The University of Tehran Press

Iranian Journal of Animal Science

Online ISNN: 2008-4773

Homepage: http:// ijas.ut.ac.ir/

Determination of nutritional value, different protein fractions of black soldier fly larvae in the Net Carbohydrate and Protein System and degradability by nylon bag method

Elham Nadri[1] , Fardin Hozhabri[2]✉ , Daryoush Alipour[3] and Hassan Aliarabi[4]

1. Department of Animal Science, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: e.nadri@razi.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Animal Science, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: hozhabri@razi.ac.ir
3. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: alipourd@basu.ac.ir
4. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: h_aliarabi@basu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 15 July 2025

Received in revised form: 21 August 2025

Accepted: 26 August 2025

Published online: Spring 2026

Keywords:

Amino acids, fatty acids, non-protein nitrogen, phosphate buffer, true protein.

ABSTRACT

This research focused on evaluating black soldier fly larvae as a potential alternative protein source for animal feed by analyzing their protein fractions using the Cornell Net Carbohydrate and Protein System and assessing protein degradability with the nylon bag method. The larvae were raised on waste from a student restaurant. Upon completion of the larval growth phase, their approximate composition, fatty acid, and amino acid profiles were analyzed. Proteins were fractionated using phosphate buffer, neutral detergent, and acidic detergent solutions. Degradability was conducted with the nylon bag technique using two sheep fitted with permanent rumen fistulas. The rearing process showed that 85 grams of eggs produced 63.5 kilograms of dried larvae, and 225.76 grams of fresh larvae were generated per kilogram of feed consumed. The entire growth and hatching period lasted 15 days, with larvae reaching an average size of two centimeters. The larvae contained 41.71% crude protein and 35.01% ether extract, with high levels of essential amino acids such as methionine and lysine, and non-essential amino acids including aspartic and glutamic acids. The main fatty acids were saturated lauric and palmitic acids, along with unsaturated oleic and linoleic acids. Intermediately degradable protein was the largest fraction, while non-protein nitrogen and rapidly degradable protein made up 14.58% and 9.63% of the protein, respectively. The potential and effective degradability of crude protein at a passage rate of 0.05 were 43.97% and 31.59%, respectively. Overall, the results suggest that black soldier fly larvae possess favorable nutritional qualities and efficiently convert organic waste into valuable nutrients, making them a viable alternative protein source for ruminant feeding.

Cite this article: Nadri, E., Hozhabri, F., Alipour, D. & Aliarabi, H. (2026). Determination of nutritional value, different protein fractions of black soldier fly larvae in the Net Carbohydrate and Protein System and degradability by nylon bag method. *Iranian Journal of Animal Science*, 57 **(**1**),** 19-42. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.398605.654089

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.398605.654089

Extended Abstract

Introduction

In recent years, resource scarcity has driven up the cost of animal feed, which now makes up 60–70% of livestock production expenses. Additionally, forecasts indicate that the rapidly expanding human population will increase the demand for animal-derived foods—such as eggs, meat, and milk—by 70% by the year 2050 (Makkar, 2018). This population increase will also greatly raise the need for animal feed (Jayanegara *et al*., 2017). Ingredients like fishmeal, fish oil, soybean meal, and grains are increasingly used in both human and animal diets (van Huis, 2013). Soybean meal is a common protein source in animal nutrition, but concerns remain about its sustainability and environmental impact (Spiller *et al*., 2020). The strong demand for high-quality feed such as soybean, which are also consumed by humans, combined with population growth, has contributed to deforestation and the loss of forested land to agriculture (Hellstrand *et al*., 2013). Soybean meal is favored in ruminant diets because it provides essential amino acids (Campos *et al*., 2014). Additionally, oilseed by-products are in high demand, especially for monogastric animals (Kahraman *et al*., 2023). Thus, the livestock sector faces the challenge of creating innovative solutions to fulfill future societal, environmental, and economic demands. Searching for alternative feed sources is therefore critical to meet impending feed requirements. Insects have recently emerged as promising alternative protein sources for feed. Compared to traditional plant and animal-based feeds, insects offer various benefits, including low greenhouse gas and ammonia emissions, reduced risk of zoonotic disease transmission, minimal water use, and the ability to quickly convert and reduce organic waste into body mass (van Huis, 2013). Their high protein and fat content make insects suitable as protein and energy components in animal diets (Hawkey *et al*., 2021). Additionally, insects exhibit low feed conversion rates, require little water, and efficiently transform organic waste into body mass over a short period (van Huis, 2013). Several species, such as black soldier fly larvae (BSFL), have been evaluated in laboratory settings as potential alternative feed options for ruminants (Jayanegara *et al*., 2017). BSFL, due to their nutritional profile, represent a highly promising technology supporting sustainable economic development. This approach aims to reduce waste generation while lowering raw material and energy consumption. Using BSFL fosters a beneficial link between environmental sustainability and economic gains by addressing anticipated food shortages and supplying nutritious feed. These larvae can transform organic waste into valuable biomass, contributing to waste reduction and resource efficiency (Oonincx *et al*., 2010). On the other hand, one of the well-known methods for determining the nutritional value of feed materials is the Kernel Net Carbohydrate and Protein System, which examines materials based on nitrogenous fractions and the nature of carbohydrates (Sniffen *et al*. 1992). his method categorizes protein into fractions—including non-protein nitrogen, rapidly, moderately, and slowly degradable protein, as well as undegradable protein in the rumen—based on their degradation rates (Russell et al., 1992). It represents the first use of the kernel system for both quantitative and qualitative evaluation of insect protein. Because it is more precise than the crude protein method, it enables a more accurate comparison of the nutritional value of insect protein with other food sources. Conversely, the CNCPS model separates black soldier fly larva protein into degradable and undegradable fractions, which is especially important for chitin-bound proteins (such as fraction C) that conventional methods like crude protein analysis tend to overlook. Since BSLF are considered a potential alternative protein source in animal nutrition, the nylon bag technique provides a realistic evaluation of the availability of their protein within the ruminant digestive system. This approach indicates how much larval protein is degraded in the rumen—making it accessible to rumen microorganisms—and how much passes to the small intestine as undegraded protein, which can be directly absorbed by the animal. Therefore, the aim of this study was to determine the different protein fractions of BSLF reared on organic waste, based on the CNCPS, and its degradability process using the nylon bag method**.**

Material and Methods

This research was conducted at the Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, Razi University. The rearing stage of black soldier fly larvae (BSFL) lasted from July 1402 to January 1402. BSF eggs (provided from Babaei Savasari BSF Breeding Farm, Sari, Iran) were reared under appropriate laboratory conditions. These eggs were hatched after three days at a temperature of 30 °C and a humidity of 70% under the recommended temperature and humidity conditions (Diener *et al*., 2009) with minor modifications. The very small larvae, started eating and reached their maximum size within 15 to 20 days. During the first three days of the period, the larvae were fed on wheat bran and thereafter a mixture of restaurant waste including rice and bread was prepared for them. The harvested larvae were dried in a drying oven and ground using a laboratory mill (Foss Tecator Cyclotec 1093; Foss, Hillerød, Denmark). Afterward, the chemical composition of the larvae was determined according to the proposed method (AOAC, 1990), NDF (without alpha-amylase enzyme but with sodium sulfite) and ADF according to the Van Soest *et al.* (1991). The amount of chitin in the larvae was measured using the proposed method of Liu *et al*. (2012). The fatty acid composition of BSFL was measured by gas chromatography (Agilent Technologies 6890N - USA). At the beginning, the column temperature was set to 100 °C, while the injection port temperature was maintained at 260 °C. Nitrogen was used as the carrier gas, with a flow rate of 0.1 ml/min. The detector employed was a flame ionization detector (FID), and the injector operated using the SPLIT/SPLITLESS mode. The column used was of the HP88 capillary type with a length of 100 m, an internal diameter of 0.250 mm and a thickness of 0.2 μm. The amino acid composition of

BSFL was measured by high-performance liquid chromatography - reversed phase (Agilent 1100 - RP-HPLC-USA), according to the method of Rozan *et al*. (2000). The flow rate was 0.1 ml/min. The loop was 20 µl and the column of the device was C18 (5 µm: particle size; 150 × 4.6 mm). The fluorescence detector was with an emission wavelength of 348 nm and an excitation wavelength of 450 nm. The mobile phase consisted of a gradient blend of 0.1 M sodium acetate buffer (pH 7.2) and methanol. Protein fractions of black soldier fly larvae were analyzed following the method described by Licitra *et al*. (1996). The rumen degradability of BSFL was evaluated using the nylon bag technique, as outlined by Ørskov and McDonald (1979). Two two-year-old sheep with permanent rumen fistula were used for incubation of the nylon bags. Dacron bags measuring 10 x 5 cm with a pore diameter of 50 ± 10 microns (Ankom R510, Ankom Tecnology, Macedon, NY) were used. The degradability parameters were calculated from the nonlinear equation (McDonald, & Ørskov, 1979) and using Excel facilitated NEWAY software, (Fit Curve).

Result

The findings from the larval rearing period revealed that 85 grams of eggs produced 63.5 kilograms of dried larvae, and for each kilogram of feed consumed, 225.76 grams of fresh larvae were generated. The rearing and hatching process lasted 15 days, with larvae reaching an average harvestable length of two centimeters. The larvae contained 41.71% crude protein and 35.01% ether extract. They were rich in essential amino acids such as methionine and lysine, as well as non-essential amino acids like aspartic and glutamic acids. The predominant fatty acids were saturated lauric and palmitic acids, along with unsaturated oleic and linoleic acids. Intermediately degradable true protein made up the largest fraction of the protein, while non-protein nitrogen and rapidly degradable protein accounted for 14.58% and 9.63%, respectively. The potential and effective degradability of crude protein at a passage rate of 0.05 were 43.97% and 31.59%, respectively.

Conclusion

Overall, the results indicate that black soldier fly larvae possess valuable nutritional qualities and can efficiently convert organic waste into nutrients, making them a promising and suitable alternative protein source for ruminant diets.

Author Contributions

Conceptualization, F H, D A and H A; *methodology*, F H and D A; *software*, E N and F H; *validation*, F H, D A; *formal analysis*, E N and F H; *investigation*, E N, F H and D A; *resources*, F H; *data curation*, E N; *writing—original draft preparation*, E N and F H, *writing—review and editing*, E N and F H; *visualization*, F H and D A; *supervision*, F H and D A; *project administration*, F H; *funding acquisition*, F H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the corresponding author.

Acknowledgements

We would like to express our gratitude to the Faculty of Agricultural Sciences and Engineering at Razi University for providing the field and laboratory facilities necessary for this research. Our appreciation also extends to the Pars Hegmatan Damyar Company in Hamadan, Iran, for providing the animal feed pellets and Babaei Sosraei Black Soldier Fly Breeding Farm in Sari, Iran, for supplying the black soldier fly eggs.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of Razi University (Ethical code: R.RAZI.REC. 1402.043). The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

انتشارات دانشگاه تهران

نشریه علوم دامی ایران، دوره ۵۷، شماره ۱

شاپا الکترونیکی: ۷۹۴۹-۲۴۲۳

Homepage: http://ijas.ut.ac.ir//

تعیین ارزش غذایی، بخش‌های مختلف پروتئینی لارو مگس سرباز سیاه در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل و تجزیه‌پذیری به روش کیسه‌های نایلونی

الهام ندری[۱] | فردین هژبری[۲] ✉ | داریوش علیپور[۳] | حسن علی‌عربی[۴]

۱. گروه گروه علوم دامی، دانشکده علوم . مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: e.nadri@razi.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم دامی، دانشکده علوم . مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hozhabri@razi.ac.ir

۳. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: alipourd@basu.ac.ir

۴. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: h_aliarabi@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۴
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵

کلیدواژه‌ها:
اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، بافر فسفات، پروتئین حقیقی، نیتروژن غیرپروتئینی.

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی استفاده از لارو مگس سرباز سیاه، به‌عنوان منبع پروتئین جایگزین در جیره دام از طریق ارزیابی بخش‌های پروتئینی لارو در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل و تجزیه‌پذیری به روش کیسه‌های نایلونی بود. سوبسترا در پرورش لارو، پسماند رستوران بود. در انتهای رشد لاروی، تجزیه تقریبی، ترکیب اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه لارو تعیین شد. از بافر فسفات، محلول شوینده خنثی و محلول شوینده اسیدی برای تفکیک پروتئین به بخش‌های مختلف استفاده شد. تجزیه‌پذیری با روش کیسه‌های نایلونی و دو راس گوسفند با فیستولای دائمی شکمبه انجام شد. نتایج دوره پرورش لارو نشان داد، به ازای ۸۵ گرم تخم لارو، ۶۳/۵ کیلوگرم لارو خشک‌شده و به ازای هر کیلوگرم خوراک مصرف شده ۲۲۵/۷۶ گرم لارو (وزن تر) تولید شد. طول دوره پرورش و خروج از تخم، ۱۵ روز با طول متوسط دو سانتی‌متری قابل برداشت بود. پروتئین خام و چربی خام لارو به ترتیب ۴۱/۷۱ و ۳۵/۰۱ درصد بود. لارو حاوی غلظت‌های بالایی از اسیدهای آمینه ضروری نظیر متیونین و لیزین و غیر ضروری نظیر اسیدهای آسپارتیک و گلوتامیک بود. بیشترین غلظت اسیدهای چرب مربوط به لوریک و پالمتیک (اشباع) و اولئیک و لینولئیک (غیر اشباع) بود. پروتئین حقیقی با تجزیه‌پذیری متوسط بیشترین بخش پروتئین را تشکیل داد. نیتروژن غیرپروتئینی و پروتئین حقیقی با تجزیه‌پذیری سریع به ترتیب ۱۴/۵۸ و ۹/۶۳ درصد پروتئین را تشکیل دادند. پتانسیل تجزیه‌پذیری و تجزی‌پذیری موثر پروتئین خام در نرخ عبور ۰/۰۵ به ترتیب ۴۳/۹۷ و ۳۱/۵۹ درصد بود. نتایج نشان داد که پروتئین لارو مگس سرباز سیاه دارای خصوصیات تغذیه‌ای مناسبی است و این لارو توانایی تبدیل پسماند مواد آلی به مواد مغذی ارزشمند برای تغذیه نشخوارکنندگان را دارد و می‌تواند به‌عنوان یک منبع جدید، جایگزین مناسبی برای منابع پروتئینی رایج باشد..

