Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 2, 2025, p. 153-167

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

Mozhgan Mardani-Talaee[1], Jabraeil Razmjou[1*], Ghadir Nouri-Ganblani[1], Mahdi Hassanpour[1], Bahram Naseri[1]

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-Talaee, 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.

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC 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 ± 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* × *B. subtilis* and *G. intraradices* × *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 ± 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, A_1 and A_2. Subgroup A_1 included vermicompost (30%) treatments, *G. intraradices* × *B. subtilis* and *G. intraradices*, control, and *G. intraradices* × *P. fluorescens*, while subgroup A_2 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

پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹ شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص. ۱۶۷-۱۵۳

برهم‌کنش تغذیه‌ای بین کفشدوزک *Adalia bipunctata* و شته *Myzus persicae* پرورش‌یافته 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

فلفل‌دلمه (*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 هولوسیکلیک می‌باشد. از دشمنان طبیعی مهم این گونه شته، کفشدوزک دو نقطه‌ای (*Adalia bipunctata* L.) می‌باشد. این پژوهش روی گیاه فلفل‌دلمه رقم California Wonder تغذیه‌شده با تیمار مختلف محرک رشد گیاه در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه با دمای ۵ ±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ ±۶۵ درصد و نور طبیعی انجام شد. تأثیر محلول‌پاشی سولفات روی بر گیاه فلفل‌دلمه، افزودن کود آلی ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و کودهای زیستی *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens*، *Glomus intraradices* و *G. intraradices* × *B. subtilis* و *G. intraradices* × *P. fluorescens* به بستر بذری گیاه فلفل‌دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص تغذیه‌ای سنین مختلف لاروی و حشره بالغ کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته سبز هلو، در شرایط آزمایشگاهی با دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ 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 (*P. fluorescens* و *B. subtilis*) روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر تأثیر مثبت و معنی‌داری داشت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی برای تیمار خاک گیاه فلفل‌دلمه‌ای 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

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 افزاینده رشد گیاه (PGPR[۲]) و قارچ مایکوریزای آربوسکولار (AMF[۳]) 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 (Gadhave *et al.*, 2016).

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

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 جیبرلین‌ها 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 هورمون های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا و ایجاد خاکدانه‌های پایا و بهبود ساختمان خاک، رشد گیاه را افزایش می‌دهند (Gadhave *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 تریپتوفان (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 تیمارشده با روی تأثیر مثبتی بر پارامترهای رشد جمعیت حشرات مکنده دارند (Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a) از سوی دیگر، تأثیر منفی بر تغذیه حشرات جونده دارند (Noret *et al.*, 2007).

فلفل‌دلمه (*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)) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه زندگی هولوسیکلیک می‌باشد (Hassanvand *et al.*, 2020). در اثر تغذیه علاوه‌بر پیچیدگی و نکروزه‌شدن 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 امریکای شمالی است که در مناطق پالئارکتیک و نئارکتیک نیز پراکنش دارد (Hodek & Honeck, 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 نه‌تنها روی فعالیت حشرات گیاه‌خوار، بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تعاملات چندگانه روی

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.*, 2013; Alizamani *et al.*, 2020)، امّا 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 تیمارشده با *Bacillus subtilis* و ورمی‌کمپوست بود. از سوی دیگر، بیشترین و کمترین نرخ رشد نسبی (RGR[2]) شکارگر به‌ترتیب در شته‌های تیمار شده با سولفات روی و ورمی‌کمپوست 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-Talaee *et al.*, 2024). در نتیجه، کودها می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه مؤثر باشند که برای انتخاب میزبان توسط حشرات گیاه‌خوار بسیار مهم است (Mardani-Talaee *et al.*, 2015; 2017) و همچنین می‌توانند اثرات پایین به بالای مثبتی بر دشمنان طبیعی داشته باشند (Saravanakumar *et al.*, 2008; Gadhave *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-Talaee *et al.*, 2024). لذا هدف از پژوهش حاضر، مطالعه شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک دو نقطه پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با کودهای مختلف معدنی، آلی و زیستی می‌باشد که نتایج برهم‌کنش بین کیفیت تغذیه‌ای شته سبز هلو و کارآیی 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 کارآیی 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 ۵ ±۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۱۰ ±۶۵ 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 ورمی‌کمپوست به نسبت ۳۰ درصد

۳ و ۴- گیاه فلفل‌دلمه‌ای کاشته‌شده در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت با باکترهای شامل *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* (به‌ازای هر بذر ۱×۱۰[۷] نرخ CFU.ml[-۳])

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

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

۸- گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی (بدون

1- Efficiency of Conversion of Ingested food
2- Relative Growth Rate
3- Colony- Forming Units per Milliliter

کوددهی) به‌عنوان شاهد.

