

Nutritional Interaction between Ladybird, *Adalia bipunctata* and Aphid, *Myzus persicae* Reared on Different Treatments of Mineral, Organic and Biological Fertilizers

Mozhgan Mardani-Talaei¹, Jabrael Razmjou^{1*}, Ghadir Nouri-Ganblani¹, Mahdi Hassanpour¹, Bahram Naseri¹

1- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

(*- Corresponding author's Email: razmjou@uma.ac.ir)

Received: 23-02-2025

Revised: 08-04-2025

Accepted: 12-04-2025

Available Online: 09-07-2025

How to cite this article:

Mardani-Talaei, M., Razmjou, J., Nouri-Ganblani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2025). Nutritional interaction between ladybird, *Adalia bipunctata* and aphid, *Myzus persicae* reared on different treatments of mineral, organic and biological fertilizers. *Iranian Plant Protection Research*, 39(2), 153-167. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223>

Introduction

Plant growth-promoting treatments, including biological, organic and chemical fertilizers, can alter the biochemical composition of plants and affect multitrophic interactions. Beneficial soil microorganisms such as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can affect plant nutrient quality, secondary metabolites, enzymes, phytohormones and volatile organic compounds (VOCs), which can impact interactions between host plants, insect herbivores and natural enemies. Plant defenses against herbivores can be activated both directly and indirectly. The PGPRs and AMFs can either increase or decrease the resistance of plants to pests. Fertilizers can influence the nutritional quality of plants, which is crucial for host selection by herbivorous insects. Plants treated with zinc have been shown to have a positive effect on sucking insects but a negative effect on chewing herbivores. Organic fertilizers such as vermicompost have proven to be effective in the biocontrol of sucking insects, as they promote vigorous plant growth, alter plant nutrition and strengthen plant defenses. The biochemical composition of plants affects the quality of insect pests and influences the life plan of predators and parasitoids. Quality of the prey, the nutritional value and biochemistry of the host plants influence the abundance and performance of the predators. Nutritional parameters such as consumption index, efficiency of conversion of ingested food (ECI), relative consumption rates (RCR) and relative growth rate (RGR) provide information on predator performance. This study investigates the effects of different plant growth promoting treatments on the nutritional indices of *Adalia bipunctata* L. feeding on *Myzus persicae* (Sulzer), growing on treated *Capsicum annuum* under greenhouse conditions.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223>

Materials and Methods

This study was conducted on California Wonder bell pepper plants treated with various fertilizers in a completely randomized design under greenhouse conditions at 25 ± 5 °C, $65 \pm 10\%$ RH and natural light. The effects of foliar spraying with zinc sulfate on bell pepper plants, the addition of 30% organic fertilizer from vermicompost and the addition of the biofertilizers *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Glomus intraradices*, *G. intraradices* $\times$ *B. subtilis* and *G. intraradices* $\times$ *P. fluorescens* to the seedbed of bell pepper plants were investigated. The nutritional index of different larval and adult stages of the two-spotted predatory ladybug beetle *Adalia bipunctata* reared on the green peach aphid, *Myzus persicae*, was studied under laboratory conditions at 25 ± 2 °C, $65 \pm 5\%$ RH and 16L:8D hours. The experiments were conducted with 20 replications per treatment, using a completely randomized design, and nutritional indices were calculated using Waldbauer's method. The study used Kolmogorov-Smirnov test for normality, ANOVA for analyzing effects on predatory ladybug feeding indices, Tukey test for significant differences, and Excel for diagram creation. Treatments were categorized into suitable and unsuitable groups using the Ward method in a dendrogram.

Results and Discussion

The highest ECI index of *A. bipunctata* larvae was observed in the *B. subtilis*, zinc sulfate and *P. fluorescens* and the lowest ones was recorded in vermicompost (30%). The ECI index of predator adult significantly increased in *B. subtilis* and *P. fluorescens* treatments and decreased ones in vermicompost (30%). The highest and lowest pupal weights were observed in *B. subtilis* (16.98 mg) and vermicompost (30%; 11.32 mg) treatments, respectively. The results of cluster analysis of different fertilizer treatments based on nutritional indices and pupal weights indicated the existence of two groups, A and B; group A included two subgroups, A₁ and A₂. Subgroup A₁ included vermicompost (30%) treatments, *G. intraradices* $\times$ *B. subtilis* and *G. intraradices*, control, and *G. intraradices* $\times$ *P. fluorescens*, while subgroup A₂ included zinc sulfate treatment. Group B included bacterial treatments *B. subtilis* and *P. fluorescens*.

Conclusion

This study revealed that host plant quality affects the nutritional fitness of herbivorous insects, which in turn influences predator population dynamics. Pupal weight, a fitness indicator, was positively correlated with fat content. The study highlights the importance of host plant quality in determining fecundity parameters. The results showed that treating the soil with biological fertilizers (*P. fluorescens* and *B. subtilis*) had a positive and significant effect on the parameters of the predatory. The study found that plant growth-promoting treatments affect tri-trophic interactions in bell pepper plants, *M. persicae*, and *A. bipunctata*. High soil fertility improves predator fitness and supports predator growth. Maintaining high fertility is beneficial for integrated pest management, but further field studies are needed.

Keywords: *Bacillus subtilis*, Biological fertilizer, Nutritional indices, *Pseudomonas fluorescens*, Zinc Sulfate

برهم کنش تغذیه‌ای بین کفشدوزک *Adalia bipunctata* و شته *Myzus persicae* پرورش یافته

روی تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی

مژگان مردانی طلایی^۱ - جبرئیل رزمجو^{۱*} - قدیر نوری قنبلانی^۱ - مهدی حسن پور^۱ - بهرام ناصری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

چکیده

فلفل دلمه (*Capsicum annuum* L.)، یکی از محصولات جالیزی مهم بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است. یکی از آفات عمده این گیاه شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه زندگی هولوسی‌کلک می‌باشد. از دشمنان طبیعی مهم این گونه شته، کفشدوزک دو نقطه‌ای (*Adalia bipunctata* L.) می‌باشد. این پژوهش روی گیاه فلفل دلمه رقم California Wonder تغذیه‌شده با تیمار مختلف محرک رشد گیاه در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه با دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 10 درصد و نور طبیعی انجام شد. تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی بر گیاه فلفل دلمه، افزودن کود آلی ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و کودهای زیستی *Bacillus subtilis*، *Glomus intraradices*، *Pseudomonas fluorescens* و *G. intraradices* × *B. subtilis* به بستر بذری گیاه فلفل دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص تغذیه‌ای سنبل مختلف لاروی و حشره بالغ کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته سبز هلو، در شرایط آزمایشگاهی با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و هشت ساعت تاریکی مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین شاخص ECI لارو کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای *B. subtilis*، سولفات روی و *P. fluorescens* و کمترین مقدار آن در ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد ثبت شد. مقادیر شاخص ECI بالغ شکارگر به‌طور معنی‌داری در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* افزایش و در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن شفیره در تیمار *B. subtilis* (۱۶/۹۸ میلی‌گرم) و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد (۱۱/۳۲ میلی‌گرم) مشاهده شد. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار خاک با کودهای زیستی (*B. subtilis* و *P. fluorescens*) روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی برای تیمار خاک گیاه فلفل دلمه‌ای می‌تواند به‌عنوان مکملی برای برنامه مهار بیولوژیک شته سبز هلو (*M. persicae*) مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سولفات روی، شاخص‌های تغذیه‌ای، کود زیستی، *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens*

مقدمه

گیاه (PGPR⁺) و قارچ میکوریزای آربوسکولار (AMF⁺) بوده که می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه، متابولیت‌های ثانویه، آنزیم‌ها، هورمون‌های گیاهی و ترکیبات آلی فرار گیاه تأثیر بگذارند. از سوی دیگر، این ریزجانداران بر فعل و انفعالات بین گیاهان میزبان، حشرات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی تأثیر می‌گذارند (Gadhav et al., 2016).