استناد: ندری، الهام؛ هژبری، فردین؛ علیپور، داریوش و علی عربی، حسن (۱۴۰۵). تعیین ارزش غذایی، بخش‌های مختلف پروتئینی لارو مگس سرباز سیاه در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل و تجزیه‌پذیری به روش کیسه‌های نایلونی. *نشریه علوم دامی ایران*، ۵۷ (۱)، ۴۲-۱۹. DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.398605.654089

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijas.2025.398605.654089

مقدمه

کمبود منابع باعث افزایش قیمت خوراک دام در سال‌های گذشته شده است که ۶۰ تا ۷۰ درصد هزینه‌های تولید سیستم‌های تولید دام را تشکیل می‌دهد؛ علاوه برآن، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که افزایش سریع جمعیت انسانی تا سال ۲۰۵۰، تقاضا برای غذاهای با منشأ حیوانی از جمله تخم‌مرغ، گوشت و شیر را تا ۷۰ درصد افزایش خواهد داد (Makkar, 2018). انتظار می‌رود که این افزایش جمعیت، تقاضا برای خوراک دام را نیز به طرز قابل توجهی افزایش دهد (Jayanegara *et al*., 2017). استفاده از موادی مانند پودر ماهی، روغن ماهی، کنجاله سویا و غلات هم در غذای انسان و هم در خوراک حیوانات رو به افزایش است (van Huis, 2013). کنجاله سویا، یکی از منابع اصلی پروتئین در تغذیه دام به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و همواره نگرانی‌هایی درباره پایداری تغذیه و تأثیرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید سویا وجود دارد (Spiller *et al*., 2020). تقاضای بالا برای خوراک دام با کیفیت مانند گندم و سویا در تغذیه نشخوارکنندگان، که امکان مصرف مستقیم توسط انسان را نیز دارد، به همراه افزایش جمعیت انسانی، منجر به جنگل‌زدایی و کاهش مناطق جنگلی برای کشاورزی شده است(Hellstrand *et al*., 2013). از طرفی، کنجاله سویا به دلیل غنی‌بودن از اسیدهای آمینه ضروری، معمولاً به‌عنوان منبع پروتئین برای نشخوارکنندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Campos *et al*., 2014). علاوه بر این، تقاضای بالایی برای فرآورده‌های جانبی دانه‌های روغنی، به‌ویژه برای گونه‌های تک‌معده‌ای، وجود دارد (Kahraman *et al*., 2023). لذا صنعت تولید دام با چالش توسعه روش‌های نوآورانه‌ای، برای پاسخ‌گویی به نیازهای اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی آینده مواجه است. بنابراین جستجو برای منابع خوراک جایگزین در قالب یک استراتژی برای تامین تقاضای خوراک در آینده اهمیت دارد. در سال‌های اخیر، حشرات به‌عنوان منابع غذایی جایگزین امیدوارکننده، به ویژه منابع پروتئینی جدید مورد توجه قرار گرفته‌اند. با توجه به تولید خوراک، حشرات در مقایسه با منابع غذایی با منشأ گیاهی و حیوانی دارای مزایای متعددی مانند انتشار گازهای گلخانه‌ای و آمونیاک کم، خطر کم ابتلا به عفونت مشترک بین انسان و دام، مصرف کم آب، و تبدیل (و کاهش) موثر دفع مواد زائد آلی به توده بدن خود، در یک دوره زمانی کوتاه هستند (van Huis, 2013). با توجه به محتوای بالای پروتئین و چربی، حشرات می‌توانند به‌عنوان منابع پروتئین و انرژی در رژیم غذایی حیوانات مورد استفاده قرار گیرند (Hawkey *et al*., 2021). حشرات علاوه بر کیفیت تغذیه‌ای خود، مزایایی مانند نرخ تبدیل پایین خوراک، حداقل نیاز به آب و تبدیل کارآمد زباله‌های آلی به توده بدن در یک بازه زمانی کوتاه را ارائه می‌دهند (van Huis, 2013). گونه‌های مختلف حشرات، از جمله لارو مگس سرباز سیاه، در مطالعات آزمایشگاهی به‌عنوان خوراک جایگزین بالقوه برای نشخوارکنندگان ارزیابی شده‌اند (Jayanegara *et al*., 2017). به دلیل محتوای مغذی لارومگس سرباز سیاه، آن‌ها را می‌توان به‌عنوان پایه یک فناوری بسیار امیدوار کننده، برای حفظ یک اقتصاد پایدار، به کار برد؛ به‌نحوی‌که مفهوم اقتصادی آن کاهش تولید زباله و کاهش مصرف مواد خام و انرژی است. استفاده از لارو مگس سرباز سیاه، رابطه متقابل بین محیط زیست و اقتصاد را به همراه خواهد داشت، بدین مفهوم که سبب جبران کمبودهای مورد انتظار آینده غذایی و تامین مواد مغذی سالم خواهد کرد. لارو مگس سرباز سیاه قادر است پسماندهای زباله‌های آلی را در بدن خود به زیست توده با ارزش تبدیل کند (Oonincx *et al*., 2010).

از آن‌جایی که استفاده از لارو حشرات در جیره به‌عنوان یک راهکار نوین در تغذیه دام مطرح است، شناسایی قابلیت‌های این منبع جدید پروتئینی ضروری به نظر می‌رسد. منابع پروتئینی که در تغذیه دام استفاده می‌شوند معمولا از لحاظ بخش‌های پروتئینی و کربوهیدراتی، مقادیر پروتئین و کربوهیدرات تجزیه‌شونده در شکمبه و عبوری به قسمت‌های دیگر دستگاه گوارش مورد سنجش قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های شناخته شده در تعیین ارزش غذایی مواد خوراکی، سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل[1] است که مواد را براساس بخش‌های نیتروژن‌دار و ماهیت کربوهیدرات مورد بررسی قرار می‌دهد (Sniffen *et al*. 1992). در این روش پروتئین بر اساس نرخ تجزیه‌پذیری به بخش‌هایی نظیر نیتروژن غیر پروتئینی، پروتئین با تجزیه‌پذیری سریع، متوسط و کند و پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه تقسیم می‌شود (Russell *et al*., 1992). این روش اولین کاربرد سیستم کرنل برای ارزیابی کمی و کیفی پروتئین حشرات معرفی می‌کند و با توجه به دقت بالاتر نسبت به روش پروتئین خام، امکان مقایسه ارزش غذایی پروتئین حشرات با سایر منابع خوراکی را فراهم می‌کند. از طرفی مدل CNCPS امکان تفکیک پروتئین لارو مگس سرباز سیاه را به بخش‌های قابل تجزیه و غیر قابل تجزیه فراهم می‌کند و این روش به‌ویژه برای پروتئین‌های متصل به کیتین (مثل بخش

1Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

C) که در روش‌های متداول، مانند پروتئین خام نادیده گرفته می‌شود، اهمیت دارد. همچنین، از آنجا که لارو مگس سرباز سیاه به‌عنوان یک منبع پروتئینی جایگزین در تغذیه دام مطرح است، روش کیسه‌گذاری شکمبه امکان ارزیابی واقع‌گرایانه‌ای از قابلیت دسترسی پروتئین لارو مگس سرباز سیاه در سیستم گوارشی نشخوارکنندگان را فراهم می‌کند. این روش نشان می‌دهد که چه بخشی از پروتئین لارو در شکمبه تجزیه می‌شود (قابل دسترسی برای میکروارگانیسم‌های شکمبه) و چه بخشی به‌صورت پروتئین عبوری به روده کوچک می‌رسد که برای جذب مستقیم توسط دام مفید است.

اطلاعات حاصل از این تقسیم بندی می‌تواند مبنایی برای پیش‌بینی قابلیت دسترسی دام به منابع نیتروژن خوراک باشد. از طرفی شناخت از تجزیه‌پذیری منابع پروتئینی در شکمبه می‌تواند اطلاعاتی در خصوص وضعیت تخمیر شکمبه‌ای آن در اختیار کارشناسان برای تنظیم جیره‌های کاربردی قرار دهد. لذا هدف از این تحقیق تعیین بخش‌های مختلف پروتئینی لارو مگس سرباز سیاه پرورش یافته بر روی زباله‌های مواد آلی، بر اساس سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل و روند تجزیه‌پذیری آن به روش کیسه‌های نایلونی بود.

پیشینه پژوهش

وعده غذایی حشرات ممکن است یکی از گزینه‌ها برای دستیابی به تولید پایدار موثر باشد (Newton *et al*., 2005). حشرات همچنین منبع پروتئینی با ارزشی برای بسیاری از حیوانات هستند که در طیف گسترده‌ای از گونه‌ها قرار دارند (Newton *et al*., 1977). وعده‌های غذایی حشرات اسیدهای آمینه ضروری برای تولیدات دام را فراهم می‌کند و ممکن است هزینه‌ها را به حداقل برساند که در نتیجه می‌تواند منجر به حداکثر سود شود (Newton *et al*., 2005). اخیراً استفاده از حشرات به‌عنوان ماده خوراکی به دلیل محتوای غذایی بالا رو به افزایش است. یکی از حشرات معروف به نام لارو مگس سرباز ، به دلیل پرورش آسان، عملکرد بالا، ارزش غذایی غنی و توانایی استفاده از ضایعات آلی، در خوراک دام مورد استفاده قرار گرفته است. مگس سرباز سیاه به‌عنوان یک منبع پروتئینی با پتانسیل غذایی بالا در تولید دام در نظر گرفته شده است (Newton *et al*., 2005). لاروهای مگس سرباز سیاه به‌عنوان یک جایگزین پروتئین و چربی در میان انواع دیگر حشرات خوراکی پرورشی فواید بسیاری را نشان داده است و از این رو لارو مگس سرباز سیاه به دلیل قابلیت تبدیل انواع ضایعات به پروتئین‌ها، چربی‌ها و مواد معدنی با کیفیت به طور گسترده ای مورد تحقیق و کشت قرار می گیرد (Wang & Shelomi, 2017). این لاروها می‌توانند مواد آلی مختلفی از جمله کود دامی، پسماندهای کشاورزی، ضایعات مواد غذایی، سیانوباکترها و تفاله‌ها را تجزیه کنند (Lu *et al*., 2022). جالب توجه است که لاروها همچنین می‌توانند مایکوتوکسین‌ها، آفت‌کش‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها را تجزیه کنند (Liu *et al*., 2020) که به طور موثری انتقال و مهاجرت این آلاینده‌های آلی را در محیط کاهش می‌دهد (Cifuentes *et al*., 2020). همچنین، حشرات به‌عنوان یک منبع پروتئین پایدار و با کیفیت بالا پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند در تغذیه دام (Finke, 2002) به امنیت غذایی جهانی کمک کنند.

با توجه به کمبود منابع پروتئینی تجدیدپذیر همراه با افزایش هزینه‌های خوراک پروتئینی، یافتن منابع پروتئینی جایگزین با کیفیت خوب و پایدار به‌طور فزاینده‌ای اهمیت پیدا می‌کند (Teguia *et al*., 2002; Newton *et al*., 2005). بنابراین، تحقیقات زیادی برای یافتن منابع پروتئینی جایگزین که هم تجدیدپذیر و هم مقرون به‌صرفه باشند، مورد نیاز است تا کشاورزان بتوانند هزینه‌های تولید خود را به حداقل رسانده و در عین حال سود خود را به حداکثر برسانند. لارو مگس سرباز سیاه را می‌توان به‌عنوان چنین منبع پروتئینی در نظر گرفت. برخی محققین میزان پروتئین خام را ۳۸ تا ۴۶ درصد و چربی خام را ۲۱ تا ۳۵ درصد گزارش کرده‌اند (Oonincx *et al*., 2015). گزارش شده است که بسیاری از حشرات به طور رضایت‌بخشی می‌توانند تامین‌کننده انرژی و پروتئین مورد نیاز باشند و سرشار از چندین ریزمغذی مانند مس، آهن، منیزیم، منگنز، فسفر، سلنیوم و روی و همچنین ریبوفلاوین، اسید پانتوتنیک، بیوتین و در برخی موارد اسید فولیک (Rumpold & Schluter, 2013)، سطوح بالایی از اسیدهای لوریک، پالمیتیک و اولئیک (Surendra *et al*., 2016) می باشند. غلظت اسیدهای آمینه آرژنین، لیزین، هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، ترئونین و تیروزین به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۴۲، ۰/۲۲، ۰/۷۱، ۱/۸۱، ۱/۰۰، ۱/۴۲ درصد گزارش شده است (Lu *et al*., 2025). لارو مگس سرباز سیاه دارای سطوح بالای پروتئین با تجزیه سریع و تجزیه متوسط است (Das & Mandal., 2014). از طرفی تجزیه

2*Hermetia illucens* (BSFL)

پذیری ماده خشک و پروتئین خام لارو در ۴۸ ساعت انکوباسیون در شکمبه به ترتیب ۵۳/۱۵ و ۴۵/۰۵ درصد گزارش شده است (Lu *et al*., 2024). از طرفی گزارش شده است لاروهای مگس سرباز سیاه قادر به تبدیل کود به یک ماده خوراکی با ارزش بالا هستند که می‌تواند یک روش بالقوه برای مدیریت پسماند باشد و به‌عنوان یک منبع غذایی در جیره‌های غذایی حیوانات مورد استفاده قرار گیرد (Newton *et al*., 2005).