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 ۱۲×۲۰× ۱۵سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد با دمای ۲۵±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ 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 به‌صورت روزانه به ظروف پرورش جدید منتقل شد. سپس تخم‌های گذاشته‌شده 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 به‌طور 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 به‌طور 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*

به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک‌های شکارگر تغذیه‌شده با شته سبز هلوی پرورش‌یافته روی گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با تیمارهای مختلف کودی، تعداد ۱۰۰ عدد لارو هم‌سن کفشدوزک شکارگر تازه تفریخ‌شده، انتخاب شد. سپس در پنج گروه ۲۰ تایی تا تبدیل شدن به لاروهای سن دوم روی شته سبز هلو درون ظروف پلاستیکی گرد (قطر ۱۶/۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر) پرورش داده شدند. پس از ظهور لاروهای سن دوم، ادامه پرورش لاروها به‌صورت انفرادی در داخل ظروف پتری هشت سانتی‌متری انجام شد. شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای کفشدوزک شکارگر تغذیه‌کننده از شته سبز هلو از زمان ظهور لاروهای سن دوم تا دوره پیش‌شفیرگی به‌صورت روزانه ثبت شد. شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل کفشدوزک پس از ظهور، به‌مدت هفت روز ثبت شد. بدین منظور، وزن لاروها و حشره کامل قبل و بعد از تغذیه، وزن فضولات تولید شده، وزن غذای داده‌شده و وزن غذای باقی‌مانده به‌طور روزانه تا زمان ظهور پیش‌شفیره تعیین شد. همچنین، بعد از ظهور شفیره، وزن آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. به‌منظور 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 به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا زمان تثبیت وزن نمونه کاملاً خشکانده شده و وزن خشک آن‌ها به دست آمد. شاخص مصرف (CI[1])، بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده (ECI)، نرخ رشد نسبی (RGR) و نرخ مصرف نسبی (RCR[2]) با استفاده از معادله‌های (۱) تا (۴) محاسبه شد (Waldbauer, 1968).

$$ECI = (P / E) \times 100 \quad (۱)$$

$$CI = (E / A) \quad (۲)$$

$$RGR = (W_t - W_0) / (T \times W_0) \quad (۳)$$

$$RCR = E / (T \times W_0) \quad (۴)$$

که در آن، E: وزن غذای خورده‌شده (میلی‌گرم)، A: میانگین وزن لاروها/ حشره بالغ در طول دوره (میلی‌گرم)، P: افزایش وزن لاروها/ حشره بالغ (میلی‌گرم)، Wt: وزن نهایی لارو/ حشره بالغ (میلی‌گرم)، W_0: وزن اولیه لاروها/ حشره بالغ (میلی‌گرم) 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[3] انجام شد. نتایج حاصل از اثر تیمارهای مختلف روی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه (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 فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف اختلافات معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

1- Consumption index
2- Relative consumption rates
3- Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱- میانگین (± خطای معیار) شاخص‌های تغذیه‌ای مجموع سنین لاروی (سنین سوم و چهارم) کفشدوزک شکارگر، *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

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

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و P<۰/۰۱).

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

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 ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد بود (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۸/۲۱ =F). 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*× *P. fluorescens* و *G. intraradices*× *B. subtilis* به دست آمد (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۱۰/۱۲ =F). بیشترین شاخص نرخ مصرف نسبی (RCR) لارو سنین سوم و چهارم کفشدوزک شکارگر در تیمارهای *B. subtilis* و ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار *P. fluorescens* مشاهده شد (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۲۸/۶۷ =F). لارو سن سوم و چهارم *A. bipunctata* روی تیمارهای *B. subtilis* و سولفات روی بیشترین شاخص نرخ رشد نسبی (RGR) و روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کمترین مقدار را نشان داد (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۱۱/۶۷ =F).