طی سه دهه گذشته به‌دلیل روشن شدن اثرات زیان‌بار مصرف کودهای شیمیایی، کاربرد باکتری‌های خاکزی، به‌ویژه PGPR در

در زیست‌بوم‌های طبیعی و کشاورزی، تعامل گیاهان و ریز جانداران خاک تأثیر قابل توجهی بر ساختار خاک، چرخه زیستی و شیمیایی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط ایفا می‌کنند (Bashan & Levanony, 1990; Megali et al., 2015). از جمله این ریزجانداران خاک، باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد

۱- گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

(*)- نویسنده مسئول:

(Email: razmjou@uma.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/jpp.2025.92308.1223>

2- Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

3- Arbuscular Mycorrhizal Fungi

تغذیه گیاه زراعی در زیست‌بوم‌های کشاورزی پایدار در سراسر جهان افزایش یافته است (Gouda et al., 2018). بنابراین، PGPR می‌توانند با استفاده از فرآیندهای مختلفی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاه مؤثر باشند. در تحریک مستقیم، این باکتری‌ها رشد گیاه را با تولید ترکیبات مختلف، تسهیل جذب عناصر، تثبیت نیتروژن اتمسفری، حل کردن مواد معدنی مانند فسفات، تولید سیدروفور، و تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل اکسین‌ها و جبرلین‌ها افزایش می‌دهند (Valenzuela-Soto et al., 2010). در تحریک غیرمستقیم، اغلب این باکتری‌ها از طریق فرآیندهای مختلفی همچون مقاومت القائی در گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زا، رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشند (Stella de Freitas et al., 2019). از سوی دیگر، قارچ‌های AMF سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک به‌خصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شود (Megali et al., 2015). علاوه‌بر افزایش جذب عناصر غذایی با بهبود روابط آبی گیاه، تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و ایجاد خاکدانه‌های پایا و بهبود ساختمان خاک، رشد گیاه را افزایش می‌دهند (Gadhav et al., 2016).

ورمی‌کمپوست نوعی کود آلی است که عناصر غذایی مانند نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را برای گیاه فراهم می‌سازد و سبب افزایش جوانه‌زنی، رشد گیاه و در نهایت افزایش عملکرد محصول می‌شود (Arancon et al., 2007). همچنین، استفاده از ورمی‌کمپوست در خاک می‌تواند مقاومت گیاه را به برخی از آفات و بیماری‌ها افزایش داده که منجر به کاهش عوامل بیماری‌زای گیاهی و جمعیت آفات می‌شود (Chaoui et al., 2002; Razmjou et al., 2011; Mardani-Talaee et al., 2016 a,b).

عنصر روی، یکی از هفت ریزمغذی و ضروری در تغذیه گیاه است که به‌دلیل تشکیل کمپلکس با عناصر نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و فعالیت آنزیم‌هایی مانند الکل‌دهیدروژناز و کربنیک‌آنیدراز در فرآیند فتوسنتز نقش اساسی ایفا می‌کند (Alloway, 2008). همچنین، در ساختار اسید آمینه تربیتوفان (پیش‌ماده هورمون اکسین) و در ساختار پروتئین‌های وابسته به روی در همانندسازی DNA و بیان ژن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (Spiegel-Roy & Goldschmidt, 2008). مطالعات نشان داده است که گیاهان تیمار شده با روی تأثیر مثبتی بر پارامترهای رشد جمعیت حشرات می‌کنند (Mardani-Talaee et al., 2016 a) از سوی دیگر، تأثیر منفی بر تغذیه حشرات جونده دارند (Noret et al., 2007).

لفل دلمه (*Capsicum annuum L.*)، گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیره بادمجانیان، یکی از محصولات جالیزی مهم و بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است (Chavez-Mendoza et al., 2015). این گیاه در معرض حمله آفات و بیماری‌های متعددی قرار

دارد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از آفات عمده آن شته سبز هلو (*Myzus persicae* (Sulzer)) پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه زندگی هولوسیکلک می‌باشد (Hassanvand et al., 2020). در اثر تغذیه علاوه‌بر پیچیدگی و نکره‌شدن برگ‌ها و کاهش رشد گیاهان میزبان، کیفیت محصول کاهش یافته و توانایی بالایی نیز در انتقال بیماری‌های ویروسی دارد (Fenton et al., 2010). برای مهار شته‌ها از حشره‌کش‌های سیستمیک استفاده می‌شود که اثرات زیان‌بار شدیدی بر سلامت انسان و سایر موجودات غیرهدف دارند (Naeem et al., 2018)، لذا استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست در مهار آفت ضروری است؛ امروزه برای کاهش خسارت این آفت برنامه‌های مدیریت تلفیقی مد نظر است که یکی از مهم‌ترین بخش‌های این برنامه، مهار بیولوژیک می‌باشد (Hajek & Eilenberg, 2018). از دشمنان طبیعی مهم شته‌ها، کفشدوزک‌ها می‌باشند، گونه کفشدوزک دونقطه‌ای (*Adalia bipunctata L.*)، از اهمیت خاصی برخوردار است که در کاهش جمعیت شته‌ها مؤثر می‌باشد (Sun et al., 2017; Ricupero et al., 2020). کفشدوزک دو نقطه‌ای بومی آمریکای شمالی بوده و در سراسر مناطق هولآرکتیک، یکی از کفشدوزک‌های رایج درختان باغی می‌باشد (Honěk et al., 2023). این شکارگر همچنین از شکارگرهای چندین‌خوار رایج شته‌ها در اروپا، آسیای مرکزی و آمریکای شمالی است که در مناطق پالارکتیک و تارکتیک نیز پراکنش دارد (Hodek & Honek, 1996).

عوامل شیمیایی و تغذیه‌ای موجود در گیاه، میزان مطلوبیت میزبان را برای تغذیه، رشد و نمو و افزایش ایجاد جمعیت حشره تحت تأثیر قرار می‌دهند که از آن جمله می‌توان به نوع، میزان عناصر غذایی، توانایی هضم و جذب غذای خورده‌شده توسط حشره اشاره نمود (Sarkar et al., 2022; El-Refaie et al., 2024). بنابراین، یک برنامه مهار بیولوژیک زمانی کامل خواهد بود که اطلاعات جامع از وضعیت تغذیه‌ای دشمن طبیعی آفت مورد نظر در اختیار باشد؛ در این میان، مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای می‌تواند به‌عنوان معیاری مؤثر انتخاب و بررسی شود. ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای بخش مهم و بزرگی از بوم‌شناسی تغذیه هستند (Waldbauer, 1968). این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد زیست‌شناسی تغذیه یا سازگاری تغذیه حشرات مورد آزمایش برای اهداف گوناگون در اختیار قرار دهد (Scriber & Slansky, 1981).

تحقیقات مختلفی نشان دادند که گونه‌های گیاهی، ارقام مختلف و مواد شیمیایی موجود در گیاهان میزبان بر رفتار و میزان تغذیه حشرات گیاه‌خوار و همچنین دشمنان طبیعی مؤثر می‌باشند (Mardani-Talaee et al., 2024; Ramadan et al., 2022). بنابراین، گیاهان میزبان نه تنها روی فعالیت حشرات گیاه‌خوار، بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تعاملات چندگانه روی

برهم‌کنش بین کیفیت تغذیه‌ای شته سبز هلو و کارایی تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای نشان داد که انتخاب نوع کود می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود مهار بیولوژیک آفات داشته باشد. در نتیجه، مدیریت تغذیه گیاهان از طریق کوددهی مناسب می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش کارایی دشمنان طبیعی و کاهش نیاز به روش‌های شیمیایی باشد.

مواد و روش‌ها

تهیه تیمارهای کودی مورد نیاز

کود ورمی کمپوست از شرکت پارس کود و سولفات روی از شرکت مرک آلمان تهیه گردید که مقدار خلوص روی آن ۱۰۰ درصد بود. کودهای باکتری PGPR و AMF از مؤسسه آب و خاک کرج تهیه شدند. خاک زراعی مورد نیاز از یک مزرعه سیب زمینی در روستای نیار در سه کیلومتری شمالی اردبیل جمع‌آوری شد.