روش شناسی پژوهش

پرورش لارو مگس سرباز سیاه

این تحقیق در دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی پس از اخذ کد اخلاق کار با حیوانات به شماره IR.RAZI.REC.1402.043 انجام شد. مرحله پرورش لارو مگس سرباز سیاه از تیر ماه ۱۴۰۲تا دی ماه ۱۴۰۲ به طول انجامید. ۸۵ گرم تخم مگس سرباز سیاه (تهیه شده از مزرعه پرورش مگس سرباز سیاه بابایی سواسری، ساری)، در شرایط آزمایشگاهی مناسب پرورش داده شد؛ ابعاد ظرف‌های پرورش لارو ۴۰ در ۶۰ و ارتفاع ۱۴/۵ سانتی متر تهیه شد. این تخم‌ها در دما ۳۰ درجه سانتیگراد و رطوبت ۷۰ درصد تحت شرایط دمایی و رطوبتی توصیه شده (Diener *et al*.,2009) با اندکی تغییر، پس از سه روز هچ شدند. لاروهای بسیار ریز حشره، زمانی که تازه از تخم خارج شدند، شروع به غذا خوردن نموده و ظرف ۱۵ تا ۲۰ روز به حداکثر اندازه خود رسیدند. لاروها در سه روز اول دوره، بر روی بستری از سبوس گندم تغذیه شدند (سبوس گندم با آب گرم مخلوط شد، تا یک خوراک مایع غلیظ به دست آمد) و پس از آن بستری از مخلوط پسماند رستوران دانشجویان شامل برنج و نان خشک، برای آنها تهیه شد. به بسترهای خوراکی مذکور مقداری آب گرم جهت تشکیل یک سوپ اضافه شد. آب گرم به تشکیل مخلوط همگن و جلوگیری از توده خشک و غیریکنواخت جلوگیری کرد. سپس بستر خوراکی تا دمای محیط ۲۵– ۳۰ درجه سانتیگراد، سرد و در اختیار لاروها جهت تغذیه قرار داده شد. دما و رطوبت محیط با استفاده از دماسنج دیجیتال (با دقت± ۰/۵ درجه سانتیگراد) و رطوبت‌سنج کنترل و برای تنظیم رطوبت نسبی محیط پرورش از رطوبت سازهای خانگی استفاده شد. در شرایط مذکور ۱۵ الی ۲۰ روز طول کشید تا لاروها به بلوغ رسیدند. در زمان بلوغ، طول لارو آماده برداشت حدود ۲ تا ۳ سانتی‌متر و وزن نهایی لارو قابل برداشت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بود. با استفاده از کولیس مدرج و ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ به ترتیب اندازه و وزن لاروها ثبت شد. برای شمارش لاروها، لاروهای ریز و درشت از هم تفکیک و سپس تعداد ۱۰۰ عدد از هرکدام از لاروهای تفکیک‌شده (از هر جعبه) توزین شدند. بر اساس اطلاعات حاصل، تعداد تقریبی لاروهای پرورش یافته تخمین زده شد. لاروهای برداشت شده در آون خشک و سپس به کمک آسیاب آزمایشگاهی (Foss Tecator Cyclotec 1093; Foss, Hillerød, Denmark) آسیاب شدند. سپس ترکیب شیمیایی لاروها شامل ماده خشک (روش شماره۹۳۰/۱۵)، پروتئین خام (روش شماره۹۸۴/۱۳)، عصاره اتری (روش شماره۹۲۰/۳۹)، خاکستر (روش شماره ۹۲۴/۰۵)، ماده آلی (روش شماره ۹۴۲/۰۵) براساس روش پیشنهادی (AOAC, 1990)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (بدون آنزیم آلفا– آمیلاز ولی با سولفیت سدیم) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی طبق روش استاندارد (Van Soest *et al*.,1991) تعیین شد. میزان کیتین موجود در لارو از طریق روش پیشنهادی (Liu *et al*., 2012) اندازه‌گیری شد. به اختصار نمونه‌های لارو آسیاب شده از یک الک ۲۰ مش عبور داده شد و در ظرف دربسته در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پودر لارو (۵ گرم) به مدت ۳۰ دقیقه با محلول ۱ مولار HCl (۲۵۰ میلی‌لیتر) در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تیمار شد تا مواد معدنی و کاتکول‌ها حذف شوند. پس از مرحله کانی زدایی، با آب مقطر تا رسیدن به حالت خنثی شستشو داده شد. پروتئین‌زدایی با استفاده از تیمار قلیایی با محلول یک مولار NaOH (۲۵۰ میلی‌لیتر) در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام شد و محصول با آب مقطر تا زمانی که pH خنثی شود، شسته شد. به منظور رنگ‌زدایی، رسوب به مدت یک ساعت با محلول یک درصد پرمنگنات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌لیتر) تیمار شد. در نهایت، کیتین حاصل، با آب مقطر شسته و در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد با حرارت خشک شد.

تعیین ترکیب اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه لارو

ترکیب درصد اسیدهای چرب لارو مگس سرباز سیاه توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent Technologies 6890N - USA)، در آزمایشگاه شرکت معیار دانش پارس–ایران اندازه‌گیری شد. دمای اولیه ستون دستگاه در آغاز ۱۰۰ درجه سانتی گراد دمای محل تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. گاز حامل، نیتروژن که سرعت جریان گاز حامل ml/min ۱/۰ بود. آشکار ساز یونیزاسیون شعله‌ای از نوع FID بود. انژکتور از نوع SPLIT/SPLIT LESS بود. ستون مورد استفاده از نوع موئین HP88 به طول ۱۰۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵۰ میلی متر و ضخامت ۰/۲ میکرومتر بود. ترکیب درصد اسیدهای آمینه لارو مگس سرباز سیاه توسط کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا – فاز معکوس (Agilent 1100 - RP-HPLC- USA)، در آزمایشگاه شرکت معیار دانش پارس– ایران طبق روش (Rozan *et al*., 2000) اندازه‌گیری شد. سرعت جریان ml/min ۱/۰ بود. لوپ ۲۰ میکرولیتر و ستون دستگاه (C18 (4.6 × 150 mm ; particle size :5µm بود. آشکار ساز فلورسانس با طول موج نشر ۳۴۸ نانومتر– طول موج برانگیختگی ۴۵۰ نانومتر بود. فاز متحرک دستگاه، مخلوط گرادیان بافر سدیم استات ۰/۱ مولار (pH=7.2) و متانول بود.

ارزشیابی پروتئین لارو با استفاده از سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کُرنل

برای تعیین بخش‌های مختلف پروتئین لارو مگس سرباز سیاه از روش استاندارد شده (Licitra *et al*.,1996) استفاده شد. بدین‌منظور، لاروهای خشک شده در آون به کمک آسیاب آزمایشگاهی با الک نیم میلی‌متر آسیاب و سه تکرار برای آزمایش استفاده شد. از کاغذ صافی واتمن با کد ۵۴۱ برای پالایش (فیلتراسیون) استفاده شد. برای تعیین بخش نیتروژن غیر پروتئینی (رابطه ۱؛ A) با استفاده از اسید تانگستیک (مرک، آلمان) رسوب داده شد. بخش پروتئین حقیقی رسوب کرده و نیتروژن غیر پروتئینی در فاز مایع قرار می‌گیرد. بخش A از تفاوت کل نیتروژن (پروتئین خام) و میزان نیتروژن رسوب کرده (پروتئین حقیقی) محاسبه شد. از بافر بورات فسفات (مرک، آلمان) برای تعیین مقدار پروتئین محلول (بخش‌های A و B_1) استفاده شد. بخش نیتروژن غیر پروتئینی (A) از نیتروژن محلول در بافر کسر شد (رابطه ۲) و بخش پروتئین حقیقی محلول (بخش B_1) محاسبه شد. نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی و نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری NDF تعیین شد. بخش C (رابطه ۴)، نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی محسوب شد و تفاوت بین NDIN[۳] و ADIN[۴] در برآورد بخش B_3 (رابطه ۳) استفاده شد. از رابطه (۵) برای تعیین بخش B_2 پروتئین استفاده شد. نتایج به صورت درصدی از پروتئین خام گزارش شد.

رابطه (۱) $A = NPN$

رابطه (۲) $B_1 = BSN - NPN$

رابطه (۳) $B_3 = NDIN - ADIN$

رابطه (۴) $C = ADIN$

رابطه (۵) $B_2 = 100 - (A + B_1 + B_3 + C)$

در این معادلات، A= نیتروژن محلول، B_1= پروتئین با تجزیه‌پذیری سریع، B_2= پروتئین با تجزیه‌پذیری متوسط، B_3= پروتئین با تجزیه‌پذیری کند، C= پروتئین غیرقابل تجزیه‌پذیری، NPN= نیتروژن غیر پروتئینی، BSN= نیتروژن محلول در بافر، NDIN= نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی، ADIN= نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی بود.

تعیین تجزیه‌پذیری پروتئین لارو به روش کیسه‌های نایلونی

به منظور تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای لارو مگس سرباز سیاه، از روش کیسه‌های نایلونی[۵] استفاده شد (Ørskov & McDonald, 1979). برای انکوباسیون کیسه‌های نایلونی از دو راس گوسفند دو ساله نژاد سنجابی با فیستولای شکمبه‌ای دائمی استفاده شد. تعداد دو تکرار برای هر زمان در هر گوسفند در دو دوره متوالی انکوبه شد. جیره دام‌ها در طول دوره آزمایش شامل کاه گندم ۱۰درصد، یونجه ۳۰ درصد، جو ۹۵/ ۳۴ درصد، ذرت ۱۲/۵ درصد، سویا ۹/۷۵ درصد، نمک ۰/۳ درصد، بافر ۱/۲۵ درصد، مکمل معدنی ۱/۲۵ درصد بود (کنسانتره ۶۰: علوفه۴۰). از کیسه‌های با جنس داکرون با اندازه ۱۰×۵ سانتی‌متر با قطر منافذ ۱۰

3Neutral Detergent Insoluble Nitrogen (NDIN)
4Acid Detergent Insoluble Nitrogen (ADIN)
5Nylon bags method

± ۵۰ میکرون (Ankom R510, Ankom Tecnology, Macedon, NY) استفاده شد. کیسه‌های شسته شده در داخل آون قرار داده و در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد تا حصول وزن ثابت خشک شدند. تعداد کیسه‌های برای هر بره، در هر زمان و در دو روز متوالی دو تکرار در نظر گرفته شد. لاروهای خشک شده در آون به کمک آسیاب آزمایشگاهی (Foss Tecator Cyclotec 1093; Foss, Hillerød, Denmark) با الک دو میلی‌متری آسیاب شدند و در هر کیسه نایلونی مقدار ۳ گرم از نمونه ریخته شد. هر کیسه نایلونی جداگانه با یک رشته نایلونی به لوله سلیکونی متصل و یک وزنه ۳۰ گرمی به انتهای لوله سلیکونی آویزان شد. انکوباسیون کیسه‌های حاوی نمونه در شکمبه در فواصل زمانی ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ ساعت انجام شد. برای زمان صفر، دو کیسه نایلونی حاوی نمونه‌های لارو بدون قرار گرفتن در شکمبه، با آب سرد بدون اعمال فشار، شست و شو داده و به روش (Washing Loss) انجام شد. کیسه‌های مربوط به کلیه زمان‌های انکوباسیون همزمان وارد شکمبه حیوان شده و پس از هر زمان مورد نظر انکوباسیون، کیسه‌ها از شکمبه خارج و در ظرف محتوی آب سرد شسته شدند. فرآیند شستشوی کیسه‌های نایلونی تحت آب جاری تا حصول اطمینان از بی‌رنگی و شفافیت کامل آب خروجی، ادامه داشت. به منظور تعیین میزان تجزیه‌پذیری در زمان صفر، دو نمونه با آب سرد شستشو داده شد. کیسه‌ها و محتویات داخل آن تا رسیدن به وزن ثابت، در داخل آون در دمای ۷۲ درجه سانتیگراد خشک شدند. درصد ناپدید شدن ماده خشک از طریق رابطه ۶ تعیین شد.

$$\text{DM disappearance (\%)} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100$$ رابطه (۶)

در این رابطه، W_1 ، وزن نمونه با کیسه قبل از انکوباسیون و W_2، وزن نمونه با کیسه بعد از انکوباسیون می باشد.

جهت اندازه‌گیری ماده خشک (روش شماره۹۳۰/۱۵)، پروتئین خام (روش شماره۹۸۴/۱۳) و ماده آلی (روش شماره ۹۴۲/۰۵) نمونه‌های انکوبه شده از روش پیشنهادی (AOAC, 1990) استفاده شد. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (بخش محلول، بخش غیر محلول و نرخ ثابت تجزیه) از معادله (رابطه ۷) غیرخطی (Ørskov & McDonald,1979) و با استفاده از نرم افزار Excel (Fit Curve,facilitated NEWAY softwar) محاسبه شدند.

$$P=a+b(1-e^{-ct})$$ رابطه (۷)

در این رابطه، P میزان تجزیه‌پذیری در زمان t، a میزان تجزیه‌پذیری بخش محلول (بخش سریع تجزیه برحسب درصد)، b میزان تجزیه‌پذیری بخش غیر محلول (بخش کند تجزیه برحسب درصد)، c نرخ ثابت تجزیه‌پذیری در واحد زمان، t زمان تجزیه‌پذیری و e عدد نپرین (۲/۷۱۸) است. درصد تجزیه‌پذیری موثر (ED) از طریق رابطه ۸ (Ørskov & McDonald,1979) و در نرخ‌های عبور مواد جامد از شکمبه (k) ۲، ۵ و ۸ در ساعت تعیین شد (Bhargava & Ørskov, 1987).

$$\text{ED} = \frac{a+(c \times b)}{(k+c)}$$ رابطه (۸)

میزان پروتئین غیر قابل تجزیه (UDP) بر اساس روش توصیه شده (Woodgate & Everington, 1997) محاسبه شد. در این مدل، مقادیر پروتئین غیر قابل تجزیه از روابط زیر محاسبه شد.

$$\text{Undegradable protein (UDP)} = \text{CP} - (\text{QDP} + \text{SDP})$$ رابطه (۹)

$$\text{Quickly degraded protein (QDP)} = a \times \text{CP}$$ رابطه (۱۰)

$$\text{Slowly degraded protein (SDP)} = [(b \times c)/(c + r)] \times \text{CP}$$ رابطه (۱۱)

در این روابط، QDP پروتئین با تجزیه سریع، SDP پروتئین با تجزیه آهسته، a, b,c ضرایب تجزیه‌پذیری و r نرخ عبور از شکمبه (۰/۰۲، ۰/۰۵، ۰/۰۸ درصد در ساعت) است.

یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج مربوط به عملکرد رشد لارو مگس سرباز سیاه و ضریب تبدیل خوراک در جدول ۱ نشان داده شده است. در مطالعه حاضر، دوره پرورش لارو و خروج از تخم (هچ شدن)، با توجه به نوع خوراک مصرفی (پسماند رستوران محتوی نان خشک و برنج) ۱۵ روز بود که از دوره گزارش شده برای لاروهای تغذیه شده با پسماند میوه کمتر (۱۸ روز) بود (Pourfathollah *et al*., 2022) و در طول ۱۵ روز به لاروهای دو سانتی‌متری قابل برداشت تبدیل شدند. طول دوره پرورش لارو با استفاده از پودر ضایعات مرغ

(۱۸ روز)، ضایعات سیب و ضایعات موز به ترتیب ۱۸ و ۲۱ روز گزارش شده است (Niknia *et al*., 2023). در مقایسه با مطالعه (Pourfathollah *et al*., 2022)، به نظر می‌رسد مخلوط استفاده شده به‌عنوان سوبسترای مورد تغذیه لاروها در مطالعه حاضر نقش مهمی در کوتاهی دوره لاروی داشته است. همچنین، گزارش شده است که مدت زمان توسعه لاروها (شروع تغذیه لاروها از بستر) می‌تواند تابعی از نوع سوبسترای مورد تغذیه لاروها باشد، به‌نحوی که متوسط طول این دوره در بسترهای خوراک مرغ‌های تخمگذار (محتوی ۱۵/۵ درصد پروتئین)، ضایعات سبزیجات تازه، مواد هضم شده حاصل از تخمیر بیوگاز و پسماند رستوران (شامل برنج، پاستا، سیب‌زمینی و سبزیجات) به ترتیب ۱۲/۲۰، ۱۵/۰۰، ۱۵/۵۰ و ۱۹/۰۰ درصد ماده خشک بود (Spranghers *et al*., 2017). در مقایسه با نتایج تحقیق حاضر که لاروها بر بستری از پسماند رستوران تغذیه شدند، مدت زمان توسعه و پرورش لاروهای قابل برداشت کمتر از مورد مشابه در گزارش (Spranghers *et al*., 2017) بود. این محققین، میزان بالای چربی در سوبسترا را علت رشد آهسته‌تر و طولانی شدن زمان رشد لاروهای پرورش یافته روی پسماند رستوران ذکر کردند؛ هرچند در مطالعه حاضر چنین روندی مشاهده نشد و طول دوره پرورش کوتاه‌تر و توده زنده برداشت شده نیز بیشتر از گزارش این محققین بود. با این وجود، گزارش شده است لاروهای مگس سرباز سیاه تمایل به مصرف و جذب چربی بالایی دارند و این باعث ایجاد مقدار زیادی چربی موجود در بدن لارو می‌شود، به همین دلیل لارو مگس سرباز سیاه برای رشد و بقا برای ورود به مرحله بزرگسالی و بلوغ نیاز به تجمع چربی بالا در مرحله لاروی دارد (Nguyen *et al*., 2015).