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک دونقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده 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 فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با باکتری‌های *B. subtilis* و *P. fluorescens* مشاهده شد. در مقابل، کمترین مقادیر این دو شاخص به طور معنی‌دار در تیمار حاوی ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست ثبت شد (به‌ترتیب P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۳۰/۶۹ =F و P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۲۳/۱۱ =F) (جدول ۲). 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≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۵۱/۹۱ =F). افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمار *B. subtilis* بیشترین شاخص RGR و در شاهد و تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار را نشان دادند (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۴۳/۵۲ =F).

وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای *A. bipunctata*

وزن شفیره کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده ازگیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (P≤ ۰/۰۱، ۱۵۹ و ۷ =df، ۹/۳۲ =F). بیشترین وزن شفیره در تیمار *B. subtilis* (۱۶/۹۸ میلی‌گرم) (شکل ۱) و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد (۱۱/۳۲ میلی‌گرم) 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 فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده 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 A_1 و A_2 می‌باشد. زیرگروه A_1 شامل تیمارهای تلفیقی *G. intraradices* × *P. fluorescens*، *G. intraradices* × *B. subtilis* و سولفات روی می‌شود، درحالی‌که زیرگروه A_2 شامل تیمار *P. fluorescens*، G. intraradices

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

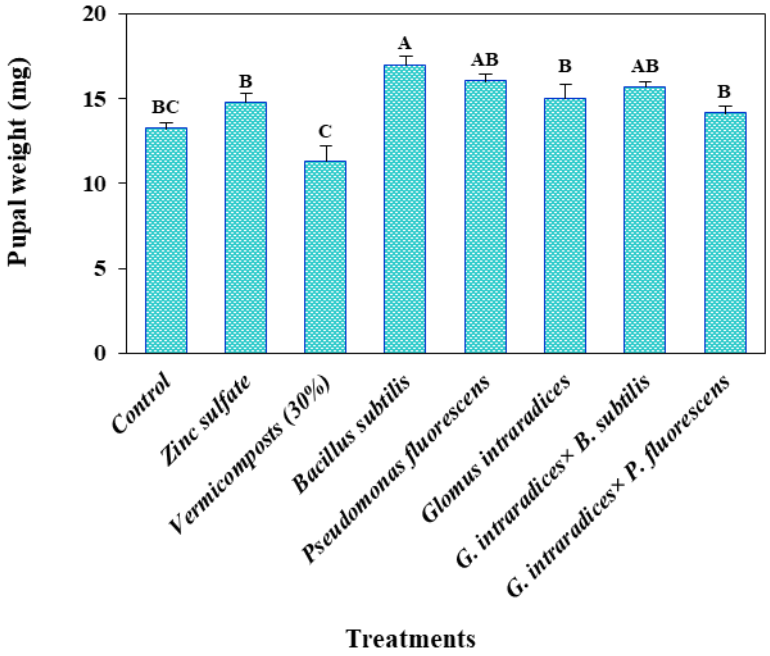
جدول ۲- میانگین (خطای معیار ±) شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

Table 2- Mean (± 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 ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)	RGR ($mg.mg^{-1}.day^{-1}$)
Control	32.73 ±1.02 ^{ab*}	12.54± 0.869 ^{c}	0.152 ±0.007^{c}	0.051 ±0.017 ^{d}
Zinc sulfate	27.21± 1.32 ^{b}	17.35 ± 0.171 ^{b}	0.287 ± 0.011 ^{b}	0.083 ± 0.037 ^{c}
Vermicompost (30 %)	14.53 ± 0.82^{c}	7.60 ± 0.019 ^{d}	0.321 ± 0.012 ^{ab}	0.067 ± 0.017 ^{d}
Bacillus subtilis	58.23 ± 1.12^{a}	24.80 ± 0.032 ^{a}	0.599 ± 0.043 ^{a}	0.276 ± 0.042 ^{a}
Pseudomonas fluorescens	48.19± 1.32 ^{a}	22.37 ± 0.184 ^{a}	0.411 ±0.006 ^{a}	0.174 ±0.021 ^{ab}
Glomus intraradices	22.65 ± 0.722 ^{b}	19.53 ±0.147 ^{b}	0.212 ±0.012 ^{b}	0.112 ±0.016 ^{b}
G. intraradices× *B. subtilis*	25.35 ± 1.04 ^{b}	15.22 ±0.192 ^{c}	0.284 ±0.082 ^{b}	0.111 ±0.065 ^{b}
G. intraradices× *P. fluorescens*	27.71 ±1.09 ^{b}	13.35 ±0.156 ^{c}	0.199 ± 0.021 ^{bc}	0.099 ± 0.032 ^{c}

* حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در مقایسه بین میانگین‌ها است (آزمون HSD و P<۰/۰۱).