کشت گیاهان میزبان

بذور فلفل‌دلمه‌ای از شرکت کشت فلات ایرانیان زمین تهیه و در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در شرایط گلخانه با دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی $65 \pm$ درصد و نور طبیعی کشت شد. آزمایش در گلخانه با هفت تیمار و یک شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

۱- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در خاک زراعی معمولی به‌علاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله چهار تا شش برگی با سولفات روی به‌میزان یک در هزار

۲- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در مخلوط خاک زراعی معمولی با ورمی کمپوست به نسبت ۳۰ درصد

۳ و ۴- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در خاک زراعی معمولی و تیمار بذریه قبل از کشت با باکتریهای شامل *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* (به‌ازای هر بذریه 1×10^7 نرخ CFU.ml^{-1})

۵- گیاه فلفل‌دلمه پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی و تیمار بذریه قبل از کشت با قارچ *Glomus intraradices* (به‌نسبت پنج گرم به‌ازای هر بذریه)

۶ و ۷- گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی و تیمار بذریه قبل از کشت بذریه با ترکیبی از قارچ و باکتریهای PGPR با نام‌های *G. intraradices* × *B. subtilis* و *P. fluorescens*

۸- گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی (بدون

پارازیتوئیدها و شکارگرهای آن‌ها تأثیر می‌گذارند (Mercer & Obrycki, 2021). فعالیت‌های تقویت‌کننده رشد گیاهان با استفاده از کودهای زیستی، شیمیایی و آلی روی مشخصه‌های بوم‌شناسی و تغذیه‌ای حشرات گیاه‌خوار به‌خوبی بررسی شده است (Moon et al., 2020; Alizamani et al., 2013; al., 2013). اما اثرات آن‌ها بر مشخصه‌های مهم دشمنان طبیعی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Hunter & Price, 1992; Schausberger et al., 2012). در پژوهش قبلی، نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین راندمان تبدیل غذای بلعیده‌شده (ECI^1) در لاروهای شکارگر *Hippodamia variegata* (Goeze) روی شته‌های تیمار شده با *Bacillus subtilis* و ورمی کمپوست بود. از سوی دیگر، بیشترین و کمترین نرخ رشد نسبی (RGR^2) شکارگر به‌ترتیب در شته‌های تیمار شده با سولفات روی و ورمی کمپوست به دست آمد. در نتیجه، سولفات روی و کودهای زیستی شامل PGPR می‌توانند شاخص تغذیه‌ای شکارگرها را افزایش دهند و در مدیریت تلفیقی آفات برمبنای مهار بیولوژیکی مؤثر باشند (Mardani-Talaei et al., 2024). در نتیجه، کودها می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه باشند که برای انتخاب میزبان توسط حشرات گیاه‌خوار بسیار مهم است (Mardani-Talaei et al., 2015; 2017) و همچنین می‌توانند اثرات پایین به بالای مثبتی بر دشمنان طبیعی داشته باشند (Saravanakumar et al., 2008; Gadhav et al., 2016).

مهار بیولوژیک آفات یکی از راهکارهای مؤثر در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. کیفیت تغذیه‌ای شکار می‌تواند تحت تأثیر نوع و میزان کود مصرفی در گیاه میزبان قرار گیرد و بر نرخ شکار، رشد و بقاء کفشدوزک تأثیرگذار باشد (Obrycki & Kring, 1998). با انتخاب کودهای مناسب، کشاورزان می‌توانند هم عملکرد گیاه را افزایش داده و هم مهار بیولوژیک آفات را بهبود بخشند، این راهبرد منجر به کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی، حفظ سلامت محیط زیست و افزایش بهره‌وری کشاورزی پایدار خواهد شد (Barratt et al., 2010). بیشتر پژوهش‌ها بر تأثیر کودها در رشد گیاهان یا آفات تمرکز داشته و تأثیر آن‌ها بر کیفیت تغذیه‌ای دشمنان طبیعی مانند کفشدوزک‌ها کمتر بررسی شده است، کودهای مختلف می‌توانند ترکیب شیمیایی گیاهان را تغییر داده و در نتیجه، تأثیراتی بر تعاملات گیاه، آفات و دشمنان طبیعی داشته باشند (Stella de Freitas et al., 2019; Mardani-Talaei et al., 2024). لذا هدف از پژوهش حاضر، مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک دو نقطه پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه تیمار شده با کودهای مختلف معدنی، آلی و زیستی می‌باشد که نتایج

1- Efficiency of Conversion of Ingested food

2- Relative Growth Rate

3- Colony- Forming Units per Milliliter

کوددهی) به عنوان شاهد.

وزن نمونه کاملاً خشکانده شده و وزن خشک آن‌ها به دست آمد. شاخص مصرف (CI^1)، بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده (ECI)، نرخ رشد نسبی (RGR) و نرخ مصرف نسبی (RCR^2) با استفاده از معادله‌های (۱) تا (۴) محاسبه شد (Waldbauer, 1968).

$$ECI = (P / E) \times 100 \quad (1)$$

$$CI = (E / A) \quad (2)$$

$$RGR = (W_t - W_0) / (T \times W_0) \quad (3)$$

$$RCR = E / (T \times W_0) \quad (4)$$

که در آن، E : وزن غذای خورده شده (میلی گرم)، A : میانگین وزن لاروها/ حشره بالغ در طول دوره (میلی گرم)، P : افزایش وزن لاروها/ حشره بالغ (میلی گرم)، W_t : وزن نهایی لارو/ حشره بالغ (میلی گرم)، W_0 : وزن اولیه لاروها/ حشره بالغ (میلی گرم) و T : مدت زمان تغذیه (روز) است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

قبل از تجزیه داده‌ها، نخست آزمون نرمال بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگوروف-اسمیرنوف^۳ انجام شد. نتایج حاصل از اثر تیمارهای مختلف روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر با استفاده از روش تجزیه واریانس یک طرفه (ANOVA, one way) با نرم‌افزار آماری MINITAB نسخه ۱۶ تجزیه شد. در صورت معنی‌دار شدن اختلاف، میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (HSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی تیمارهای مختلف کود با استفاده از روش Ward در قالب دندروگرام با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS 16 به گروه‌های مناسب و نامناسب دسته‌بندی شدند.

نتایج و بحث

شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و

چهارم) کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک *A. bipunctata* با تغذیه از شته سبز هلو روی گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف اختلافات معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

پرورش کفشدوزک *A. bipunctata*

در اوسط فصل بهار، کفشدوزک *A. bipunctata* از مزارع و مناطق جنگلی اطراف شهرستان اردبیل جمع‌آوری و در داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد $12 \times 20 \times 15$ سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شد. حشرات کامل کفشدوزک تغذیه شده با شته میزبان با استفاده از قلم‌موی ظریف به صورت روزانه به ظروف پرورش جدید منتقل شد. سپس تخم‌های گذاشته شده در داخل ظروف و روی برگ‌های گیاهان جمع‌آوری شده و به ظروف پتری با قطر هشت سانتی‌متر منتقل و تا زمان تفریخ در اتاقک رشد نگهداری شدند. پس از تفریخ تخم‌ها، هر لارو به طور جداگانه به داخل یک ظرف پتری به قطر هشت سانتی‌متر منتقل و برای تغذیه، شته‌های میزبان در اختیار آن قرار داده شد. ظروف پتری حاوی لارو به طور روزانه مورد بازدید قرار گرفت و تعداد کافی شته در اختیار لاروها قرار گرفت. با افزایش سنین لاروی کفشدوزک، تعداد شته‌هایی که در اختیار لاروها قرار گرفت، افزایش داده شد.

مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر *A. bipunctata*

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک‌های شکارگر تغذیه شده با شته سبز هلو پرورش یافته روی گیاه فلفل دلمه تیمار شده با تیمارهای مختلف کودی، تعداد ۱۰۰ عدد لارو هم‌سن کفشدوزک شکارگر تازه تفریخ شده، انتخاب شد. سپس در پنج گروه ۲۰ تایی تا تبدیل شدن به لاروهای سن دوم روی شته سبز هلو درون ظروف پلاستیکی گرد (قطر $16/5$ و ارتفاع $7/5$ سانتی‌متر) پرورش داده شدند. پس از ظهور لاروهای سن دوم، ادامه پرورش لاروها به صورت انفرادی در داخل ظروف پتری هشت سانتی‌متری انجام شد. شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای کفشدوزک شکارگر تغذیه کننده از شته سبز هلو از زمان ظهور لاروهای سن دوم تا دوره پیش‌شفیری به صورت روزانه ثبت شد. شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل کفشدوزک پس از ظهور، به مدت هفت روز ثبت شد. بدین منظور، وزن لاروها و حشره کامل قبل و بعد از تغذیه، وزن فضولات تولید شده، وزن غذای داده شده و وزن غذای باقی‌مانده به طور روزانه تا زمان ظهور پیش‌شفیره تعیین شد. همچنین، بعد از ظهور شفیره، وزن آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌های دیگری از حشرات، شته مورد آزمایش و لاروها و حشره کامل هم‌زمان با انجام آزمایش‌های اصلی انتخاب و بعد از توزین اولیه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای 60 درجه سلسیوس تا زمان تثبیت

1- Consumption index

2- Relative consumption rates

3- Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱- میانگین ($\pm$ خطای معیار) شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک شکارگر، *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Table 1- Mean ($\pm$ standard error) nutritional indices of total larval ages (third and fourth instars) of predatory ladybugs *Adalia bipunctata* reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	ECI (%)	CI	RGR (mg.mg ⁻¹ .day ⁻¹)	RGR (mg.mg ⁻¹ .day ⁻¹)
Control	31.76 $\pm$ 1.18 ab*	1.723 $\pm$ 0.112 a	0.323 $\pm$ 0.085 ab	0.122 $\pm$ 0.003 b
Zinc sulfate	42.19 $\pm$ 2.83 a	1.002 $\pm$ 0.032 bc	0.312 $\pm$ 0.082 ab	0.175 $\pm$ 0.020 a
Vermicompost (30 %)	21.56 $\pm$ 1.23 b	1.119 $\pm$ 0.121 b	0.412 $\pm$ 0.129 a	0.087 $\pm$ 0.001 c
<i>Bacillus subtilis</i>	43.69 $\pm$ 2.98 a	1.710 $\pm$ 0.129 a	0.598 $\pm$ 0.121 a	0.189 $\pm$ 0.004 a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	40.84 $\pm$ 3.21 a	1.159 $\pm$ 0.183 ab	0.176 $\pm$ 0.011 c	0.111 $\pm$ 0.011 b
<i>Glomus intraradices</i>	33.12 $\pm$ 1.12 ab	1.421 $\pm$ 0.023 ab	0.197 $\pm$ 0.021 bc	0.145 $\pm$ 0.002 ab
<i>G. intraradices</i> $\times$ <i>B. subtilis</i>	37.21 $\pm$ 1.94 ab	0.679 $\pm$ 0.191 c	0.214 $\pm$ 0.054 b	0.138 $\pm$ 0.004 b
<i>G. intraradices</i> $\times$ <i>P. fluorescens</i>	36.00 $\pm$ 3.12 ab	0.594 $\pm$ 0.100 c	0.287 $\pm$ 0.096 b	0.123 $\pm$ 0.003 b

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و $P < 0.01$).

* Unsuitable letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and $P < 0.01$).

ورمی کمپوست ثبت شد (به‌ترتیب $P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 30.69$ ، بیشترین شاخص RCR افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* و کمترین مقدار آن در شاهد به دست آمد ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 51.91$). افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمار *B. subtilis* بیشترین شاخص RGR و در شاهد و تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار را نشان دادند ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 33.52$).

وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای *A. bipunctata*

وزن شفیره کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 9.32$) (شکل ۱). بیشترین وزن شفیره در تیمار *B. subtilis* (۱۶/۹۸ میلی گرم) و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۱۱/۳۲ میلی گرم) مشاهده شد (شکل ۱).

تجزیه خوشه‌ای

شکل ۲ یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خوشه‌ای از تیمارهای مختلف کود براساس شاخص‌های تغذیه‌ای نشان‌دهنده وجود دو گروه A و B است؛ گروه A شامل دو زیرگروه A₁ و A₂ می‌باشد. زیرگروه A₁ شامل تیمارهای تلفیقی *G. intraradices* $\times$ *P. fluorescens*، *G. intraradices* $\times$ *B. subtilis* و سولفات روی می‌شود، درحالی‌که زیرگروه A₂ شامل تیمار *P. fluorescens* $\times$ *G. intraradices* می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده به زیست‌توده (ECI) کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای باکتری *B. subtilis*، سولفات روی و *P. fluorescens* و کمترین میزان آن در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد بود ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 8.21$). بیشترین میزان شاخص مصرف (CI) لارو سنین سوم و چهارم شکارگر با تغذیه از شته‌های پرورش‌یافته روی شاهد و *B. subtilis* ثبت شد و کمترین میزان آن روی تیمارهای *G. intraradices* $\times$ *B. subtilis* و *G. intraradices* $\times$ *P. fluorescens* به دست آمد ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 10.12$). بیشترین شاخص نرخ مصرف نسبی (RCR) لارو سنین سوم و چهارم کفشدوزک شکارگر در تیمارهای *B. subtilis* و ورمی کمپوست ۳۰ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار *P. fluorescens* مشاهده شد ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 28.67$). لارو سن سوم و چهارم *A. bipunctata* روی تیمارهای *B. subtilis* و سولفات روی بیشترین شاخص نرخ رشد نسبی (RGR) و روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد کمترین مقدار را نشان داد ($P \leq 0.01$ و $df = 7$ و $F = 11.67$).

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک دو نقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف، اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص‌های ECI و CI در کفشدوزک بالغ *A. bipunctata* تغذیه شده با شته سبز هلو روی گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با باکتری‌های *B. subtilis* و *P. fluorescens* مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقادیر این دو شاخص به‌طور معنی‌دار در تیمار حاوی ۳۰ درصد

شاهد و ورمی کمپوست است. گروه B شامل تیمار باکتریایی *B. subtilis* بود (شکل ۲).

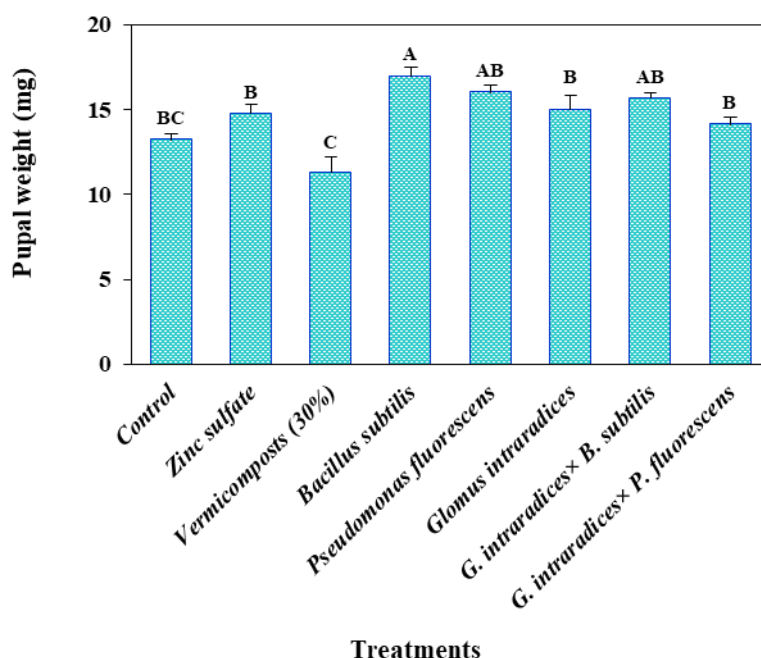
جدول ۲- میانگین (خطای معیار $\pm$) شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Table 2- Mean ($\pm$ standard error) nutritional indices of adult *Adalia bipunctata* ladybirds reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	ECI (%)	CI	RCR ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)	RGR ($\text{mg} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)
Control	32.73 $\pm$ 1.02 ^{ab*}	12.54 $\pm$ 0.869 ^c	0.152 $\pm$ 0.007 ^c	0.051 $\pm$ 0.017 ^d
Zinc sulfate	27.21 $\pm$ 1.32 ^b	17.35 $\pm$ 0.171 ^b	0.287 $\pm$ 0.011 ^b	0.083 $\pm$ 0.037 ^c
Vermicompost (30 %)	14.53 $\pm$ 0.82 ^c	7.60 $\pm$ 0.019 ^d	0.321 $\pm$ 0.012 ^{ab}	0.067 $\pm$ 0.017 ^d
<i>Bacillus subtilis</i>	58.23 $\pm$ 1.12 ^a	24.80 $\pm$ 0.032 ^a	0.599 $\pm$ 0.043 ^a	0.276 $\pm$ 0.042 ^a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	48.19 $\pm$ 1.32 ^a	22.37 $\pm$ 0.184 ^a	0.411 $\pm$ 0.006 ^a	0.174 $\pm$ 0.021 ^{ab}
<i>Glomus intraradices</i>	22.65 $\pm$ 0.722 ^b	19.53 $\pm$ 0.147 ^b	0.212 $\pm$ 0.012 ^b	0.112 $\pm$ 0.016 ^b
<i>G. intraradices</i> $\times$ <i>B. subtilis</i>	25.35 $\pm$ 1.04 ^b	15.22 $\pm$ 0.192 ^c	0.284 $\pm$ 0.082 ^b	0.111 $\pm$ 0.065 ^b
<i>G. intraradices</i> $\times$ <i>P. fluorescens</i>	27.71 $\pm$ 1.09 ^b	13.35 $\pm$ 0.156 ^c	0.199 $\pm$ 0.021 ^{bc}	0.099 $\pm$ 0.032 ^c