مطالعات پیشین حاکی از آن است که لاروهای مگس سرباز سیاه توانایی رشد در انواع مختلف بسترها، از جمله ضایعات غذایی و محصولات جانبی کشاورزی را دارند؛ این موضوع نشان‌دهنده قابلیت بالای این لاروها در تبدیل پسماندهای کم‌ارزش به زیست‌توده‌ای با ارزش می‌باشد (Oonincx *et al*., 2010). در تحقیق حاضر نیز، لاروهای پرورش یافته بر روی ترکیب غذایی ارائه شده به خوبی تغذیه شدند و در مدت زمان کمتری رشد کرده و قابل برداشت بودند. عوامل متعددی در ایجاد و راه‌اندازی یک سیستم پرورش مگس سرباز سیاه موثرند و بر نحوه تغذیه و رشد این حشره تاثیر می‌گذارند؛ این عوامل می‌تواند شامل دفعات تغذیه لارو، میزان تغذیه لارو، اندازه ذرات جیره غذایی، نوع و عمق بستر، رطوبت بستر، تراکم لارو و شرایط پرورش مانند رطوبت و دما باشد (Holmes *et al*., 2012).

در تحقیق حاضر پرورش لاروها در محیطی با دمای نسبی ۲۷ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد بود. هرچند، گزارش شده است رطوبت نسبی ۲۵ درصد، باعث افزایش نرخ خشک‌شدن و نرخ مرگ و میر در تخم‌های مگس سرباز سیاه شد ولی در رطوبت ۷۰ درصد، لاروهای دو تا سه روزه بیشتری نسبت به لاروهای در معرض سطوح پایین‌تر رطوبت، زنده بودند (Holmes *et al*., 2012). بنابراین، در رطوبت‌های بالاتر، شانس یک کلنی موفق بیشتر است. همچنین گزارش شده است که در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد طول عمر لاروها، پیش شفیرگی، شفیرگی و بالغین بهترین شرایط دمایی بود ولی هنگامی که دما به آستانه بالاتر از ۳۰–۳۶ درجه سانتی‌گراد رسید، رشد مگس سرباز سیاه به شدت مهار شد (Tomberlin *et al*., 2009).

جدول ۱. وزن نهایی لارو، طول دوره پرورش، میزان خوراک مصرفی، نرخ تبدیل خوراک لارو مگس سرباز سیاه در طول دوره پرورش

وزن تخم لارو (گرم)	طول دوره لاروی(روز)	وزن لارو زنده ریز (کیلوگرم)	وزن لارو زنده درشت (کیلوگرم)	وزن لارو خشک (کیلوگرم)	خوراک مصرفی (کیلو گرم)	ضریب تبدیل	طول لارو (سانتی متر)	وزن هر لارو زنده (گرم)
۸۵	۱۵	۲/۱۴۴	۱۴۹	۶۳/۵	۶۶۰	۴/۴	۲	۰/۲۴±۰/۰۲

بستر لاروها در سه روز اول سبوس گندم و در روزهای بعد پسماند رستوران شامل نان خشک و برنج.

خوراک مصرفی بر حسب (as fed).

به ازای ۸۵ گرم تخم پرورش داده شده، ۶۳/۵ کیلوگرم لارو خشک‌شده برداشت شد. از طرفی به ازای هر کیلوگرم خوراک مصرف شده ۲۲۵/۷۶ گرم لارو (گرم وزن تر) در طول دوره پروش تولید شد. گزارش شده است که به ازای هر کیلوگرم از سوبسترای خوراک مرغ‌های تخمگذار (محتوی ۱۵/۵ درصد پروتئین)، ضایعات سبزیجات تازه، مواد هضم شده حاصل از تخمیر بیوگاز و پسماند رستوران (شامل برنج، پاستا، سیب‌زمینی و سبزیجات) به ترتیب ۲۱۹/۸۰، ۹۰/۸۰، ۱۴۰/۳۰ و ۱۵۴/۱۰ گرم لارو (گرم وزن تر) تولید شد (Spranghers *et al*., 2017). مقایسه نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تولید لارو به مراتب بیشتر از گزارش مذکور است؛ به عبارت دیگر صرف نظر از شرایط پرورش و نگهداری و سویه لاروها، این نتایج نشان می‌دهد که سوبسترا یا بستر مورد استفاده در تغذیه لاروها می تواند نقش مهمی در تولید لاروها داشته باشد.

وزن لارو در پرورش انبوه نقش اساسی دارد، زیرا مستقیماً بر میزان تولید تاثیر گذاشته و از نظر اقتصادی می‌تواند عامل مهمی محسوب شود (Niknia *et al*., 2023). از جمله فواید پرورش حشرات به‌عنوان منبع غذایی برای دام، می‌توان به بازدهی بالای تبدیل خوراک در آن‌ها اشاره کرد (van Huis, 2013). طبق گزارش برخی محققین در مرحله بلوغ، این حشره تغذیه چندانی ندارد و انرژی مورد نیاز خود را از ذخیره غذایی که در مرحله لاروی جمع‌آوری کرده است، تامین می‌کند (Tomberlin *et al*., 2002). در مطالعه حاضر، میانگین وزن لارو برداشت شده ۰/۲۴ گرم و طول لارو دو سانتی‌متر بود (جدول ۱) در حالی که (Moula *et al*., 2018) وزن لارو تازه را ۰/۱۴ گرم و طول آن را دو سانتی‌متر گزارش کردند. در مطالعه‌ای که تاثیر منابع غذایی مختلف بر شاخص‌های زیستی مگس سرباز سیاه بررسی شد محققین نشان دادند که منابع غذایی مختلف می‌تواند بر طول دوره شفیرگی و طول دوره لاروی مگس سرباز سیاه تاثیر معنی‌داری داشته باشد به طوری که بیشترین زمان رشد و نمو لاروی در جیره غذایی ضایعات سیب و موز مشاهده شد (Niknia *et al*., 2023).

نتایج مربوط به ترکیب شیمیایی لاروهای پرورش‌یافته در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین پروتئین‌خام لارو در مطالعه حاضر ۴۱/۷۱ درصد ماده خشک بود. ترکیب شیمیایی لارو مگس سرباز سیاه به رژیم غذایی آن بستگی دارد و غنی از مواد مغذی و سرشار از پروتئین و چربی است (Gutiérrez *et al*., 2004). میزان مواد معدنی لارو مگس سرباز سیاه بالا و ماده خشک، میزان کلسیم و فسفر بسته به گونه متفاوت است (Newton *et al*., 1977; St-Hilaire *et al*., 2007a). مقادیر متفاوتی از درصد پروتئین لارو مگس سرباز سیاه توسط برخی محققین گزارش شده است؛ به‌نحوی که (Cummins Jr *et al*., 2017) درصد بالایی از پروتئین (۵۲/۰۳ درصد)، (Lu *et al*., 2025) درصد متوسط (۴۰/۸۱ درصد) و (Barroso *et al*., 2014) درصد کمتری (۳۶/۲۰ درصد) را گزارش کردند. بستر استفاده شده در طول پرورش لارو می‌تواند روی محتوای پروتئین خام لارو موثر باشد؛ به‌نحوی که پروتئین خام لارو در بسترهای خوراک تجاری استارتر جوجه، مخلوط خوراک تجاری استارتر جوجه با کنجاله سویا و گندم، پسماند کارخانجات آبجو سازی، ضایعات صدف، کنجاله منداب و ضایعات میگو به ترتیب ۴۳/۶۰، ۴۳/۴۰، ۵۹/۸۰، ۴۸/۴۰، ۵۱/۵۰ و ۴۹/۵۰ درصد گزارش شده است (Eggink *et al*., 2022). همچنین میزان پروتئین خام لارو در بسترهای خوراک مرغ‌های تخمگذار (محتوی ۱۵/۵ درصد پروتئین)، ضایعات سبزیجات تازه، مواد هضم شده حاصل از تخمیر بیوگاز یا پسماند رستوران (شامل برنج، پاستا، سیب‌زمینی و سبزیجات) به ترتیب ۴۱/۲۰، ۴۲/۲۰، ۳۹/۹۰ و ۴۳/۱۰ درصد ماده خشک بود (Spranghers *et al*., 2017). میزان پروتئین خام لارو در تحقیق حاضر در محدوده گزارش شده بود. برخی مطالعات (Oonincx *et al*., 2015; Lim *et al*., 2019)، نشان داد که وزن نهایی لارو و نرخ تبدیل خوراک با مقدار پروتئین با بسترهای (نوع سوبسترا) پرورش ارتباط مستقیم دارد.

لارو بیشتر گونه‌های حشرات دارای نسبت بالایی از پروتئین هستند و در مقایسه با پروتئین کنجاله سویا می‌توانند به‌عنوان یک منبع پروتئینی در تغذیه دام و طیور مورد توجه قرار گیرند (Barroso *et al*., 2014). بنابر گزارش برخی محققین (Cummins Jr *et al*., 2017) میزان پروتئین لارو مگس سرباز تقریباً ۲۱ درصد کمتر از پودر ماهی است. با این حال، نتایج مطالعه (Barroso *et al*., 2014) نشان می‌دهد که میزان پروتئین حشرات به طور کلی کمتر از پودر ماهی و مشابه کنجاله سویا است.

جدول ۲. ترکیبات شیمیایی لارو مگس سرباز سیاه (برحسب درصد ماده خشک؛ انحراف معیار± میانگین)

ماده خشک	پروتئین خام	خاکستر	چربی خام	NDF	ADF	NFC	کیتین
۸۳/۳۱±۰/۹۱	۴۱/۷۱±۰/۰۱۳	۷/۷۵±۰/۱۹۴	۳۵/۰۱±۰/۳۹	۱۱/۰۳±۰/۰۲	۶/۳۲±۰/۰۳	۴/۵۱±۰/۰۱	۶/۲۵±۰/۱۸

بستر لاروها در سه روز اول سبوس گندم و در روزهای بعد پسماند رستوران شامل نان خشک و برنج.

NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی؛ ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی؛ NFC: کربوهیدرات‌های غیر الیافی

NFC= 100-(NDF+CP+EE+Ash)

میانگین کیتین موجود در لارو مگس سرباز سیاه در مطالعه حاضر ۶/۲۵ درصد ماده خشک بود. در حالی که (Lu *et al*., 2025) میزان کیتین لارو را ۷۷/۸۳ گرم در کیلوگرم ماده خشک (۷/۸۳ درصد) گزارش کردند. همچنین، برخی محققین ، میزان کیتین لارو مگس سرباز سیاه در پنج روز اول لاروی را ۳/۷۰ درصد و در لاروهای مسن‌تر (۱۲ روز) تا ۵/۱۰ درصد گزارش کردند (Eggink *et al*., 2022). علاوه بر تفاوت در میزان کیتین در مراحل مختلف رشد لارو، بستر مورد استفاده نیز بر میزان کیتین موثر است؛ گزارش شده است که کیتین لارو در بسترهای خوراک تجاری استارتر جوجه، مخلوط خوراک تجاری استارتر جوجه با کنجاله سویا و گندم، پسماند کارخانجات آبجو سازی، ضایعات صدف، کنجاله منداب و ضایعات میگو به ترتیب ۵/۱۰، ۵/۱۰، ۴/۷۰، ۲/۶۰، ۴/۷۰ و ۴/۱۰ درصد ماده خشک بود (Eggink *et al*., 2022). همچنین میزان کیتین لارو در بسترهای خوراک مرغ‌های تخمگذار (محتوی ۱۵/۵ درصد پروتئین)، ضایعات سبزیجات تازه، مواد هضم شده حاصل از تخمیر بیوگاز یا پسماند رستوران (شامل برنج، پاستا، سیب‌زمینی و سبزیجات) به ترتیب ۶/۲۰، ۴/۰۱، ۳/۷۷ و ۴/۰۷ درصد ماده خشک بود (Spranghers *et al*., 2017). میزان کیتین لارو در مطالعه حاضر در محدوده گزارش شده توسط این محققین بود هرچند میزان آن تا حدودی کمتر از مقدار گزارش شده (۸/۷۰ درصد) توسط برخی محققین بود (Diener et al., 2009; Lu *et al*., 2025). حضور کیتین در لارو حشره ممکن است سبب تخمین بالا سری میزان پروتئین در لارو شود این مقدار مازاد ۲۰ تا ۲۵ گرم در کیلوگرم (۲ تا ۲/۵ درصد) برآورد شده است (Spranghers *et al*., 2017). هرچند پیشنهاد شده است مقدار نیتروژن موجود در کیتین (نیتروژن موجود در ان– استیل گلوکز آمین، زیرواحد پلیمر کیتین) نسبتاً کم است، و بنابراین، محتوای نیتروژن ممکن است تخمین معقولی از کل پروتئین در حشرات ارائه دهد (Finke, 2002).

میانگین چربی خام لارو مگس سرباز سیاه پرورش‌یافته در بستر پسماند رستوران (شامل نان خشک و برنج) در مطالعه حاضر ۳۵/۰۱ درصد بود. چربی خام لارو مذکور در بستری از جلبک قهوه‌ای [6] ، ۳۵/۴ درصد گزارش شده است (Liland *et al*., 2017)؛ این مقدار چربی خام لارو با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. مرحله رشد مگس سرباز سیاه یکی از عواملی است که می‌تواند بر ترکیب چربی لارو تاثیر بگذارد؛ به‌نحوی‌که میزان چربی خام لاروهای پنج روزه ۸/۵۰ درصد ماده خشک و در سنین بالاتر (۱۲ روز) تا ۳۹/۹۰ درصد افزایش داشته است (Eggink *et al*., 2022). از طرفی، درصد چربی پیش‌شفیره مگس سرباز سیاه ۳۳/۱۰ درصد گزارش شده است (St-Hilaire *et al*., 2007a). علاوه بر مرحله رشد، نوع غذای مصرف شده توسط حشرات نیز یکی دیگر از عوامل مهمی است که می‌تواند ترکیب شیمیایی لاروها را تحت تاثیر قرار دهد (Barroso *et al*., 2014). به‌نحوی که چربی خام لارو در بسترهای خوراک تجاری استارتر جوجه، مخلوط خوراک تجاری استارتر جوجه با کنجاله سویا و گندم، پسماند کارخانجات آبجو سازی، ضایعات صدف، کنجاله منداب و ضایعات میگو به ترتیب ۳۲/۹۰، ۲۷/۰۰، ۲۲/۴۰، ۲۱/۶۰، ۲۴/۵۰ و ۲۲/۹۰ درصد ماده خشک گزارش شده است (Eggink *et al*., 2022). هرچند، (Shumo *et al*., 2019) نشان دادند که بستر مورد استفاده در پرورش لاروها می‌تواند میزان چربی خام لارو را تحت تاثیر قرار دهد ولی مقادیر گزارش شده بسیار کمتر از نتایج تحقیق حاضر و

6. *Ascophyllum nodosum*

بسیاری از محققین دیگر بود، به‌نحوی که در بستر کود مرغی، پسماند آشپزخانه و پسماند کارخانه های آبجوسازی به ترتیب ۲/۷۰، ۷/۲۰ و ۷/۲۰ درصد گزارش شده است. این مقادیر بسیار کمتر از مقادیر گزارش شده برای چربی خام لارو است. همچنین میزان چربی لارو مگس سرباز تقریباً ۳۹ درصد بیشتر از پودر ماهی گزارش شده است (Cummins Jr *et al*., 2017). لذا لارو مگس سرباز سیاه به دلیل داشتن چربی بالا، می‌تواند به‌عنوان یک منبع غذایی غنی از انرژی برای دام و طیور مورد استفاده قرار گیرد (Liland *et al*., 2017).

