آوری سیستم تولید را در برابر نوسانات فصلی و قیمت یک پسماند خاص افزایش می‌دهد.

Author's Contributions

Abbas Arbab: Conceptualization; methodology, formal analysis, draft preparation, final review and edit; **Abolfazl Noriani**: Investigation and draft preparation; **Ahad Sahragard**: Supervision and formal analysis.

Author's Information

Abbas Arbab ✉ abbasarbab@hotmail.com https://orcid.org/0000-0001-5248-0585
Abolfazl Noriani ✉ abolifazlnouriani@iran.ir https://orcid.org/0009-0000-6588-1767
Ahad Sahragard ✉ sahragard@guilan.ac.ir https://orcid.org/0009-0002-1123-2424

Funding

The authors declare that no funding was received for this study.

Data Availability Statement

All data used in this study are available from the corresponding author upon request.

Acknowledgments

We greatly appreciate all support provided by the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran for providing the necessary facilities and is very grateful to anonymous reviewers for their comments and advice..

Ethics Approval and Consent to Participate

This study involved the use of insects. All relevant international, national, and institutional regulations regarding the care and handling of animals were adhered to. The article does not include any research involving human participants conducted by the authors.

Consent for Publication

There is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

Generative AI statement

The authors declare that no Gen AI was used in the creation of this manuscript.

REFERENCES

Adámková, A., Mlček, J., Kouřimská, L., Borkovcová, M., Bušina, T., Adámek, J. & Krajsa, M. (2017) Nutritional potential of selected insect species reared on the island of Sumatra. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 521. https://doi.org/10.3390/ijerph14050521

AOAC. (1996). *Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC International. https://doi.org/10.1093/9780197610138.001.0001

Araújo, R. R. S., dos Santos Benfica, T. A. R., Ferraz, V. P. & Santos, E. M. (2019). Nutritional composition of insects *Gryllus assimilis* and *Zophobas morio*: potential foods harvested in Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis*, 76, 22–26. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.11.005

Arbab, A. (2019). Review of the possibility of replacing fish meal with insect meal in aquatic diet. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 8(2), 1-15. doi: 10.22069/japu.2019.15264.1449

Arbab, A. (2022). Evaluation of fruit and vegetable residues on nutritional indicators of barley beetle larvae, *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) for farmed fish. *Aquatic Animals Nutrition*, 8(4), 65-74. doi: 10.22124/janb.2023.24170.1198

Arbab, A. (2026). The effect of replacing wheat bran with green almond hull powder on growth performance indices of Zophobas morio (Col.: Tenebrionidae) larvae. *Plant Pest Research*, *16*(2), 49-60. doi: 10.22124/iprj.2026.34224.1703

Arora, A., Seth, A., Dien, B. S., Belyeaa, R. L., Singh, V., Tmbleson, M. E. & Rasch, K. D. (2011) Microfiltrasion of thin sillage: Process simulation aand economic analyses. *Biomass aand Biology*, 35(1), 256-264. http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.03١

Bordiean, A., Krzyżaniak, M., Aljewicz, M. & Stolarski, M. J. (2022) Influence of different diets on growth and nutritional composition of yellow mealworm. *Foods*, 11(19), 3075. doi: 10.3390/foods11193075

Cardoso, S. F. S., Mateus, T. L. & Lopes, J. C. (2020) Alternative diets and the effect on *Zophobas morio* larvae growth. *Insects Feed the World*, November 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.11321.19044

Cepeda, E. & Collado, I. (2014) Rheology of tomato and wheat dietary fibers in water and in suspensions of pimento purée. *Journal of Food Engineering*, 134, 67-73. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.03.007

Dewangan, B., Panda, A. K., Kerketta, S., Kerketta, A., Bhatnagar, P. S., Mishra, R., DeMandal, S. & Bisht, S. S. (2025) Reassuring insect farming ensures waste minimization and future food security. *Discover Sustainability*, 6, 451. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01266-x

FAO. (2011) *Global Food Losses and Food Waste—Extent, Causes and Prevention*. FAO. ISBN 978-92-5-107205-4

Fowles, T. M. & Nansen, C. (2020) Insect-based bioconversion: Value from food waste. In E. Närvänen, N. Mesiranta, M. Mattila, & A. Heikkinen (Eds.), *Food Waste Management*. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20561-4_12

Harsanyi, E., Juhasz, C., Kovacs, E., Huzsvai, L., Pinter, 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, 604. https://doi.org/10.3390/insects11090604

Khan, S. H. (2018). Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1144-1157. doi: 10.1080/09712119.2017.1407567

Kulma, M., Kouřimská, L., Homolková, D., Božik, M., Plachý V. & Vrabec, V. (2020) "Effect of developmental stage on the nutritional value of edible insects. A case study with Blaberus craniiferand *Zophobas morio*". *Journal of Food Composition and Analysis*. 92: 103570. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103570

Kuntadi, K., Adalina, Y. & Maharani, K. E. (2018) Nutritional compositions of six edible insects in Java. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5(1), 57-68. doi: 10.20886/ijfr.2018.5.1.57-68

Loiotine, Z., Bellezza Oddon, S., Resconi, A., Murta, D., Ribeiro, T., Biasato, I. & Gasco, L. (2026) Growth performance, bioconversion efficiency, and nutritional quality of yellow mealworm larvae reared on formulated diets based on local agro-industrial by-products. *Animal*, 20(6), 101853. doi:10.1016/j.animal.2026.101853