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و $P < 0.01$).

* Unsimilar letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and $P < 0.01$).

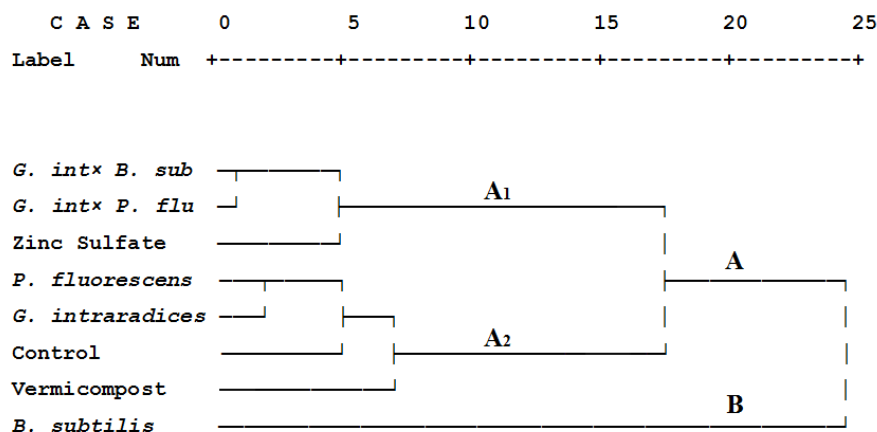


شکل ۱- وزن شفیره کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Figure 1- Weight of *Adalia bipunctata* ladybird pupae reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

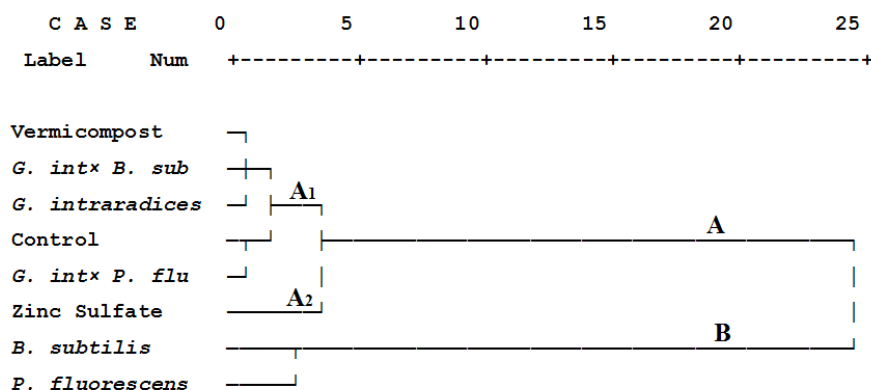
ورمی کمپوست، *G. intraradices* $\times$ *B. subtilis* و *G. intraradices* $\times$ *P. fluorescens* شاهد و *G. intraradices* می باشد، درحالی که زیرگروه A₂ شامل تیمار سولفات روی است. گروه B شامل تیمارهای باکتریایی *B. subtilis* و *P. fluorescens* بود (شکل ۳).

شکل ۳، یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای و وزن شفیره افراد بالغ کفشدوزک شکارگر پرورش یافته روی شته سبز هلو تغذیه شده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خوشه‌ای از تیمارهای مختلف کود براساس شاخص‌های تغذیه‌ای نشان دهنده وجود دو گروه A و B است؛ گروه A شامل دو زیرگروه A₁ و A₂ می باشد. زیرگروه A₁ شامل تیمارهای



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف کفشدوزک شکار *Adalia bipunctata* روی تیمارهای مختلف کود در شرایط آزمایشگاه

Figure 2- Dendrogram of cluster analysis based on nutritional indices of larvae of different ages of ladybugs predator *Adalia bipunctata* on different fertilizer treatments in laboratory conditions



شکل ۳- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای براساس شاخص‌های تغذیه‌ای بالغین کفشدوزک شکار *Adalia bipunctata* روی تیمارهای مختلف کود در شرایط آزمایشگاه

Figure 3- Dendrogram of cluster analysis based on nutritional indices of adults of ladybugs predator *Adalia bipunctata* on different fertilizer treatments in laboratory conditions

یک معیار کلی برای سنجش توانایی آفات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی در استفاده از غذای خورده‌شده برای نشو و نما است (Singh *et al.*, 2019). افزایش و کاهش ECI را می‌توان به تفاوت در خواص شیمیایی و فیزیولوژیکی غذای مصرف‌شده نسبت داد. در مطالعه حاضر، لاروهای سن سوم و چهارم کفشدوزک دو نقطه‌ای روی تیمار باکتری *P. fluorescens*، *B. subtilis* و سولفات روی بیشترین ECI شاخص را داشتند، درحالی‌که کمترین شاخص‌های ECI و RGR روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. پایین

تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی (محرك رشد گیاه) روی فلفل‌دلمه‌ای به‌طور قابل توجهی بر شاخص‌های تغذیه کفشدوزک شکارگر دونقطه‌ای از طریق طعمه آن (شته سبز هلو) تأثیر گذاشت و تأثیر کیفیت طعمه را بر ویژگی‌های تغذیه‌ای شکارگر مشخص نمود. شاخص‌های تغذیه‌ای برای ارزیابی اثرات کیفیت غذا بر عملکرد بوم‌شناختی دشمنان طبیعی به‌ویژه شکارگرها بسیار مهم است (Mardani-Talaei *et al.*, 2024). شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده به زیست‌توده (ECI)

بودن ECI احتمالاً می‌تواند معرف وجود سازوکار آنتی‌بیوزی (وجود مواد بازدارنده تغذیه‌ای) در ترکیب غذایی مورد نظر بوده که سبب کاهش وزن لاروهای تغذیه‌کننده می‌شود. بنابراین، تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد نسبت به تغذیه مجموع سنین لاروی احتمالاً از سازوکار آنتی‌بیوزی برخوردار می‌باشد. تیمار ورمی کمپوست جذب عناصر درشت‌مغذی ضروری مانند K ، P ، N ، Ca و Mg را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش کیفیت گیاه و افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنلی می‌شود. این متابولیت‌های ثانویه می‌توانند با جلوگیری از تغذیه و مهار رشد بر حشرات گیاه‌خوار تأثیر منفی بگذارند (Tsai et al., 2006). در نتیجه، کیفیت پایین طعمه از گیاهان تیمار شده با ورمی کمپوست ممکن است منجر به اثرات نامطلوب بر شکارگرها شود. پژوهشگران بر این باورند که میزان مصرف غذا بستگی به قابلیت هضم غذا و کارایی تبدیل غذای خورده شده به زیست‌توده دارد (Singh et al., 2019). کاهش مقادیر ECI ممکن است به این دلیل باشد که حشرات گیاه‌خوار به‌جای هضم موثر مواد غذایی، انرژی خود را صرف فعالیت‌های سم‌زدایی مواد آلوشیمیایی گیاهی می‌کنند (Singh et al., 2019). از سوی دیگر، کاهش در میزان مصرف غذا نشان‌دهنده پایین بودن ارزش غذایی است که احتمالاً در نتیجه اثرات رفتاری و فیزیولوژیکی می‌باشد (Nathan et al., 2006). یافته‌های پژوهش قبلی نشان داد که تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی اثرات معنی‌داری بر شاخص‌های تغذیه‌ای *H. variegata* پس از تغذیه از شته‌های سبز هلو داشتند. در این مطالعه، بیشترین مقدار شاخص ECI در لاروهای کفشدوزک زمانی مشاهده شد که شته‌ها روی گیاهان تیمار شده با باکتری *B. subtilis* پرورش یافته بودند (Mardani-Talae et al., 2024). در نتیجه تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی می‌توانند ترکیب بیوشیمیایی گیاهان را تغییر دهند و بر فعل و انفعالات روابط سه سطحی گیاه-گیاه‌خوار-دشمن طبیعی تأثیر بگذارند (Biere & Goverse, 2016; Heinen et al., 2018).