میانگین خاکستر لارو در مطالعه حاضر ۷/۷۵ درصد بود. در بررسی تاثیر چهار رژیم غذایی بر محتویات بدن لارو مگس سرباز سیاه، درصد خاکستر ۷/۶ درصد (Pourfathollah *et al*., 2022) گزارش شده است که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد اما برخی محققین درصد خاکستر را کمتر (۲/۷۰ درصد؛ Spranghers *et al*., 2017) و حتی ۸/۲۹ درصد (Lu *et al*., 2025) و ۲۲/۴۹ درصد (Gautam *et al*., 2025) گزارش کردند. میزان خاکستر در لارو مگس سرباز سیاه با توجه به منبع مورد استفاده به‌عنوان بستر تغذیه، متفاوت گزارش شده است؛ لاروهای پرورش یافته در بستر پسماند غذایی چومین[7] ۵/۴۵ درصد و در بستر کنجاله منداب ۲۲/۴۹ درصد بود (Gautam *et al*., 2025) درحالی‌که در بستر کود مرغی، پسماند آشپزخانه و پسماند کارخانه‌های آبجوسازی به ترتیب ۲۰/۲۰، ۷/۲۰ و ۶/۲۰ درصد (Shumo *et al*., 2019) و در بسترهای خوراک مرغ‌های تخمگذار، ضایعات سبزیجات تازه، مواد هضم شده حاصل از تخمیر بیوگاز یا پسماند رستوران به ترتیب ۱۰/۰۰، ۱۹/۷۰، ۹/۶۰ و ۲/۷۰ درصد بود (Spranghers *et al*.,2017). میزان خاکستر لارو پرورش یافته روی پسماند رستوران در این گزارش بسیار کمتر از نتایج تحقیق حاضر بود (۲/۷۰ در برابر ۷/۷۵ درصد). دلایل متعددی ممکن است باعث این تفاوت در میزان خاکستر لاروها باشد که یکی از محتمل‌ترین آنها استفاده از منابع مختلف به‌عنوان بستر جهت تغذیه لاروها و آلودگی احتمالی لاروهای مورد آزمایش با بستر تغذیه باشد. میزان خاکستر لارو مگس سرباز سیاه در پژوهش حاضر بیشتر از کنجاله سویا (۷۱/۹ گرم بر کیلوگرم) و کمتر از پودر ماهی (۱۷۱/۵ گرم بر کیلوگرم) گزارش شده توسط (NRC, 2001) بود.

میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) لارو مگس سرباز سیاه ۱۱/۰۳ درصد بود. میزان NDF با توجه به منبع مورد استفاده به‌عنوان بستر تغذیه، از ۹ تا ۵۰ درصد متفاوت گزارش شده است؛ به‌نحوی که لاروهای پرورش یافته در بستر پسماند غذایی چومین + کنجاله منداب ۹/۷۷ درصد و در بستر ضایعات لوبیا و ضایعات لوبیا + کنجاله منداب ۲۲/۷۸ درصد گزارش شده است (Gautam *et al*., 2025). مقادیر گزارش شده NDF توسط این محققین زمانی که از ضایعات غذایی چومین (۱۰/۱۷) و ضایعات ساقه موز (۱۰/۲۸) به‌عنوان بستر تغذیه استفاده شد، با مقادیر مطالعه حاضر همخوانی داشت. بر خلاف این نتایج، محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی لارو مذکور در بستر کود مرغی (۳۵/۵۰ درصد)، پسماند آشپزخانه (۳۸/۹۰ درصد)، و پسماند کارخانه‌های آبجوسازی (۴۹/۹۰ درصد) گزارش شده است (Shumo *et al*., 2019). این مقادیر به مراتب بیشتر از درصدهای گزارش شده در تحقیق حاضر و محققین دیگر است.

میانگین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) لارو مگس سرباز سیاه ۶/۳۲ درصد بود. میزان ADF با توجه به نوع بستر استفاده شده برای تغذیه، از ۵ تا ۳۹ درصد متفاوت گزارش شده است؛ میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در لارو مگس سرباز سیاه پرورش یافته در بستر ضایعات ساقه موز ۵/۶۵ درصد و در بستر ضایعات لوبیا ۱۵/۸۵ درصد گزارش شده است (Gautam *et al*., 2025). مقادیر گزارش شده ADF توسط این محققین زمانی که از ضایعات غذایی چومین + کنجاله منداب (۶/۵۴ درصد) و ضایعات ساقه موز (۵/۶۵ درصد) به‌عنوان بستر تغذیه استفاده شد، با مقادیر مطالعه حاضر همخوانی داشت. محتوای میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی گزارش شده توسط (Shumo *et al*., 2019) برای لاروهای مگس سرباز سیاه پرورش یافته در بستر کود مرغی (۱۸/۳۰ درصد)، پسماند آشپزخانه (۲۵/۲۰ درصد) و پسماند کارخانه‌های آبجوسازی (۳۸/۶۰ درصد) نیز بیشتر از مقادیر گزارش شده توسط سایر محققین و نتایج تحقیق حاضر بود. این نتایج نشان میدهد که سوبسترای مورد استفاده لاروها در طول دوره پروش نیز می تواند بر میزان ADF لارو موثر باشد.

7.Chowmein food waste (Bharatpur, Nepal)

در مطالعه حاضر، میانگین کربوهیدرات‌های غیر فیبری (NFC) لارو مگس سرباز سیاه ۴/۵۱ درصد بود. در حالی که، میزان NFC توسط (Barroso *et al*., 2014) ۳۶/۵۰ درصد گزارش شده است. این مقدار بسیار بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در مطالعه ما بود. در مطالعات محققین میزان NFC نیز با توجه به دوره رشد لارو متفاوت گزارش شده است. به‌عنوان مثال گزارش شده است که NFC لاروهای پنج روزه ۲۳/۰۰ درصد ماده خشک و در سنین بالاتر (۱۲ روز) تا ۲۰/۸۰ درصد افزایش نشان داد (Eggink *et al*., 2022). نوع بستر استفاده شده جهت پرورش نیز روی میزان NFC لارو نیز موثر است؛ به‌نحوی که در بسترهای خوراک تجاری استارتر جوجه، مخلوط خوراک تجاری استارتر جوجه با کنجاله سویا و گندم، پسماند کارخانجات آبجوسازی، ضایعات صدف، کنجاله منداب و ضایعات میگو به ترتیب ۱۳/۵۰، ۲۰/۸۰، ۷/۷۰، ۷/۱۰، ۹/۰ و ۱۱/۸۰ درصد ماده خشک گزارش شده است (Eggink *et al*., 2022).

نتایج پروفایل اسیدهای آمینه در جدول ۳ نشان داده شده است. لارو مگس سرباز سیاه محتوی غلظت‌های بالایی از اسیدهای آمینه ضرروری نظیر متیونین، آرجنین، لیزین و هیستیدین بود. مقادیر قابل توجهی از اسیدهای آمینه غیر ضروری نظیر والین، تیروزین، آسپارتیک و گلوتامیک اسید نیز در لارو مشاهده شد. کمترین مقدار اسیدهای آمینه مربوط به فنیل آلانین و غلظت آن کمتر از ۰/۰۱ درصد بود. نتایج مشابهی توسط برخی محققین (Cummins Jr *et al*., 2017; Lu *et al*., 2025) گزارش شده است. بنابر گزارش (Cummins Jr *et al*., 2017) غلظت اسیدهای آمینه آرجنین، لیزین، هیستیدین، ایزولوسین، لوسین، ترئونین و تیروزین به ترتیب ۲/۲۹، ۲/۷۱، ۱/۵۰، ۱/۸۷، ۳/۲۳، ۱/۷۰ و ۲/۲۵ درصد بود در حالی که در گزارش (Lu *et al*., 2025) این مقادیر برای اسیدهای آمینه متناظر ۱/۳۷، ۱/۴۲، ۰/۲۲، ۰/۷۱، ۱/۸۱، ۱/۰۰، ۱/۴۲ درصد بود. غلظت اسید آمینه فنیل آلانین در تحقیق حاضر به مراتب کمتر از مقادیر گزارش شده توسط این محققین بود (به ترتیب ۱/۶۳ و ۳ درصد در مقابل ۰/۰۱ درصد) هرچند میزان اسیدآمینه متیونین به مراتب بیشتر از گزارش‌های مذکور بود (به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۱۰ درصد در مقابل ۹/۷ درصد). میزان اسید آمینه فنیل آلانین در تحقیق حاضر نیز به مراتب کمتر از مقدار گزارش شده (متوسط ۱/۵۰ درصد) توسط (Eggink *et al*., 2022) در لاروهای تغذیه شده بر سوبستراهای مختلف بود. این محققین میزان متیونین (متوسط ۰/۶۸ درصد) لاروهای تغذیه شده بر سوبستراهای مختلف را کمتر از میزان تعیین شده در تحقیق حاضر گزارش کردند. درصد ترکیب اسیدهای آمینه لارو مگس سرباز سیاه تغذیه شده با کود حیوانی گزارش شده توسط (Barroso *et al*., 2014) به مراتب با نتایج تحقیق حاضر و نتایج (Cummins Jr *et al*., 2017; Lu *et al*., 2025) متفاوت بود. علاوه بر این، گزارش شده است که ارزش بیولوژیکی پروتئین لارو مگس سرباز سیاه حاوی مقادیر بالای هیستیدین، ترئونین، والین، ایزولوسین و لوسین مشخص می‌شود و همچنین منبع بسیار خوبی از اسیدهای آمینه حاوی متیونین، سیستئین و لیزین است (Tyshko *et al*., 2021).

جدول ۳. ترکیب اسیدهای آمینه لارو مگس سرباز سیاه

فرا سنجه	درصد	فرا سنجه	درصد
آسپارتیک اسید	۱/۹	تیروزین	۲/۰
گلوتامیک اسید	۲/۰	متیونین	۹/۷
سرین	۰/۳	والین	۳/۰
هیستیدین	۱/۷	فنیل آلانین	۰/۰۱
گلایسین	۱/۵	ایزو لوسین	۰/۸
ترئونین	۰/۶	لوسین	۰/۵
آرژنین	۳/۰	لیزین	۲/۰
آلانین	۲/۶		

تحقیقات اخیر نشان می‌دهد، هنگامی که بستر غذایی در طول پرورش لارو تغییر می‌کند، پروفیل اسیدهای آمینه لارو به طور قابل توجهی از نظر کیفی و کمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Krèoncke & Benning, 2023)؛ به‌نحوی که درصد ترکیب اسیدهای آمینه در لاروهای تغذیه شده با کود گاوی (Newton *et al*., 1977) نسبت به لاروهایی که با کود خوکی (Newton *et al*., 2005) تغذیه شدند، اندکی بیشتر باشد. در مطالعه ما، سطوح اسید آمینه ضروری در لارو مگس سرباز سیاه پرورش یافته بر روی بستر

سلف سرویس بیشتر از سطوح اسیدهای آمینه ضروری متیونین (۰/۸۳)، والین (۲/۲۳)، آرژنین (۱/۷۷)، هیستیدین (۰/۹۶) در لاروهای مگس سرباز سیاه تولید شده بر روی کود خوکی (Newton *et al*., 2005) بود. غلظت متیونین لارو مگس سرباز سیاه در مطالعه حاضر از متیونین لارو مگس سرباز سیاه پرورش یافته روی کود مرغی (۶/۱)، پسماند آشپزخانه (۷/۹) و پسماند کارخانه‌های آبجوسازی (۷/۴) گزارش شده توسط (Shumo *et al*., 2019) بیشتر بود. هرچند، میزان لیزین با نتایج گزارش شده توسط (Gutiérrez *et al*., 2004) همخوانی داشت. برخلاف این نتیجه‌گیری مبنی بر تاثیر سوبسترای مورد تغذیه بر درصد ترکیب اسیدهای آمینه لارو، (Eggink *et al*., 2022) با مطالعه روند تغییرات اسیدهای آمینه در لارو مگس سرباز سیاه تغذیه شده با بسترهای مختلف نشان دادند که پروفیل اسیدهای آمینه لاروها تنها اندکی تحت تأثیر بسترهای پرورشی قرار گرفتند، اما عمدتاً به نظر می‌رسد که در محدوده نزدیک به هم باشند، لذا نتیجه گرفتند که ترکیب اسیدهای آمینه عمدتاً تحت تأثیر رژیم غذایی یا مراحل زندگی قرار نمی‌گیرد.

مطالعات جامع ارزش بیولوژیکی پروتئین لارو مگس سرباز سیاه نشان‌دهنده محتوای پروتئین بالا، ترکیب اسید آمینه متعادل و ارزش بیولوژیکی بالا است، به‌نحوی که می‌توان این لارو را به‌عنوان منبع بالقوه پروتئین کامل رژیم غذایی در نظر گرفت (Tyshko *et al*., 2021). یکی از دلایل اصلی که پروتئین‌های حشرات را مطلوب جلوه می‌کند، ترکیب مناسب اسیدهای آمینه آنهاست (Jozefiak & Engberg, 2015). با این حال، ارزش غذایی یک منبع پروتئینی تنها توسط مقدار اسیدهای آمینه تعیین نمی‌شود، بلکه قابلیت هضم و دسترسی اسید آمینه نیز اهمیت به‌سزایی دارد (Boland *et al*., 2013).

نتایج ترکیب اسیدهای چرب لارو مگس سرباز سیاه در جدول ۴ نشان داده شده است. در این مطالعه، اسیدهای لوریک و پالمتیک (به ترتیب ۴۸/۲۶ و ۱۴/۲۲) بالاترین مقادیر اسیدهای چرب اشباع شده را تشکیل دادند. نتایج مشابهی را (St-Hilaire *et al*., 2007a) گزارش کردند. اسید لوریک یک اسید چرب با زنجیره متوسط است که در بدن به مونولورین تبدیل می‌شود. مونولورین یک اسید چرب ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ضد قارچی است. اسید لوریک همچنین دارای فعالیت آنتی اکسیدانی بالایی است (Lieberman *et al*., 2006). گزارش شده است که این اسید چرب فرار نقش مهمی در ایجاد میکروفلور سالم در دستگاه گوارش حیوانات داشته (Khempaka *et al*., 2011) و طیف وسیعی از خواص ضد میکروبی را نشان داده است (Kumar *et al*., 2021).