Mirzaei-Aghsaghali, A., Maheri-sis, N., Mansouri, H., Razeghi, M. E., Safaei, A. R., Aghajanzadeh-Golshani, A. & Alipoor, K. (2011) Estimation of the nutritive value of tomato pomace for ruminant using in vitro gas production technique. *African Journal of Biotechnology*, 10(33), 6251-6256. doi: 10.5897/AJB10.2629

Mlček, J., Adámková, A., Adámek, M., Borkovcová, M., Bednářová, M. & Knížková, I. (2019) Fat from Tenebrionidae bugs – Sterols content, fatty acid profiles, and cardiovascular risk indexes. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(3), 247-254. doi: 10.2478/pjfns-2019-0007

Mondragón, I. (2021). Dimorfismo sexual de *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) (Coleoptera, Tenebrionidae) en lasetapas de pupa y de adulto. *Ingeniería y Región*, 25, 22-31. doi.org/10.25054/22161325.2703

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

Quennedey, A., Aribi, N., Everaets, C. & Delbecque, J. (1995) Postembryonic development of *Zophobas atratus* Fab. (Coleoptera: Tenebrionidae) under crowded or isolated conditions and effects of juvenile hormone analogue applications. *Journal of Insect Physiology*, 41, 143-152. doi: 10.1016/0022-1910(94)00071-N

Rahbarpur, A., Taghizadeh, A. & Mehmannavaz, Y. (2013) Determination of nutritive value of tomato pomace using in vitro gas production technique. *Journal of Animal and Feed Research*, 3, 20-22. ISSN: 2228-7701

Saadat, S., Esmaeelnejad, L., Rezaei, H. & Mirkhani, R. (2023) A survey of soil salinity in Iran's drylands. *Land Management Journal*, 11(2), 147-160. doi: 10.22092/lmj.2023.361458.326

Scriber, J. M. & Slansky Jr., F. (1981) The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology*, 26, 183-211. doi:10.1146/annurev.en.26.010181.001151

Soxhlet, F. (1879) Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Dinglers Polytechnisches Journal*, 232, 461-465.

Sun, S., Yang, Z., Ren, J., Liu, T. & Jing, X. (2023) Fitness of nutrition regulation in a caterpillar pest *Mythimna separata* (Walker): Insights from the geometric framework. *Insects*, 14(12), 937. doi:10.3390/insects14120937

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

Van Peer, M., Frooninckx, L., Coudron, C., Berrens, S., Álvarez, C., Deruytter, D., Verheyen, G. & Van Miert, S. (2021) Valorisation potential of using organic side streams as feed for *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* and *Locusta migratoria*. *Insects*, 12, 796. doi: 10.3390/insects12090796

Veldkamp, T. & Bosch, G. (2015) Insects: A protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Animal Frontiers*, 5, 45–50. doi: 10.2527/af.2015-0020

Waldbauer, G. P. (1968) The consumption and utilization of food by insects. *Advances in Insect Physiology*, 5, 229-288. doi: 10.1016/S0065-2806(08)60230-1

Citation: Noriani, A., Arbab, A. & Sahragard, A. (2026) Evaluation of the possibility of replacing standard diet with food industry waste on biological performance and nutritional value of *Zophobas morio* Fabricius, 1776 (Col., Tenebrionidae). *J. Entomol. Soc. Iran. J. Entomol. Soc. Iran*, 46 (3), 489–500.

DOI: https://doi.org/10.22034/jesi.46.4.9

URL: https://jesi.areeo.ac.ir/article_136503.html

pISSN: 0259-9996 – eISSN: 2783-3968

Journal of Entomological Society of Iran

2026, 46 (4), 489–500

Evaluation of the possibility of replacing standard diet with food industry waste on biological performance and nutritional value of *Zophobas morio* (Col., Tenebrionidae)

Abolfazl Noriani[1], Abas Arbab[2] & Ahad Sahragard[1]

1. *Department of Plant Protection, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran*
2. *Department of Plant Protection, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran*

Abstract. Superorm (*Zophobas morio*) larvae have high nutritional value, but the cost of standard diets is an obstacle to their mass production. This study aimed to reduce production costs by replacing the common diet with inexpensive wastes of tomato pomace and corn vinasse. Five diets, including the standard diet and four waste-based treatments: T_1: 50% rice bran + 50% tomato pomace; T_2: 50% wheat bran + 50% tomato pomace; T_3: 100% tomato pomace; and T_4: 80% tomato pomace + 20% corn vinasse, were evaluated on larvae of ages 3 to 5. Growth indices, carcass composition, and growth stages were evaluated by sex. Treatment T_2 showed the best performance with the highest final larval weight of males 0.818 g and females 0.808 g (compared to control: 0.817 and 0.725 g), the best feed conversion ratio (6.07) and the shortest growth period and fully competed with the control diet. Larval protein content remained high in all treatments and ranged from 59.16–63.55%, while high-fiber diets (T_3 and T_4) resulted in a significant reduction in carcass fat to 22.59% (compared to 38.63% in the control). Sex-segregation studies showed that females matured earlier than males (18.53 days versus 20.71 days in the control). Survival rates were above 89% in all treatments. Replacing standard diets with wastes, especially the T_2 treatment, significantly reduces production costs while maintaining biological performance and nutritional value, and provides a sustainable solution for organic waste management and industrial production of insect protein.

Keywords: Tomato pulp, corn vinasse, feed conversion ratio, superworm breeding

Article info

Received:	25 June	2026
Accepted:	06 September	2026
Published:	30 October	2026

Subject Editor: Hossein Madadi

Corresponding author: Abbas Arbab

E-mail: abbasarbab@hotmail.com

DOI: https://doi.org/10.22034/jesi.46.4.9

© 2026 by Author(s), Published by the Entomological Society of Iran
This Work is Licensed under Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International Public License.