در پژوهش حاضر، در کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای، میزان غذای خورده شده و نرخ مصرف نسبی (RCR) در تیمارهای باکتری *B. subtilis* و ورمی کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده این است که لاروهای شکارگر میزان بیشتری طعمه (شته) مصرف کردند، درحالی‌که میزان شاخص RCR شکارگر در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت، از سوی دیگر میزان شاخص RGR کاهش یافت که می‌تواند به دلیل عدم وجود مشکل در عمل بلع باشد که عامل مؤثر در کاهش RGR نیز می‌تواند مربوط به کارایی تأثیر ترکیبات غذایی (طعمه) به دلیل وجود متابولیت‌های ثانویه باشد (Lazarević & Perić-Mataruga, 2003). لذا، هر چند لاروهای کفشدوزک شکارگر بخش عمده‌ای از غذای خورده شده را هضم کرده، اما قادر به استفاده از مواد هضم‌شده جهت نشو و نما

نبوده که می‌تواند به دلیل اختلال در فعالیت‌های متابولیکی لارو از جمله کاتابولیسم و دفع باشد. بنابراین، تفاوت در غلظت مواد شیمیایی بین میزبان‌ها می‌تواند در عملکرد تغذیه‌ای لارو حشرات مؤثر باشد (Mardani-Talae et al., 2015). نتایج حاصل از تغذیه لاروی نشان داد که بیشترین مقادیر RCR و RGR به ترتیب در تیمارهای سولفات روی و باکتری *B. subtilis*، و کمترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. طول دوره تغذیه لارو یک عامل مؤثر در مقادیر شاخص‌های RCR و RGR می‌باشد. در مجموع، نرخ رشد لاروهایی که از میزبان با ارزش غذایی بالا تغذیه می‌کنند، افزایش یافته و طول دوره نشو و نما آن‌ها کوتاه‌تر از لاروهایی که از غذاهای با ارزش غذایی پایین تغذیه می‌کنند (Hwang et al., 2008; Mardani-Talae et al., 2015).

گیاهان میزبان و/یا طعمه‌های مختلف حاوی سطوح مختلف مواد مغذی هستند که می‌تواند بر مشخصه‌های باروری مانند دوره زایشی و وزن شفیرگی تأثیر بگذارد (Yu Qin et al., 2016; Mardani-Talae et al., 2024). وزن شفیرگی را می‌توان به عنوان شاخص تناسب اندام اندازه‌گیری کرد که در واقع با محتوای چربی بدن همبستگی مثبت دارد (Enriquez et al., 2022). در تحقیق حاضر، وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای تغذیه‌شده با شته *M. persicae* پرورش یافته روی تیمار باکتری *B. subtilis* افزایش یافت که افزایش وزن شفیره منعکس‌کننده میزان مطلوبیت میزبان می‌باشد (Leuck & Perkins, 1972; Priyanka et al., 2023). از سوی دیگر، وزن شفیره شکارگر روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافته که در طعمه یا رژیم غذایی حاوی مقادیر پایین ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین، به دلیل کاهش بازده تبدیل آنزیم‌های گوارشی، طول دوره رشد نابالغی افزایش و وزن شفیره‌ها کاهش می‌یابد (Wittman & Aukema, 2019).

افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمارهای باکتری *B. subtilis* و *P. fluorescens* بیشترین میزان شاخص‌های ECI، CI و RCR را داشتند. همچنین، کمترین میزان شاخص‌های ECI، CI و RGR کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمار ورمی-کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. نتایج به دست آمده بیان‌کننده بالا بودن کیفیت غذایی شته‌های تغذیه شده با گیاه فلفل دلمه تیمار شده با *B. subtilis* و *P. fluorescens* است، ارزش غذایی این تیمارها برای تغذیه افراد بالغ کفشدوزک مناسب‌تر از تیمارهای دیگر می‌باشد. به طور کلی، رژیم غذایی با پروتئین کم می‌تواند باعث افزایش نرخ تغذیه لارو حشرات شود (Scriber, 1993) و متقابلاً رژیم غذایی با میزان پروتئین بالا می‌تواند باعث کاهش نرخ تغذیه شود (Mattson, 1980). در بین شاخص‌های تغذیه‌ای، ECI ممکن است با میزان هضم‌شوندگی غذا و نسبتی از غذای قابل هضم که به توده بدنی تبدیل شده و برای تولید انرژی مورد نیاز فعالیت‌های حیاتی حشره

(Mardani-Talae et al., 2024, 2025). بالا بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت کفشدوزک‌های شکارگر در تیمارهای باکتری *P. subtilis fluorescens* و سولفات روی بیانگر بالا بودن کیفیت غذایی این تیمارها در مقایسه با ورمی کمپوست ۳۰ درصد برای هر دو کفشدوزک می‌باشد. بنابراین، وجود اختلاف معنی‌دار در فعالیت‌های آنزیمی کفشدوزک‌های *A. bipunctata* (Mardani-Talae et al., 2022) و شاخص‌های تغذیه‌ای روی تیمارهای مختلف کودی نشان داد که نوع تیمار کود می‌تواند ارزش غذایی آن را تغییر دهد.

نتیجه‌گیری

از منظر کشاورزی پایدار، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب کودهای زیستی با برخی مواد معدنی، مانند سولفات روی، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی برای کاهش وابستگی به آفت-کش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (Singh et al., 2019; Enriquez et al., 2022). این راهکار علاوه‌بر افزایش کارایی دشمنان طبیعی آفات، باعث حفظ سلامت خاک، افزایش تنوع زیستی و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سموم می‌شود (Nathan et al., 2006; Rubiya et al., 2019). به‌ویژه در کشت محصولاتی مانند فلفل‌دلمه‌ای که تقاضای بالایی برای مهار آفات دارد، استفاده از این ترکیبات می‌تواند منجر به تولید محصول سالم‌تر و پایدارتر شود. نتایج این تحقیق همچنین ضرورت مطالعات میدانی بیشتر را برای بررسی تأثیرات بلندمدت این تیمارها در شرایط مزرعه‌ای تأیید می‌کند.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی جهت تأمین هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

متابولیزه می‌شود، متغیر باشد (Ali et al., 2017). شاخص ECI توانایی یک حشره را برای استفاده از غذای مصرف‌شده جهت رشد و نمو نشان می‌دهد. بنابراین، عدم تغییر در ECI نشان می‌دهد که آللوکمیkal مورد تغذیه حشره هیچ نوع سمیت مزمنی نشان نمی‌دهد (Rubiya et al., 2019). نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه قبلی نشان داد که تیمارهای مختلف کودهای شیمیایی، آلی و زیستی روی ویژگی‌های گیاه میزبان (فلفل‌دلمه) تأثیر می‌گذارد و این تغییرات ریخت‌ساختی گیاه بر مشخصه‌های دموگرافیک (جدول‌زندگی، پارامترهای رشد جمعیت و تولیدمثل) و فیزیولوژیکی شته سبز هلو تأثیرگذار بوده و همین مشخصه‌های ذکرشده در تیمار سولفات روی نسبت به مقادیر به‌دست‌آمده برای ورمی کمپوست بیشتر بود (Mardani-Talae et al., 2016 a,b; 2017). علت چنین تفاوتی ممکن است پایین بودن کیفیت غذایی گیاهان تیمارشده با تیمار ورمی کمپوست، افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی سیستم آنتی‌اکسیدانی شته سبز هلو باشد (Mardani-Talae et al., 2016 a,b). بنابراین، براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد به دلایلی مانند بالا بودن طول دوره رشدی قبل از بلوغ، پایین بودن میزان باروری، پایین بودن نرخ بقاء، امید به زندگی و مشخصه‌های تولیدمثل شته سبز روی آن، تیمار نامناسبی نسبت به سایر تیمارهای کودی برای شته سبز هلو بوده و باعث القاء مقاومت در گیاه نسبت به این آفت می‌شود.