بنابر گزارش برخی محققین، اسید لوریک بیشترین مقدار اسیدهای چرب اشباع لارو مگس سرباز پرورش‌یافته در سوبستراهای مختلف بود (Eggink *et al*., 2022). نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع در لارو مگس سرباز سیاه به مراتب کمتر بود. اسید اولئیک و اسید لینولئیک بیشترین غلظت اسیدهای چرب غیر اشباع را تشکیل دادند و نسبت اسید لینولئیک به اسید لینولنیک ۱۰ به ۱ بود. مجموع اسیدهای چرب ترانس بسیار ناچیز و حدود ۰/۱۰ درصد بود. مقادیر اسیدهای چرب اشباع در لارو مگس سرباز سیاه در تحقیق حاضر با نتایج گزارش شده توسط برخی محققین (St-Hilaire *et al*., 2007a; Barroco *et al*., 2017)) مطابقت داشت؛ به‌نحوی که مقادیر اسیدهای چرب ۱۲:۰، ۱۴:۰، ۱۶:۰ و ۱۸:۰ به ترتیب ۴۳/۴۰، ۷/۹۰، ۱۳/۲۰، ۲/۸۰ درصد گزارش شده است (Barroco *et al*., 2017). مقادیر اسیدهای چرب متناظر برای پیش‌شفیره مگس سرباز سیاه پرورش یافته روی کود خوک به ترتیب ۴۹/۳۴، ۶/۸۳، ۱۰/۴۸ و ۲/۷۸ درصد بود (St-Hilaire *et al*., 2007b).

جدول ٤. ترکیب اسیدهای چرب لارو مگس سرباز سیاه (درصدی از کل اسید چرب)

نام عمومی	عدد لیپیدی	درصد اسید چرب
اسیدهای چرب اشباع		
کاپریلیک اسید	C8:0	۰/۰۳
کاپریک اسید	C10:0	۱/۰۵
لوریک اسید	C12:0	۴۸/۲۶
میریستیک اسید	C14:0	۹/۶۶
پنتادسیلیک اسید	C15:0	۰/۰۴
پالمیتیک اسید	C16:0	۱۴/۲۲
مارگاریک اسید	C17:0	۰/۰۸

جدول ٤. ترکیب اسیدهای چرب لارو مگس سرباز سیاه (درصدی از کل اسید چرب)

نام عمومی	عدد لیپیدی	درصد اسید چرب
اسید استئاریک	C18:0	۲/۵۱
آراشیدیک اسید	C20:0	۰/۰۵
اسید چرب غیر اشباع		
تترادسنوئیک اسید	C14:1-n5	۰/۲۱
پالمیتولئیک اسید	C16:1-n7	۳/۲۰
هپتادسنوئیک اسید	C17:1-n7	۰/۰۹
ترانس اولئیک اسید	Trans-C18:1-n9	۰/۱۰
اولئیک اسید	C18:1-n9	۱۲/۱۹
لینولئیک اسید	C18:2-n6	۷/۱۱
گاما- لینولئیک اسید	C18:3-n6	۰/۱۵
آلفا-لینولنیک اسید	C18:3-n3	۰/۷۱
ایکوسنوئیک اسید	C20:1-n9	۰/۱۷
ایکوسا تری انوئیک اسید	C20:3-n3	۰/۱۶
مجموع اسیدهای چرب ترانس		۰/۱۰
مجموع اسیدهای چرب اشباع		۷۵/۹۰
مجموع اسیدهای چرب غیر اشباع		۲۴/۰۹

مقادیر اسیدهای چرب غیر اشباع در لارو مگس سرباز سیاه در تحقیق حاضر نیز با نتایج گزارش شده توسط برخی محققین قابل مقایسه است؛ گزراش شده است که غلظت اسیدهای چرب در لارو مگس سرباز سیاه n۷ ۱۶:۱، n۹ ۱۸:۱، n۹ ۲۰:۱، n۶ ۱۸:۲ و n۶ ۱۸:۳ به ترتیب ۲/۳۰، ۱۴/۶۰، صفر، ۱۵/۲۰و صفر درصد بود (Barroco *et al*., 2017). مقادیر متناظر اسیدهای چرب در پیش‌شفیره مگس سرباز سیاه پرورش یافته روی کود خوک به ترتیب ۳/۴۵، ۱۱/۸۱، ND[۸]، ۳/۶۸ و ۰/۰۸ درصد گزارش شده است (St-Hilaire *et al*., 2007b). تفاوت‌های قابل توجهی در بین این گزارش‌ها با نتایج تحقیق حاضر در مورد برخی از اسیدهای چرب غیر اشباع مشاهده می‌شود. این تفاوت در مقایسه با گزارش (Barroco *et al*., 2017) به‌نحوی است که غلظت n۹ ۱۸:۱ در تحقیق حاضر به مراتب بیشتر (۱۲/۱۹ در مقابل صفر درصد) و غلظت n۶ ۱۸:۲ کمتر (۷/۱۱ در مقابل ۱۵/۲۰ درصد) از نتایج این محققین بود.

به طور خاص، لاروهای پرورش یافته بر روی بستر مواد دریایی دارای سهم نسبتاً بالاتری از اسیدهای چرب امگا ۳، به ویژه اسید ایکاساپنتانوئیک (۰/۸۰ درصد، EPA)، نسبت به سایر سوبستراها دارند که نشان‌دهنده حضور این اسیدهای چرب در آنها است (Eggink *et al*., 2022). با این حال، محتوای اسیدهای چرب لارو حشرات بسیار متفاوت از پودر ماهی است که سرشار از امگا-۳، به ویژه ۱۴ درصد اسیدهای چرب ایکاساپنتانوئیک و ۱۶ درصد دوکاساهگزانوئیک (DHA) است که در لارو حشرات وجود ندارد (یا بسیار محدود است)، و این درحالی است که لارو حشرات نسبت‌های بالاتری از امگا- ۶ و اسیدهای چربی غیراشباع یگانه دارند (Barroso *et al*., 2014). مقادیر اسیدهای چرب ۱۲:۰، ۱۴:۰، ۱۶:۰ و ۱۸:۰ در پودر ماهی به ترتیب صفر، ۷/۹۰، ۲۳/۰۰ و ۵/۳۰ درصد و کنجاله سویا به ترتیب ۴/۱۰، صفر، ۱۵/۱۰ و ۴/۸۰ درصد گزارش شده است (Barroco *et al*., 2017).

در تحقیق حاضر، نکته جالب و قابل توجه در ترکیب اسیدهای چرب لارو مگس سرباز سیاه شناسایی اسید مارگاریک (اسید هپتادکانوئیک) به‌عنوان یک اسید چرب با زنجیره فرد است که به‌عنوان یک اسیدچرب نادر و کمیاب چربی شیر و چربی بافت نشخوارکنندگان محسوب می شود (Stefanov *et al*., 2013). از طرفی مشتقات غیراشباع اسید مارگاریک به ندرت در گیاهان مشاهده شده است. اشباع نشدن زنجیره در این اسید چرب در موقعیت کربن شماره ۹ رخ می‌دهد و اسید هپتادسنوئیک (C17:1) را تشکیل می‌دهد. C17:1 cis-9 (ω-8) به مقدار کمی در چربی‌های نشخوارکنندگان (Alves *et al*., 2006). هرچند مقدار این

8Not detectable

اسید چرب غیر اشباع در لارو مگس سرباز سیاه بسیار کم (کمتر از یک درصد)است ولی جزو اسیدهای چربی است که به ندرت در طبیعت یافت می‌شود.

نتایج آزمایش بخش‌های مختلف پروتئین در لارو مگس سرباز سیاه براساس سیستم ارزشیابی کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل در جدول ۵ نشان داده شده است. برآورد بخش‌های پروتئینی و نرخ تجزیه آن‌ها برای اطمینان از تامین و تجزیه بهینه پروتئین در سیستم گوارشی نشخوارکنندگان حیاتی است (Kahraman *et al*., 2023). متعادل کردن جیره برای گاوهای شیرده شامل در نظر گرفتن پروتئین قابل تجزیه در شکمبه (RDP) و نیازهای بعد از شکمبه برای اسیدهای آمینه است. سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل (CNCPS) یک ابزار ارزشمند برای ارزیابی و فرموله‌کردن این جیره‌ها است که از پروتئین کافی برای میکروب‌های شکمبه (تخمیر) و نیازهای خود حیوان اطمینان می‌دهد و منجر به بهبود تولید شیر و سلامت کلی دام می‌شود (Higgs *et al*., 2023).

جدول ۵. بخش‌های مختلف پروتئینی لارو مگس سرباز سیاه، در سیستم ارزشیابی کربوهیدرات و پروتئین کرنل (درصدی از پروتئین خام)

B_2	ADIN	NDIN	C	B_3	BSN	B_1	A
۲۲±۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱
۶۸/	۳/۴۹±	۷/۵۸±	۳/۴۹±	۴/۰۸±	۲۴/۲۱±	۹/۶۲±	۱۴/۵۸±

A=NPN: نیتروژن غیر پروتئینی، B_1: پروتئین حقیقی با تجزیه پذیری سریع، B_2: پروتئین حقیقی با تجزیه پذیری متوسط، B_3 : پروتئین حقیقی با تجزیه پذیری کند، C: پروتئین حقیقی غیر قابل تجزیه، NDIN: نیتروژن نامحلول در شوینده خنثی، ADIN: نیتروژن نامحلول در شوینده اسیدی، BSN:نیتروژن محلول در بافر.

در خصوص بخش‌های مختلف پروتئین لارو مگس سرباز سیاه براساس این سیستم مطالعات بسیار محدودی انجام شده است. در مطالعه حاضر، بخش B_2 (۶۸/۲۱ درصد پروتئین) بیشترین بخش پروتئین را تشکیل داده است. این بخش با سرعتی متوسط در شکمبه تجزیه‌شده و بخشی از آن از شکمبه عبور کرده و به قسمت‌های پایین دستگاه گوارش وارد می‌شود. بخش A (۱۴/۵۸ درصد) که نیتروژن غیرپروتئینی است و بخش B_1 تنها ۹/۶۳ درصد پروتئین‌خام به‌عنوان پروتئین حقیقی با تجزیه‌پذیری سریع را تشکیل داد. بخش B_3 که میزان پروتئین عبوری است که با سرعت کمتری در شکمبه تجزیه‌شده و به قسمت‌های پایین دستگاه گوارش می‌رود تنها ۴/۰۹ درصد پروتئین‌خام را شامل شد. بخش C یا پروتئین غیر قابل‌دسترس و نامحلول در شوینده اسیدی کمترین (۳/۴۹ درصد) بخش پروتئین‌خام لارو مگس سرباز سیاه را تشکیل داد. به عبارتی جزء بسیار محدودی از پروتئین این لارو غیر قابل دسترس است و این انتظار می‌رود که بخش مهمی از پروتئین (B_2) پتانسیل تجزیه در محیط شکمبه را داشته باشد. بخش C پروتئین خوراک، همچنین به‌عنوان ADIP (پروتئین نامحلول در مواد شوینده اسیدی) شناخته می‌شود، حاوی پروتئین مرتبط با لیگنین، کمپلکس‌های تانن–پروتئین و محصولات میلارد است؛ این جزء در برابر آنزیم‌های میکروبی و پستانداران بسیار مقاوم بوده و در شکمبه غیر قابل هضم می باشد، در نتیجه، توسط باکتری‌های شکمبه تجزیه نمی‌شوند و اسیدهای آمینه در دسترس پس از تخمیر شکمبه را فراهم نمی‌کنند (Chaudhry & Webster, 1993).

بخش‌پذیری پروتئین به روش CNCPS نشان داد که بخش A لارو مگس سرباز سیاه نزدیک به مقادیر گزارش شده برای کنجاله سویا توسط برخی محققین (Khezri, 2013) بود. بخش B_1 پروتئین لارو در مطالعه حاضر در مقایسه با مقادیر گزارش شده (Khezri, 2013) برای کنجاله کنجد (۱۷/۰۷ درصد)، کنجاله سویا (۱۷/۶۴ درصد) و کنجاله پنبه دانه (۱۷/۲۱ درصد) که از منابع پروتئینی مهم در جیره دام محسوب می‌شوند، کمتر بود. اما بخش B_2 لارو در مقایسه با مقادیر گزارش شده توسط (Khezri, 2013) برای کنجاله کنجد (۴۳/۶۰ درصد)، کنجاله سویا (۳۹/۲۹ درصد) و کنجاله پنبه دانه (۶۳/۴۸ درصد) بالاتر بود. علت بالا بودن بخش B_2 پروتئین در لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با بخش B_3 پروتئین در کنجاله‌های پروتئینی رایج احتمالا به سبب تخریب پروتئین‌های بخش B_2 در اثر حرارت دادن ماده خوراکی و نامحلول شدن این بخش باشد و در این شرایط بخش‌های B_3 و C افزایش و بخش B_2 کاهش می‌یابد (Arieli *et al*., 1998). بخش B_3 پروتئین که بخش بسیار کوچکی از پروتئین موجود در جیره غذایی به‌ویژه منابع گیاهی را تشکیل می‌دهد، به دیواره سلولی متصل بوده و در شوینده خنثی نامحلول است، به عبارت دیگر این نوع پروتئین به سختی از سلول‌های گیاهی جدا شده و با فرآیندهای آزمایشگاهی استاندارد، قابل استخراج نیست. مقدار بخش

B_3 در لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با کنجاله‌های پروتئینی پر استفاده در جیره نشخوارکنندگان از جمله کنجاله سویا بالاتر بود (Kahraman *et al*., 2023).

عوامل متعددی بر میزان پروتئین خام خوراک‌هایی که در شکمبه تجزیه می‌شوند، تأثیر می‌گذارند؛ از مهمترین عامل پروتئین خوراک می‌توان به غلظت‌های متناسب به نیتروژن غیر پروتئینی (NPN)، پروتئین حقیقی و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پروتئین‌هایی که بخش پروتئین حقیقی خوراک را تشکیل می‌دهند، اشاره کرد (NRC, 2001). نیتروژن غیر پروتئینی (آمونیاک، پپتیدها و اسیدهای آمینه) به سرعت در شکمبه به آمونیاک تبدیل می‌شود. در این مطالعه، میزان NPN لارو مگس سرباز سیاه ۱۴/۵۸ درصد بود. در آنالیز مقایسه‌ای فراسنجه‌های تخمیر در شرایط برون‌تنی در جیره‌های کاملا مخلوط گاوهای شیری با سطوح مختلف لارو مگس سرباز سیاه بدون چربی به‌عنوان جایگزینی برای کنجاله سویا نشان داده شد که بخش A در جیره‌های محتوی لارو کمتر از جیره‌های فاقد لارو بود و تفاوتی بین جیره‌ها از لحاظ میزان کربوهیدرات‌های غیر فیبری مشاهده نشد (Kahraman *et al*., 2023). گزارش شده است که لارو مگس سرباز سیاه بدون چربی، قابلیت هضم شکمبه‌ای جیره‌های کاملا مخلوط را افزایش داد و تشکیل نیتروژن آمونیاکی در مقایسه با جیره‌های مشابه حاوی کنجاله سویا، کاهش داد (Kahraman *et al*., 2023). این محققین تفاوت مشاهده شده در تولید نیتروژن آمونیاکی بین جیره‌های حاوی لارو و کنجاله سویا را به عوامل مرتبط با بخش‌های پروتئینی و تجزیه‌پذیری آنها نسبت دادند.