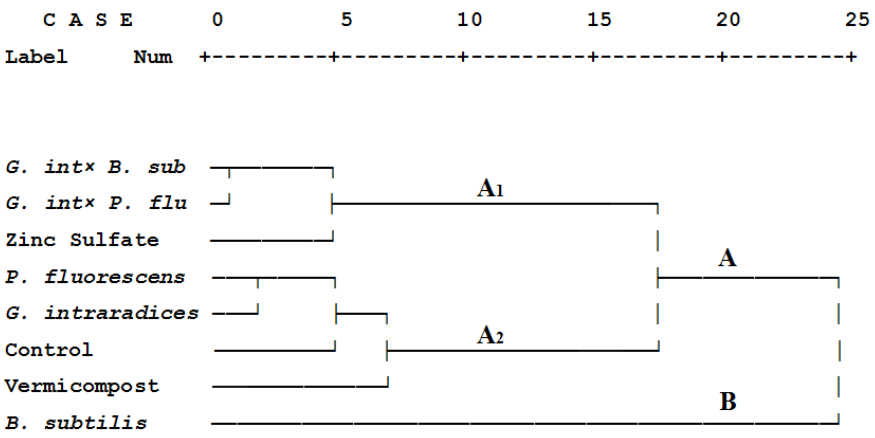
* Unsimilar letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and P<0.01).



شکل ۱- وزن شفیره کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش‌یافته روی شته‌های *Myzus persicae* تغذیه‌کننده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با کودهای مختلف

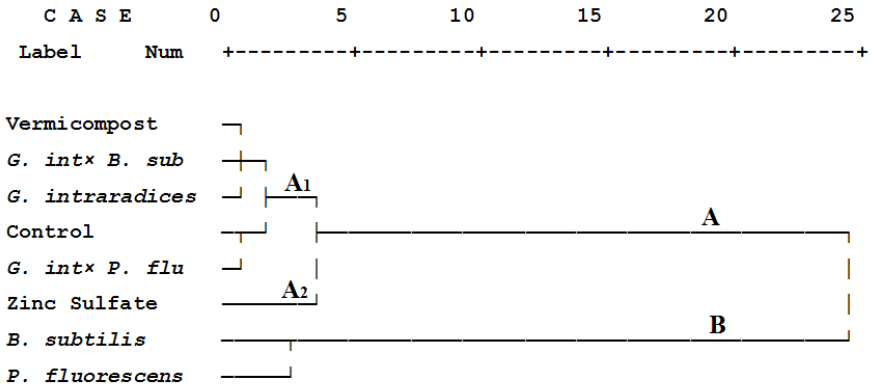
Figure 1- Weight of *Adalia bipunctata* ladybird pupae reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

شکل ۳، یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای و وزن شفیره افراد بالغ کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه‌شده از گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده 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 Aشامل دو زیرگروه A_1 وA_2 می‌باشد. زیرگروه A_1 شامل تیمارهای ورمی‌کمپوست، *G. intraradices* × *B. subtilis* و *G. intraradices*، شاهد و *G. intraradices* × *P. fluorescens* می‌باشد، درحالی‌که زیرگروه A_2 شامل تیمار سولفات روی است. گروه B شامل تیمارهای باکتریایی *B. subtilis* و *P. fluorescens* بود (شکل ۳).



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

تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی (محرک 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-Talaee *et al.*, 2024).

شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده به زیست‌توده (ECI) 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 *B. subtilis*، *P. fluorescens* و سولفات روی بیشترین میزان شاخص ECI را داشتند، درحالی‌که کمترین شاخص‌های ECI و RGR روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. پایین

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 ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد نسبت به تغذیه مجموع سنین لاروی احتمالاً از سازوکار آنتی‌بیوزی برخوردار می‌باشد. تیمار ورمی کمپوست جذب عناصر درشت‌مغذی ضروری مانند N، P، K، 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 تیمارشده 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 کارآیی 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 آللوشیمیایی 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-Talaee *et al.*, 2024). در نتیجه تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی می توانند 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 خورده‌شده و نرخ مصرف نسبی (RCR) در تیمارهای باکتری *B. subtilis* و ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده این است که لاروهای شکارگر میزان بیشتری طعمه (شته) مصرف کردند، درحالی‌که میزان شاخص RCR شکارگر در تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد افزایش یافت، از سوی دیگر میزان شاخص RGR کاهش یافت که می‌تواند به‌دلیل عدم وجود مشکل در عمل بلع باشد که عامل مؤثر در کاهش RGR نیز می‌تواند مربوط به کارآیی تأثیر ترکیبات غذای (طعمه) به‌دلیل وجود متابولیت‌های ثانویه باشد (Lazarević & Perić-Mataruga, 2003). لذا، هر چند لاروهای کفشدوزک شکارگر بخش عمده‌ای از غذای خورده‌شده را هضم کرده، امّا قادر به استفاده از مواد هضم‌شده جهت نشو و نما نبوده که می‌تواند به‌دلیل 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-Talaee *et al.*, 2015). نتایج حاصل از تغذیه لاروی نشان داد که بیشترین مقادیر RCR و RGR به‌ترتیب در تیمارهای سولفات روی و باکتری *B. subtilis*، و کمترین مقدار این شاخص‌ها در تیمار ورمی‌کمپوست 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 نمای آن‌ها کوتاه‌تر از لاروهایی که از غذاهای با ارزش غذایی پایین تغذیه می‌کنند (Hwang *et al.*, 2008; Mardani-Talaee *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-Talaee *et al.*, 2024). وزن شفیرگی را می‌توان به‌عنوان 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* پرورش‌یافته 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 ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافته که در طعمه یا رژیم غذایی حاوی مقادیر پایین ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین، به‌دلیل 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 به‌دست‌آمده بیان‌کننده بالا بودن کیفیت غذایی شته‌های تغذیه شده با گیاه فلفل‌دلمه تیمارشده با *B. subtilis* و *P. fluorescens* است، ارزش غذایی این تیمارها برای تغذیه افراد بالغ کفشدوزک مناسب‌تر از تیمارهای دیگر می‌باشد. به‌طور 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

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 آللوکمیکال 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 ریخت‌شناختی 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 ورمی‌کمپوست بیشتر بود (Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a,b; 2017). علت چنین تفاوتی ممکن است پایین بودن کیفیت غذایی گیاهان تیمارشده با تیمار ورمی‌کمپوست، افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی سیستم آنتی‌اکسیدانی شته سبز هلو باشد(Mardani-Talaee *et al.*, 2016 a,b). بنابراین، براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که تیمار ورمی‌کمپوست 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 (Mardani-Talaee *et al.*, 2024, 2025). بالا بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت کفشدوزک‌های شکارگر در تیمارهای باکتری *P. fluorescens*، *B. subtilis* و سولفات روی بیانگر بالا بودن کیفیت غذایی این تیمارها در مقایسه با ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد برای هر دو کفشدوزک می‌باشد. بنابراین، وجود اختلاف معنی‌دار در فعالیت‌های آنزیمی کفشدوزک‌های *A. bipunctata* (Mardani-Talaee *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 آفت‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (Singh *et al.*, 2019; Enriquez *et al.*, 2022). این راهکار علاوه‌بر افزایش کارآیی 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.

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-Talaee, M., Zibaee, 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 achallenge for agriculture. *Candian Journal of Microbiol*ogy, *36*, 591-608. https://doi.org/10.1139/m90-105.
7. Biere, A., & Goverse, 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., Kasprowicz, 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-Talaee, 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., & Honeck, A. (1996). Ecology of Coccinellidae, 1st Ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland, 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-Talaee, M., Gadir Nouri-Ganblani, G., Zibaee, 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-Talaee, 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-Talaee, 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-Talaee, 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-Talaee, 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-Talaee, M., Zibaee, 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-Talaee, M., Zibaee, 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 leaffolder) (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 aggregatum* 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 leaffolder 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.

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.