وجود اختلاف معنی‌دار براساس تحلیل خوشه‌ای در شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف و افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمارهای مختلف کودی نشان داد که نوع تیمار کودی می‌تواند ارزش غذایی شته‌های تغذیه شده با آن‌ها را برای کفشدوزک‌های شکارگر آن‌را تغییر دهد. در مطالعات گذشته، علاوه‌بر مشخصه‌های زیستی مقادیر به‌دست‌آمده برای مشخصه نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نیز مؤید مطلوب بودن تیمارهای باکتریایی *P. fluorescens* و *B. subtilis* نسبت به تیمارهای دیگر برای کفشدوزک‌های شکارگر بودند

References

1. Ali, A.M., Mohamed, D.S., Shaurub, E.H., & Elsayed, A.M. (2017). Antifeedant activity and some biochemical effects of garlic and lemon essential oils on *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5, 1476-1482.
2. Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Zibae, A., & Serrão, J.E. (2020). Direct interaction between micronutrients and bell pepper (*Capsicum annum* L.) to affect fitness of *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Plant Protection Research*, 60, 253-262. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133319>.
3. Alloway, B.J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. *International Zinc Association and International Fertilizer Association*, 16, 135.
4. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Yardim, E.N., Oliver, T.J., Byrne, R.J., & Keeney, G. (2007). Suppression of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), mealy bug (*Pseudococcus* sp) and aphid (*Myzus persicae*) populations and damage by vermicomposts. *Crop Protection*, 26(1), 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.013>.

5. Barratt, B.I.P., Howarth, F.G., Withers, T.M., Kean, J.M., & Ridley, G.S. (2010). Progress in risk assessment for classical biological control. *Biological Control*, 52(3), 245-254. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.02.012>.
6. Bashan, Y., & Levanony, H. (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Canadian Journal of Microbiology*, 36, 591-608. <https://doi.org/10.1139/m90-105>.
7. Biere, A., & Govers, A. (2016). Plant-mediated systemic interactions between pathogens, parasitic nematodes, and herbivores above-and belowground. *Annual Review of Phytopathology*, 54, 499-527.
8. Chaoui, H., Edwards, C.A., Brickner, A., Lee, S.S., & Arancon, N.Q. (2002). Suppression of the plant diseases, Pythium (damping-off), Rhizoctonia (root rot) and Verticillium (wilt) by vermicomposts. In *Brighton Crop Protection Conference Pests and Diseases*, 2, 711-716.
9. Chavez-Mendoza, C., Sanchez, C., Munoz Marquez, E., Sida Arreola, J.P., & Flores Cordova, M.A. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different grafted varieties of bell pepper. *Antioxidants*, 4(2), 427-446. <https://doi.org/10.3390/antiox4020427>.
10. El-Refaie, R.M., Shaurub, E.S.H., Abd-Allah, G.E., Ebeid, A.A., & Abouelnaga, Z.S. (2024). Effect of four host plants on the life history and nutritional indices of *Spodoptera littoralis*. *International Journal of Tropical Insect Science* 44, 1091–1101.
11. Enriquez, T., Lievens, V., Nieberding, C.M., & Visser, B. (2022). Pupal size as a proxy for fat content in laboratory-reared and field-collected *Drosophila* species. *Scientific Reports*, 12(1), 12855. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15325-0>.
12. Fenton, B., Kaspruwicz, L., Malloch, G., & Pickup, J. (2010). Reproductive performance of asexual clones of the peach-potato aphid, *Myzus persicae*, (Homoptera: Aphididae), colonising Scotland in relation to host plant and field ecology. *Bulletin of Entomological Research*, 100(4), 451–460. <https://doi.org/10.1017/S0007485309990447>.
13. Gadhave, K.R., Finch, P., Gibson, T.M., & Gange, A.C. (2016). Plant growth-promoting *Bacillus* suppress *Brevicoryne brassicae* field infestation and trigger density-dependent and density-independent natural enemy responses. *Journal of Pest Science*, 89, 985-992.
14. Gouda, S., Kerry, R.G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.S., & Patra, J.K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>.
15. Hajek, A.E., & Eilenberg, J. (2018). *Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 439 pp. <https://doi.org/10.1017/9781107280267>.
16. Hassanvand, M., Shakarami, J., & Mardani-Talaei, M. (2020). Nutrition interaction between different mycorrhizal species and bell pepper, *Capsicum annum* L., and its effects on biological parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), under greenhouse conditions. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 50, 289-300. <https://doi.org/10.22059/ijpps.2020.285107.1006898>. (In Persian)
17. Heinen, R., Biere, A., Harvey, J.A., & Bezemer, T.M. (2018). Effects of soil organisms on aboveground plant-insect interactions in the field: Patterns, mechanisms and the role of methodology. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6, 106. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00106>.
18. Hodek, I., & Honek, A. (1996). *Ecology of Coccinellidae*, 1st Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 464 pp. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1349-8>.
19. Honěk, A., Novák, I., Martinková, Z., Saska, P., Kulfan, J., Holecová, M., Jauschova, T., & Zach, P. (2023). Trophic ecology drives annual variation in abundance of *Aphidophagous* (Coccinellidae, Coleoptera and Chrysopidae, Neuroptera) and *Phytophagous* (Noctuidae, Lepidoptera) insects: Evidence from light traps. *Annals of the Entomological Society of America*, 116(2), 125-140. <http://dx.doi.org/10.1093/aesa/saad002>.
20. Hunter, M.D., & Price, P.W. (1992). Playing chutes and ladders: Heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. *Ecology*, 73, 724-732.
21. Hwang, S.Y., Liu, C.H., & Shen, T.C. (2008). Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two *Pieris* butterflies (Lepidoptera: Pieridae). *Biochemical Systematics and Ecology*, 36(7), 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2008.03.001>.
22. Lazarević, J.M., & Perić-Mataruga, V.D. (2003). Nutritive stress effects on growth and digestive physiology of *Lymantria dispar* larvae. *Jugoslovenska Medicinska Biohemija*, 22(1), 53-59. <https://doi.org/10.2298/JMH0301053L>.
23. Leuck, D.B., & Perkins, W.D. (1972). A method of estimating fall armyworm progeny reduction when