در مورد پروتئین کنجاله سویا گزارش شده است که این کنجاله دارای سطح بالایی از پروتئین با تجزیه سریع است که منجر به افزایش تولید آمونیاک در شکمبه می‌شود و کاهش سطح آن در جیره منجر به کاهش تولید نیتروژن آمونیاکی می‌شود (Jeong *et al*., 2015). گزارش شده است که جایگزینی ۵۰ درصد کنجاله سویا با لارو مگس سرباز سیاه، سطح پروتئین خام جیره‌ها افزایش یافت ولی غلظت نیتروژن آمونیاکی شکمبه پایین بود (Das & Mandal, 2014). این محققین علت را در سطوح بالای B_1 (پروتئین با تجزیه سریع) و B_2 (پروتئین با تجزیه متوسط) در لارو دانستند. گزارش شده است که جایگزینی ۱۰ یا ۱۵ درصد کنجاله سویا با لارو مگس سرباز سیاه در جیره‌های با درصدهای مشابه پروتئین، سبب کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی در شکمبه چهار ساعت بعد از خوراکدهی شد (Lu *et al*., 2025). این محققین دریافتند که سطوح پایین لارو در جیره به نفع تولید نیتروژن آمونیاکی است، در حالی که سطوح بالای آن غلظت این فراسنجه را در شکمبه مهار می‌کند. از طرفی نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بخش A پروتئین لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با کنجاله‌های پروتئینی گزارش شده توسط (Tunkala *et al*., 2023) از جمله کنجاله سویا کمتر ولی بخش B_2 بیشتر بود.

میانگین داده‌های حاصل از ناپدیدشدن ماده خشک، پروتئین خام و ماده آلی لارو مگس سرباز سیاه در جدول۶ نشان شده است. روند تجزیه‌پذیری ماده خشک به‌نحوی بود که بیشترین میزان آن در ۴۸ ساعت انکوباسیون مشاهده شد و تا ۶۸ درصد آن از کیسه‌های نایلونی ناپدید شد. چنین روندی نیز در مورد تجزیه‌شدن ماده آلی و پروتئین خام نیز وجود داشت به‌صورتی که ۷۸ درصد ماده آلی و ۴۵ درصد پرتئین خام از کیسه‌های نایلونی ناپدید شدند. این نتایج نشان می‌دهد که لارو مگس سرباز سیاه از تجزیه‌پذیری قابل توجهی در محیط شکمبه برخوردار است و به‌عنوان یک منبع پروتئینی حدود نیمی از آن در این محیط، قابل تجزیه‌پذیر است. تجزیه‌پذیری ماده خشک لارو مگس سرباز سیاه برای مقادیر متناظر در ساعت‌های تجزیه‌پذیری از ۲ تا ۴۸ ساعت در مطالعه (Lu *et al*., 2025) برابر ۱۵/۱۵، ۱۸/۱۵، ۲۶/۱۰، ۳۱/۷۵، ۴۳/۳۰ و ۵۳/۱۵ درصد گزارش شده است؛ این نتایج با نتایج تحقیق حاضر (جدول ۶) روند متفاوتی را نشان می‌دهد و مقادیر گزارش شده به مراتب کمتر از نتایج تحقیق حاضر است. تجزیه‌پذیری پروتئین خام لارو مگس سرباز سیاه برای مقادیر متناظر در ساعت‌های ۲ تا ۴۸ ساعت در مطالعه (Lu *et al*., 2025) برابر ۱۲/۳۵، ۱۵/۸۰، ۲۱/۸۰، ۲۶/۷۰، ۳۶/۶۰ و ۴۵/۰۵ درصد گزارش شده است؛ علی‌رغم تفاوت جزئی در روند تجزیه‌پذیری، در پایان انکوباسیون میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام لارو، مشابه نتایج تحقیق حاضر بود. این محققین نشان دادندکه روند تجزیه‌پذیری پروتئین کنجاله سویا با لارو در ساعت‌های انکوباسیون متفاوت بود به‌نحوی که در ساعت ۲ انکوباسیون تنها ۰/۳ درصد و در ۴۸ ساعت ۳۴/۷۰ درصد مشاهده شد. نتایج تحقیق حاضر و این محققین نشان می‌دهد که تجزیه‌پذیری پروتئین لارو مگس سرباز سیاه بالاتر از کنجاله سویا در محیط شکمبه است. در مطالعه حاضر و محققین دیگر میزان تجزیه‌پذیری پروتئین

لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با ماده خشک پائین‌تر بود که می‌تواند به دلیل حضور پروتئین‌های با قابلیت هضم پائین‌تر یا ساختارهای مقاوم تر باشد.

جدول٦. میانگین تجزیه پذیری ماده خشک، پروتئین خام، ماده،آلی لارو مگس سرباز سیاه در زمان‌های مختلف انکوباسیون شکمبه (درصد ماده خشک)

	زمان‌های انکوباسیون (ساعت)						
فراسنجه	۰[1]	۲	۴	۸	۱۶	۲۴	۴۸
ماده خشک	۲۹/۷۹ ± ۰/۰۶	۳۳/۰۸ ± ۰/۱۳	۳۸/۴۶ ± ۱/۱۸	۴۳/۷۹ ± ۱/۸۷	۵۴/۹۲ ± ۱/۴۱	۶۲/۴۸ ±۰/۲۳	۶۸/۵۵ ± ۰/۵۷
پروتئین خام	۱۱/۵۷ ± ۰/۰۱	۲۰/۱۴ ± ۰/۰۶	۲۲/۳۷ ± ۰/۳۱	۲۶/۴۹ ±۰/۷۴	۳۳/۵۶ ±۰/۳۹	۳۹/۶۱ ± ۱/۳۴	۴۵/۱۲ ±۱/۲۴
ماده آلی	۳۱/۱۶ ± ۰/۰۳	۳۴/۵۴ ± ۰/۹۸	۳۹/۵۵ ±۰/۹۳	۴۷/۰۸ ±۱/۲۸	۵۶/۵۷ ±۰/۸۶	۶۷/۵۵ ± ۰/۹۷	۷۸/۰۹ ± ۰/۲۳

۱. Washing loss

مقادیر بخش سریع تجزیه(a)، بخش کند تجزیه(b)، ثابت نرخ تجزیه(c)، پتانسیل تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک، پروتئین خام و ماده آلی لارو مگس سرباز سیاه در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ در ساعت در جدول ۷ گزارش شده است. مقادیر a، b و c ماده خشک گزارش شده برای لارو مگس سرباز سیاه توسط (Lu *et al*., 2025) برابر ۱۱/۸۰، ۴۷/۳۵ و ۰/۰۵ بود که با نتایج تحقیق حاضر متفاوت است؛ به‌نحوی که ضریب تجزیه‌پذیری بخش محلول به مراتب از نتایج ما کمتر و ضریب تجزیه‌پذیری بخش غیر محلول آن از نتایج تحقیق حاضر بیشتر بود. پتانسیل تجزیه‌پذیری (a+b) ماده خشک لارو گزارش شده توسط این محققین نیز به مراتب کمتر از نتایج حاضر است (۵۹/۱۵ در مقابل ۷۰/۵۸). مقادیر a، b و c پروتئین خام گزارش شده برای لارو مگس سرباز سیاه توسط این محققین برابر ۸/۵۵، ۴۰/۲۰ و ۰/۰۵ بود که با نتایج ما نیز متفاوت است.

اختلاف نسبتا زیاد بین بخش غیر محلول (b) ماده خشک و ماده آلی با توجه به نوع نمونه مورد آزمایش لارو مگس سرباز سیاه، قابل توجیه نبود. پتانسیل تجزیه‌پذیری پروتئین خام لارو گزارش شده توسط (Lu *et al*., 2024) بیشتر از نتایج حاضر بود (۴۸/۷۵ در مقابل ۴۳/۹۷). علی‌رغم تفاوت در نتایج این محققین و مطالعه حاضر، نتایج نشان می‌دهد که پتانسیل تجزیه‌پذیری پروتئین خام لارو مذکور بین ۴۳ تا ۴۹ درصد می‌باشد که با مقدار گزارش شده برای پروتئین خام کنجاله سویا (۴۶/۴۵؛ Lu *et al*., 2024) قابل مقایسه است.

جدول ۷. ضرایب تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام، ماده آلی لارو مگس سرباز سیاه (درصد ماده خشک)

فراسنجه	ضرایب تجزیه‌پذیری			PD	تجزیه‌پذیری موثر (ED)		
	a	b	c		نرخ عبور (درصد در ساعت)		
					۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
ماده خشک	۲۶/۳۴ ± ۰/۵۴۷	۳۹/۹۸ ± ۰/۷۷	۰/۰۸ ± ۰/۰۱	۶۶/۳۲	۵۸/۳۲	۵۰/۹۴	۴۶/۳۲
پروتئین خام	۱۱/۹۰ ± ۰/۶۹	۳۲/۰۷ ± ۱/۴۵	۰/۰۹ ± ۰/۰۶	۴۳/۹۷	۳۷/۵۰	۳۱/۵۹	۲۷/۹۰
ماده آلی	۲۹/۷۸ ± ۱/۴۴	۵۲/۱۵ ± ۰/۹۹۷	۰/۰۵ ± ۰/۰۲	۸۱/۹۳	۶۶/۹۲	۵۵/۷۸	۴۹/۷۸
	پروتئین غیر قابل تجزیه						
	نرخ عبور (درصد در ساعت)						
					۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
پروتئین خام	--	--	--	--	۲۵/۸۰	۲۸/۱۵	۲۹/۶۶

a: تجزیه‌پذیری بخش محلول، b: تجزیه‌پذیری بخش غیر محلول، c: نرخ ثابت تجزیه‌پذیری، PD: پتانسیل تجزیه‌پذیری، UDP: پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه

گزارش شده است که تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام لارو مگس سرباز سیاه در نرخ عبور ۸ درصد در ساعت به ترتیب برابر ۶۲/۴۰ و ۲۶/۹۰ درصد بود (Lu *et al*., 2024). این مقادیر در مورد ماده خشک بیشتر و در مورد پروتئین خام کمتر از نتایج تحقیق حاضر است. هرچند، روند تعدادی از فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در مقایسه نتایج تحقیق حاضر و این محققین مشابه است ولی عوامل متعددی نظیر نوع تغذیه و سوبسترای مورد استفاده، نحوه پرورش و خشک کردن لاروها می‌تواند بر نتایج تحقیق

اثر داشته باشد. تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام کنجاله سویا در نرخ عبور ۸ درصد در ساعت به ترتیب ۶۳/۵۰ و ۲۲/۷۰ (Lu *et al*., 2024) گزارش شده است. لارو مگس سرباز سیاه به طور کلی منبع خوبی از پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در نظر گرفته می‌شود. این بدان معنی است که پروتئین موجود در لارو به راحتی توسط میکروب های شکمبه تجزیه می‌شود (Lu *et al*., 2024). نرخ تجزیه پروتئین لارو مگس سرباز سیاه در شکمبه به طور کلی بالا است و برخی از مطالعات نشان می‌دهد که این لارو می‌تواند آسان‌تر از سویای پرچرب (full-fat soybean) تجزیه شود (Lu *et al*., 2024).

مقادیر پروتئین غیر قابل تجزیه (UDP) یا عبوری در نرخ عبور سریع از شکمبه ۲۹/۶۶ درصد در ساعت برآورد شد. این فراسنجه برای نرخ‌های عبور متوسط و کند به ترتیب ۲۸/۱۵ و ۲۵/۸۰ درصد در ساعت بود. این نتایج نشان می‌دهد که کمتر از ۳۰ درصد پروتئین خام لارو مگس سرباز سیاه از دسترس میکروب‌های شکمبه فرار کرده و به بخش‌هایی پایینی دستگاه گوارش وارد می‌شود. با توجه به میزان بسیار پایین پروتئین حقیقی غیر قابل تجزیه (۳/۴۹ درصد پروتئین، جدول ۵) این انتظار می‌رود که مقدار UDP وارد شده به روده حیوان مصرف‌کننده لارو به خوبی مورد هضم قرار گیرد. نتایج حاصل از جدول ۶ نیز نشان دهنده تجزیه بخش قابل توجی از پروتئین لارو مگس سرباز سیاه در محیط شکمبه است. برخی محققین (Kahraman *et al*., 2023) پایین بودن غلظت نیتروژن آمونیاکی در جیره‌های محتوی لارو مگس سرباز سیاه در مقایسه با کنجاله سویا را تعادل بین بخش‌های پروتئین قابل تجزیه (RDP) و پروتئین غیر قابل تجزیه (RUP) معرفی کردند.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که لارو مگس سرباز سیاه از نظر ترکیبات شیمیایی بخصوص درصد پروتئین خام و چربی از خصوصیات تغذیه‌ای بسیار مفید و مناسبی برخوردار است. لارو مگس سرباز سیاه، توانایی تبدیل ضایعات و پسماند مواد آلی به مواد مغذی ارزشمند برای تغذیه نشخوارکنندگان را دارد و به دلیل محتوای ارزشمند مواد مغذی، آن را می‌توان به‌عنوان یک منبع جدید بالقوه پروتئینی، جایگزین مناسبی برای منابع پروتئینی مانند پودر ماهی و کنجاله سویا مورد استفاده قرار داد. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد، سوبسترای شامل ضایعات رستوران‌ها، با توجه به تولید لاروهای مگس سرباز سیاه با ترکیب پروتینی بالا و نرخ تبدیل خوراک خوب، جزو مناسب‌ترین جیره‌ها هم برای کاهش دفع زباله‌های آلی و ضایعات و هم برای رشد لاروهای مگس سرباز می‌باشد. هرچند این امر مستلزم تحقیقات بیشتر در زمینه انتخاب سوبستراهایی است که منجر به رشد مناسب لارو و ارزش غذایی آن می باشد. علاوه بر آن، تحقیقات بیشتری در مورد کمیت گنجاندن لارو مگس سرباز سیاه در جیره و قابلیت هضم آن در نشخوارکنندگان برای افزایش سهم لارو مگس سرباز سیاه در پایدارترکردن بخش تغذیه و رژیم غذایی نشخوارکنندگان نیاز است.

منابع

پورفتح الله، ع.، اسماعیلی، ا.، ذوالفقاری، م. (۱۴۰۰) تاثیر چهار رژیم غذایی بر محتویات بدن لارو مگس سرباز سیاه *Hermetia illucens* L.. فصلنامه تخصصی تحقیقات حشره شناسی، ۱۳ (۴): ۲۴۶-۲۳۷.

خضری، ا. (۱۳۹۲) آنالیز مولکولی و شیمیایی زیر واحدها و بخش های مختلف پروتئین کنجاله کنجد در مقایسه با کنجاله های پنبه دانه و سویا با استفاده از روش های الکتروفورز CNCPS و SDS-PAGE . مجله بیوتکنولوژی کشاورزی، دوره ۵، شماره ۱.

نیک نیا، ا.، صراف معیری، ح.ر.، قره خانی، غ. (۱۴۰۲) تاثیر جیره های غذایی مختلف بر شاخص های زیستی مگس سرباز سیاه (*Hemetia illucens*). مجله حشره شناسی ایران. شماره ۴۳، دوره ۱. ۴۳-۵۱ .

REFERENCES

Alves, S. P., Marcelino, C., Portugal, P. V., & Bessa, R. J. B. (2006). Short Communication: The nature of heptadecenoic acid in ruminant fats. *Journal of Dairy Science*, 89 (1),170–173. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72081-1.

AOAC (1990). Official Methods for Analysis, 15th ed. *Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA*, pp, 69–90.

Arieli, A. (1998). Whole cottonseed in dairy cattle feeding: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 72, 97-110.

Barroso, F. G., de Haro, C., Sanchez-Muros, M., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., & PerezBanon, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture Research*,422,193-201. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.12.024

Bhargava, P. K., & Ørskov, E. R. (1987). Manual for the use of nylon bag technique in the evaluation of feedstuffs. The Rowett Research Institute, Bucksburn, pp. 1–20.

Boland, M. J., Rae, A. N., Vereijken, J. M., Meuwissen, M. P., Fischer, A. R., van Boekel, M. A., Rutherfurd, S. M., Gruppen, H., Moughan, P. J., & Hendriks, W. H. (2013). The future supply of animal-derived protein for human consumption. *Trends Fd. Sci. Technol*, 29(1), 62–73. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.07.002

Campos, A., Pereira, O., Ribeiro, K., Santos, S., & Valadares Filho, S. (2014). Impact of replacing soybean meal in beef cattle diets with inactive dry yeast, a sugarcane by-product of ethanol distilleries and sugar mills. *Animal Feed Science and Technology*, 190, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.003

Chaudhry, A. S. & Webster, A. J. F (1993) The true digestibility and biological value for rats of undegraded dietary nitrogen in feeds for ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 42 (3-4):209-221. https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90099-6

Cifuentes, Y., Glaeser, S. P., Mvie, J., Bartz, J. O., Müller, A., Gutzeit, H. O., Vilcinskas, A., & Kämpfer, P. (2020). The gut and feed residue microbiota changing during the rearing of Hermetia illucens larvae. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 113: 1323–1344. https://doi.org/10.1007/s10482-020-01443-0

Cummins Jr, V.C., Rawles, S.D., Thompson, K.R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., & Webste, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia ilucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research*, 743: 337–344. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.022

Das, M., & Mandal, S.K. (2014) Oxya hyla hyla (Orthoptera: Acridicae) as an alternative protein source for Japanese quail. *International Scholarly Research Notices*, 269810. http://doi.org/10.1155/2014/269810

Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste Manag Res. 2009; 27(6): 603–610. https://doi.org/10.1177/0734242X09103838

Eggink, K. M., Lund, I., Pedersen, P. B., Benni, Hansen, W. & Dalsgaard, J. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. PLoS ONE 17(9): e0275213. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275213

Fines, B. C., & Holt, G. J. (2010). Chitinase and apparent digestibility of chitin in the digestive tract of juvenile cobia, Rachycentron canadum. *Aquaculture Research*, 303,34–39. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.010

Finke, M. D. (2002). Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology*, 21, 269-285. https://doi.org/10.1002/zoo.10031

Gautam, B., Tiwari, S., Pokhrel, M. R., Tomberlin, J. K., & Khanal, P. (2025). Expanding black soldier fly (BSF; *Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) in the developing world: Use of BSF larvae as a biological tool to recycle various organic biowastes for alternative protein production in Nepal. Biotechnology Report, 45, e00879. https://doi.org/10.1016/j.btre.2025.e00879

Gutiérrez, G., Ruiz, R., & Vélez, H. (2004). Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of the larva meal of *Hermetia illuscens* L. (Diptera: Stratiomyiidae) at Angelópolis—Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57, 2491-2500.

Hawkey, K. J., Lopez-Viso, C., Brameld, J. M., Parr, T., & Salter, A. M. (2021). Insects: a potential

source of protein and other nutrients for feed and food. *Annual Review of Animal Biosciences*, 9, 333–354. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083930

Hellstrand, S. (2013). Animal production in a sustainable agriculture. *Environmental Development and Sustainability*, 15, 999–1036. https://doi.org/10.1007/s10668-012-9423-z

Higgs, R. J., Chase, L. E., Schwab, C. G., Sloan, B., Luchini, D., LaPierre, P. A. & Van Amburgh, M. E. (2023). Balancing dairy cattle diets for rumen nitrogen and methionine or all essential amino acids relative to metabolizable energy Journal of Dairy Science, 106 (3): 1826-1836. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22019

Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S., Land, J., Tomberlin, K. (2012). Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia Illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environ Entomol Environmental Entomology*, 41 (4), 971-978. https://doi.org/10.1603/EN12054

Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black soldier flylarvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: An in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 10, 1439–1446. https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446

Jeong, C. D., Mamuad, L. L., Kim, S. H., Choi, Y. J., Soriano, A. P., Cho, K. K., Jeon, C. O., Lee, S. S., Lee, S. S. (2015). Effect of soybean meal and soluble starch on biogenic amine production and microbial diversity using in vitro rumen fermentation. Asian-Australas Journal of Animal Science, 28(1):50-7. https://doi.org/10.5713/ajas

Jozefiak, D., & Engberg, R. M. (2015). Insects as poultry feed. 20th European Symposium on Poultry Nutrition, 24–27 August 2015, Prague, Czech Republic.

Kahraman, O., Gulsen, N., Inal, F., Alatas, M. S., Safa Inanc, Z., Ahmed, I., Sisman, D., & Kucuk, A. E. (2023). Comparative analysis of in vitro fermentation parameters in total mixed rations of dairy cows with varied levels of defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a substitute for soybean meal. *Fermentation*, 9 (7), 652. https://doi.org/10.3390/fermentation9070652

Khempaka, S., Chitsatchapong, C., & Molee, W. (2011). Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(1), 1-11. https://doi.org/10.3382/japr.2010-00162

Khezri, A. (2013). Molecular and chemical analysis of the protein subunits and fractions of sesame meal in comparison to cottonseed meal and soybean meal using SDS-Page electrophoresis and CNCPS methods. Journal of Agricultural Biotechnology, 5 (1): 71-82. https://doi.org/10.22103/jab.2013.1190 (In Persian)

Krèoncke, N., & Benning, R. (2023). Influence of dietary protein content on the nutritional composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 14(3), 261. https://doi.org/10.3390/insects14030261

Kumar, V., Fawole, F. J., Romano, N., Hossain, M. S., Labh, S. N., Overturf, K., & Small, B. C. (2021). Insect (black soldier fly, Hermetia illucens) meal supplementation prevents the soybean meal-induced intestinal enteritis in rainbow trout and health benefits of using insect oil. *Fish & Shellfish Immunology*, 109, 116-124. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.12.008

Licitra, G., Hernandez, T. M., & Van Soest, P. G. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology*, 57 (4), 347-358. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3

Lieberman, S., Enig, M. G. & Preuss, H. G. (2006). A review of monolaurin and lauric acid: natural virucidal and bactericidal agents. *Alternative and Complementary Therapies*, 12(6):310-314. https://doi.org/10.1089/act.2006.12.310

Liland, N. S., Biancarosa, I., Araujo, P., Biemans, D., & Bruckner, C. G. (2017). Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLoS one*, 12(8), e0183188. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183188

Lim, J. W., Mohd-Noor, S. N.,Wong, C. Y., Lam, M. K., Goh, P. S., Beniers, J. J. A., Oh, W. D., Jumbri, K., & Ghani, N. A. (2019). Palatability of black soldier fly larvae in valorizing mixed waste coconut endosperm and soybean curd residue into larval lipid and protein sources. *Journal of Environmental Management*, 231, 129–136. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.022

Liu, C., Yao, H., Chapman, S. J., Su, J., Wang, C. (2020). Changes in gut bacterial communities and the incidence of antibiotic resistance genes during degradation of antibiotics by black soldier fly larvae. *Environment International*, 142:105834. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105834

Liu, S., Sun, J., Yu, L., Zhang, C., Bi, J., Zhu, F., Qu, M., Jiang, C., & Yang, Q. (2012). Extraction and characterization of chitin from the beetle *Holotrichia parallela* Motschulsky. *Molecules*, *17*(4), 4604-4611. https://doi.org/10.3390/molecules17044604

Lu, J., Guo, Y., Muhmood, A., Zeng, B., Qiu, Y., Wang, P., et al. (2022). Probing the antioxidant activity of functional proteins and bioactive peptides in *Hermetia illucens* larvae fed with food wastes. *Scientific Report*s, 12:2799. https://doi.org/10.1038/s41598-022-06668-9

Lu, S., Paengkoum, S., Chen, S., Long, Y., Niu, X., Thongpea, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Paengkoum, P. (2025). Impact of dietary supplementation of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) on nutrient digestibility, serum antioxidants, ruminal volatile fatty acids, and abundance of microbial dominant flora in goats. *Animal Nutrition* (In press) https://doi.org/10.1016/j.aninu.2025.02.008

Lu, S., Paengkoum, S., Chen, S., Long, Y., Niu, X., Thongpea, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Wangm Q., & Paengkoum, P. (2024). Effects of heat treatment on rumen degradability and protein intestinal digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) in goat. *Scientific Reports*, 14(1): 22239. https://doi.org/10.1038/s41598-024-69672-1

Makkar, H. (2018). Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. *Animal*, 12, 1744–1754. https://doi.org/10.1017/S175173111700324X

Moula, M., Scippo, M. L., Doung, C., Degand, G., Dawans, E., Cabaraux, J. F., Hornick, J. L., Medigo, R., Leroy, P., Francis, F., & Detillegx, J. (2018). Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. *Animal Nutrition*, 4 (1), 73-78. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.10.002

National Research Council (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition, National Academic of Sciences, Washington DC, USA.

Newton, G. L., Booram, C. V., Barker, R. W., & Hale, O. M. (1977). Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44 (3), 395-400. https://doi.org//10.2527/jas1977.443395x

Newton, G. L., Sheppard, D. C., Watson, D. W., Burtle, G., Dove, C. R., Tomberlin. J., & Thelen, E. E. (2005). The Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. Proceedings of the Symposium State of the Science, Animal Manure and Waste Management, San Antonio, TX, pp, 5-7 January 2005, 0-5.

Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (diptera: stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental Entomology*, 44(2),406–410. https://doi.org/10.1093/ee/nvv002

Niknia, N., Sarraf Moayeri, H., & Gharekhani, Gh. (2023). The effect of different diets on biological characteristics of Black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae). *Iranian Journal of Entomology*, 43 (1): 43-51. https://doi.org/10.52547/jesi.43.1.5. (In Persian)

Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Nutrient utilization by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of insects as food and feed*, 1, 131–139. https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0023

Oonincx, D. G. A. B., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J.W.,Van Den Brand, H., Van Loon, J. J. A., & van Huis, A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *Plos one*, 5 (12), e14445. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445

Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *The Journal of Agriculture Science* (Camb.), 92, 499-503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048

Pourfathollah, E., Esmaili, A., & Zolfaghari, M. (2022). Nutritional composition, effect of four organic Side-Streams on black soldier fly larvae feeding. *Journal of Entomological Research*, 13 (4): 237-246. (In Persian)

Rozan, P., Haey Kuo, Y., & Lambein, F. (2000). Free Amino Acids Present in Commercially Available Seedlings Sold for Human Consumption. A Potential Hazard for Consumers. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 48, 716−723. https://doi.org/10.1021/jf990729v

Rumpold, B. A., & Schluter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57, 802–823. https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735

Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate

and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70, 3551-3561. https://doi.org/10.2527/1992.70113551x

Shumo, M., Osuga, I .M., Khamis, F .M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K. M., Subramanian, S., Ekesi, S., & van Huis, A. (2019). The nutritive value of black soldier fy larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Scientific Reports*, 9,10110. https://doi.org/10.1038/s41598-019-46603-z

Sniffen, C. J. J. D., O'Connor, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70, 3562-3577. https://doi.org/10.2527/1992.70113562x

Spiller, M., Muys, M., Papini, G., Sakarika, M., Buyle, M., & Vlaeminck, S. E. (2020). Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal. *Water Research*, 171, 115406. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115406

Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of science food and agriculture*, 97, 2594–2600. https://doi.org/10.1002/jsfa.8081

Stefanov, I., Baeten, V., Abbas, O., Vlaeminck, B., De Baets, B., & Fievez, V. (2013). Evaluation of FT-NIR and ATR-FTIR spectroscopy techniques for determination of minor odd- and branched-chain saturated and trans unsaturated milk fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61 (14), 3403–3413. https://doi.org/10.1021/jf304515v

St-Hilaire, S., Katie, C., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., & Stephen, I. (2007a). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38 (2): 309-313. https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x

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

Surendra, K., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197-202. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022

Teguia, A., Mpoame, M., & Mba, J. A. O. (2002). The production performance of broiler birds as affected by the replacement of fish meal by maggot meal in the starter and finisher diets. *Tropicultura*, 20(4), 187-192.

Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. G. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Society*, 37, 345-352.

Tunkala, B.Z., DiGiacomo, K., Alvarez Hess, P.S., Dunshea, F.R., Leury, B.J. (2023). In vitro protein fractionation methods for ruminant feeds. *Animal*, 17, 101027. https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101027

Tyshko, N.V., Zhminchenko, V.M., Nikitin, N.S., Trebukh, M.D., Shestakova, S.I., Pashorina, V.A., & Sadykova, E.O. (2021). The comprehensive studies of *Hermetia illucens* larvae protein's biological value. *Problems of Nutrition*, 90, 49–58. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58

van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58,563-583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. (1991). Method for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74,3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

Wang, J., Liu, C., Cao, Q., Li, Y., Chen, L., Qin, Y., Wang, T., & Wang, C. (2024). Enhanced biodegradation of microplastic and phthalic acid ester plasticizer: The role of gut microorganisms in black soldier fly larvae, Science of The Total Environment, 924, 171674. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171674.

Wang, Y.S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91. https://doi.org/10.3390/foods6100091

Woodgate, S. L. & Everington, I. E. (1997). Satisfying the digestible protein requirements of high-

performance ruminants: the development of an ideal bypass protein for dairy cows. Beacon Research International Ltd., Clipston, Leics, UK. Available at: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20063209580