- evaluating control achieved by host-plant resistance. *Journal of Economic Entomology*, 65(2), 482-483. <https://doi.org/10.1093/jee/65.2.482>.
24. Mardani-Talaei, M., Gadir Nouri-Ganblani, G., Zibaei, A., Jabraeil Razmjou, J., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2022). Effect of nutritional interaction between plant growth stimulants and peach green aphid (*Myzus persicae* Sulzer) on physiological processes of two-spotted ladybird (*Adalia bipunctata* L.). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 45(1), 65-82. <https://doi.org/10.22055/PPR.2022.17365>. (In Persian with English abstract).
25. Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Naseri, B., & Asgharzadeh, A. (2016 a). Effects of chemical, organic and bio-fertilizers on some secondary metabolites in the leaves of bell pepper (*Capsicum annuum*) and their impact on life table parameters of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 109(3), 1231-1240. <https://doi.org/10.1093/jee/tov389>.
26. Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Vivekanandhan, P., & Naseri, B. (2024). Bottom-up effects of various plant growth promoting treatments on fitness parameters of *Hippodamia variegata*. *Journal of Basic Microbiology*, 65(3), e2400486. <https://doi.org/10.1002/jobm.202400486>.
27. Mardani-Talaei, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2017). Impact of chemical, organic and bio-fertilizers application on bell pepper, *Capsicum annuum* L. and biological parameters of *Myzus persicae* (Sulzer)(Hem: Aphididae). *Neotropical Entomology*, 46, 578-586. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0494-2>.
28. Mardani-Talaei, M., Razmjou, J., Nouri-Ganbalani, G., Hassanpour, M., & Naseri, B. (2025). Bottom-up effects of different fertilizer on changes in the two sex life table of the ladybug beetle *Adalia bipunctata* L. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 48(1), 33-53. <https://doi.org/10.22055/PPR.2025.48593.1781>. (In Persian with English abstract)
29. Mardani-Talaei, M., Zibaei, A., Nouri-Ganbalani, G., Rahimi, V., & Tajmiri, P. (2015). Effect of vermicompost on nutrition and intermediary metabolism of Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(8), 623-645. <https://doi.org/10.1080/03235408.2015.1091154>.
30. Mardani-Talaei, M., Zibaei, A., Nouri-Ganblani, G., & Razmjou, J. (2016b). Chemical and organic fertilizers affect physiological performance and antioxidant activities in *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Invertebrate Survival Journal*, 13(1), 122-133. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.122-133>.
31. Mattson, W.J. (1980). Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11, 119-161. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.001003>.
32. Megali, L., Schlau, B., & Rasmann, S. (2015). Soil microbial inoculation increases corn yield and insect attack. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1511-1519. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0323-0>.
33. Mercer, N.H., & Obrycki, J.J. (2021). Impacts of larval diet on pre-imaginal development, survival and adult size of six species of Coccinellidae (Coleoptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 93(3), 256-261. <https://doi.org/10.2317/0022-8567-93.3.256>
34. Moon, D.C., Barnouti, J., & Younginger, B. (2013). Context-dependent effects of mycorrhizae on herbivore density and parasitism in a tritrophic coastal study system. *Ecological Entomology*, 38(1), 31-39.
35. Naeem, M., Aslam, Z., Khaliq, A., Ahmed, J.N., Nawaz, A., & Hussain, M. (2018). Plant growth promoting rhizobacteria reduce aphid population and enhance the productivity of bread wheat. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.10.005>.
36. Nathan, S.S., Chung, P.G., & Murugan, K. (2006). Combined effect of biopesticides on the digestive enzymatic profiles of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) (the rice leafhopper) (Insecta: Lepidoptera: Pyralidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(3), 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.008>.
37. Noret, N., Josens, G., Escarré, J., Lefèbvre, C., Panichelli, S., & Meerts, P. (2007). Development of *Issoria lathonia* (Lepidoptera: Nymphalidae) on zinc-accumulating and nonaccumulating *Viola* species (Violaceae). *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 26(3), 565-571. <https://doi.org/10.1897/06-413R.1>.
38. Obrycki, J.J., & Kring, T.J. (1998). Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology*, 43(1), 295-321. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.295>.
39. Priyanka, S.L., Jeyarani, S., Sathiah, N., Mohankumar, S., & Nakkeeran, S. (2023). Influence of host egg age on parasitic potential of the entomophagous, *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera:

- Scelionidae) against the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and investigations on the developmental biology and ultrastructure of egg parasitoid immature stages. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 26. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
40. Ramadan, M.M., Awadalla, S.S., Abdel-Hady, A.A., & Hassan, M.A. (2022). Effect of essential and factitious foods and their mixing on developmental performance and reproductive fitness of the ladybeetle, *Hippodamia variegata*. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 13(3), 63-68. <https://doi.org/10.21608/jppp.2022.130670.1063>.
 41. Razmjou, J., Mohammadi, M., & Hassanpour, M. (2011). Effect of vermicompost and cucumber cultivar on population growth attributes of the melon aphid (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 104(4), 1379-1383. <https://doi.org/10.1603/EC10120>.
 42. Ricupero, M., Dai, C., Siscaro, G., Russo, A., Biondi, A., & Zappalà, L. (2020). Potential diet regimens for laboratory rearing of the harlequin ladybird. *BioControl*, 65, 583-592. <https://doi.org/10.1007/s10526-020-10021-2>.
 43. Rubiya, R., Murugan, M., Shanthi, M., Krishnamoorthi, V., & Vellaikumar, S. (2019). Comparative feeding and digestive performance of four lepidopteran species of Larva on onion, *Allium cepavar aqqregatum* L. as a host plant. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(6), 1692-1702. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.202>
 44. Saravanakumar, D., Lavanya, N., Muthumeena, B., Raguchander, T., Suresh, S., & Samiyappan, R. (2008). *Pseudomonas fluorescens* enhances resistance and natural enemy population in rice plants against leafhopper pest. *Journal of Applied Entomology*, 132(6), 469-479. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01278.x>.
 45. Sarkar, S.C., Milroy, S.P., & Xu, W. (2022). Development and reproduction of a native generalist predator, *Coccinella transversalis* (Coleoptera: Coccinellidae), on the tomato potato psyllid, *Bactericera cockerelli*, with a greenhouse assay of biocontrol potential. *Biological Control*, 176, 105108. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105108>.
 46. Schausberger, P., Peneder, S., Jürschik, S., & Hoffmann, D. (2012). Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. *Functional Ecology*, 26(2), 441-449. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2011.01947.x>.
 47. Scriber, J.M. (1993). Absence of behavioral induction in oviposition preference of *Papilio glaucus* (Lepidoptera: Papilionidae). *The Great Lakes Entomologist*, 26(2), 1. <https://doi.org/10.22543/0090-0222.1811>.
 48. Scriber, J.M., & Slansky, F.J. (1981). The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology*, 26, 183-211. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.26.010181.001151>.
 49. Singh, M., Pande, H., Naik, J.H., Goswami, D., & Kaushal, B.R. (2019). Nutritional indices of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on three different host plants. *Indian Journal of Agricultural Research*, 53(5), 536-541. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5272>.
 50. Spiegel-Roy, P., & Goldschmidt, E. (2008). *Biology of citrus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 230 pp.
 51. Stella de Freitas, T.F., Stout, M.J., & Sant'Ana, J. (2019). Effects of exogenous methyl jasmonate and salicylic acid on rice resistance to *Oebalus pugnax*. *Pest Management Science*, 75(3), 744-752. <https://doi.org/10.1002/ps.5174>.
 52. Sun, Y.X., Hao, Y.N., Riddick, E.W., & Liu, T.X. (2017). Factitious prey and artificial diets for predatory lady beetles: Current situation, obstacles, and approaches for improvement: A review. *Biocontrol Science and Technology*, 27(5), 601-619. <https://doi.org/10.1080/09583157.2017.1324112>.
 53. Tsai, C.J., Harding, S.A., Tschaplinski, T.J., Lindroth, R.L., & Yuan, Y. (2006). Genome-wide analysis of the structural genes regulating defense phenylpropanoid metabolism in *Populus*. *New Phytologist*, 172(1), 47-62. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01798.x>.
 54. Valenzuela-Soto, J.H., Estrada-Hernández, M.G., Ibarra-Laclette, E., & DélanoFrier, J.P. (2010). Inoculation of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with growth-promoting *Bacillus subtilis* retards whitefly *Bemisia tabaci* development. *Planta*, 231, 397-410. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-1061-9>.
 55. Waldbauer, G.P. (1968). The Consumption and Utilization of Food by Insects. In *Advances in Insect Physiology*, 5, 229-288. Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1).

56. Wittman, J.T., & Aukema, B.H. (2019). Foliage type and deprivation alters the movement behavior of late instar European gypsy moth *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidae). *Journal of Insect Behavior*, 32, 24-37. <https://doi.org/10.1007/s10905-019-09711-2>.
57. Yu Qin, Y.Q., Wang Fang, W.F., Zhang RunXiang, Z.R., Guo GuiMing, G.G., Fan RenJun, F.R., & Hao Chi, H.C. (2016). Effects of pupal weight on the fecundity and longevity of adults and the larval development of the next generation in *Grapholitha molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *Acta Entomologica Sinica*, 59, 985–990.