

Nutritional interaction between ladybird, *Adalia bipunctata* and aphid, *Myzus persicae* reared on different treatments of mineral, organic and biological fertilizers

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. 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. The quality of the prey, the nutritional value and the 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. The study investigates the effects of different plant growth promotion treatments on the nutritional indices of *Adalia bipunctata* L. feeding on *Myzus persicae* (Sulzer), growing on treated *Capsicum annum* under greenhouse conditions.

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

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 the 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*.

Discussion

The study found 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 show that the treatment of the soil with biological fertilizers (*P. fluorescens* and *B. subtilis*) had a positive and significant effect on the parameters of the predation. 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: Zinc Sulfate, Nutritional indices, Biological fertilizer, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*.

برهمکنش 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^{۲*}، قدیر نوری قنبلانی^۲، مهدی حسن پور^۲، بهرام ناصری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳

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

۲- استاد، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

razmjou@uma.ac.ir

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

چکیده

فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L.، یکی از محصولات جالیزی مهم بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است. یکی از آفات عمده‌ی این گیاه شته‌ی سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه‌ی زندگی هولوسیکلیک می‌باشد. از دشمنان طبیعی مهم این گونه شته، کفشدوزک دو نقطه‌ای، *Adalia bipunctata* L. می‌باشد. این پژوهش روی گیاه فلفل دلمه‌ی رقم California Wonder تغذیه شده 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. تاثیر محلول‌پاشی سولفات روی بر گیاه فلفل دلمه‌ی، افزودن کود آلی ورمی-کمپوست ۳۰ درصد و کودهای زیستی *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens*، *Glomus intraradices* × *G. intraradices* و *B. subtilis* × *P. fluorescens* به بستر بذری گیاه فلفل دلمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. شاخص تغذیه‌ای سنین مختلف لاروی و حشره بالغ کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای پرورش یافته روی شته سبز هلو، در شرایط آزمایشگاهی با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ 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 ورمی کمپوست ۳۰ درصد ثبت شد. مقادیر شاخص ECI بالغ شکارگر به طور معنی‌داری در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* افزایش و در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافت. 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. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار کردن خاک با کودهای زیستی (*P. fluorescens* و *B. subtilis*) روی

شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر تاثیر مثبت و معنی‌داری دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی برای تیمار خاک گیاه فلفل دلمه‌ای می‌تواند به عنوان مکملی برای برنامه کنترل بیولوژیک شته سبز هلو (*M. persicae*) مورد استفاده قرار گیرد.

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

مقدمه

در زیست بوم‌های طبیعی و کشاورزی، تعامل گیاهان و ریز جانداران خاک تأثیر قابل توجهی بر ساختار خاک، چرخه‌ی زیستی و شیمیایی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط ایفا می‌کنند (Bashan & Levany, 1990; Megali et al., 2015). از جمله‌ی این ریز جانداران خاک، باکتری‌های افزایش‌دهی رشد گیاه (PGPR) و قارچ میکوریزی آربوسکولار (AMF) بوده که می‌توانند بر کیفیت تغذیه‌ی گیاه، متابولیت‌های ثانویه، آنزیم‌ها، هورمون‌های گیاهی و ترکیبات آلی فرار گیاه تأثیر بگذارند. از سوی دیگر این ریز جانداران بر فعل و انفعالات بین گیاهان میزبان، حشرات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی تأثیر می‌گذارند (Gadhav et al., 2016). طی سه دهه گذشته به دلیل روشن شدن اثرات زیان‌بار مصرف کودهای شیمیایی، کاربرد باکتری‌های خاکری، به‌ویژه PGPR در تغذیه گیاه زراعی در زیست بوم‌های کشاورزی پایدار در سراسر جهان افزایش یافته است (Gouda et al., 2018). بنابراین، PGPR می‌توانند با استفاده از فرآیندهای مختلفی به طور مستقیم و غیرمستقیم در افزایش رشد و عملکرد گیاه موثر 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 غیر مستقیم، اغلب این باکتری‌ها از طریق فرآیندهای مختلفی همچون مقاومت القایی در گیاه نسبت به عوامل بیماری‌زا، رشد و نمو گیاه را بهبود می‌بخشند (Stella de Freitas et al., 2019). از سوی دیگر، AMF سبب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک به خصوص از منابع غیر قابل دسترس آن‌ها می‌شود (Megali et al., 2015). علاوه بر 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).

ورمی کمپوست 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 ورمی کمپوست 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-Talae et al., 2016a,b).

عنصر روی، یکی از هفت ریز مغذی و ضروری در تغذیه‌ی گیاه است که به دلیل تشکیل کمپلکس با عناصر نیتروژن، اکسیژن، گوگرد و فعالیت آنزیم‌هایی مانند الکل‌دهیدروژناز و کربنیک‌آنیدراز در فرایند فتوسنتز نقش اساسی ایفا می‌کند (Alloway, 2008). همچنین، ساختار اسید آمینه‌ی تریپتوفان (پیش ماده‌ی 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 شده است که گیاهان تیمار شده با روی تأثیر مثبتی بر پارامترهای رشد جمعیت حشرات مکنده دارند (Mardani-Talae et al., 2016a). از سوی دیگر تأثیر منفی بر تغذیه حشرات جونده دارند (Noret et al., 2007).

فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L.، گیاهی یک ساله و متعلق به تیره‌ی بادمجانیان، یکی از محصولات جالیزی مهم که بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است (Chavez-Mendoza et al., 2015). این گیاه در معرض حمله‌ی آفات و بیماری‌های متعددی قرار دارد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از آفات عمده‌ی آن شته‌ی سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer) با پراکنش جهانی، پلی‌فاژ و چرخه‌ی زندگی هولوسیکلیک می‌باشد (Hassanvand et al., 2020). در اثر تغذیه علاوه بر 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 کنترل شته‌ها از حشره‌کش‌های سیستمیک استفاده می‌شود که اثرات زیان‌بار شدیدی بر

1. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria
2. Arbuscular Mycorrhizal Fungi

سلامت انسان و سایر موجودات غیر هدف دارند (Naeem et al., 2018). لذا استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست در کنترل آفت ضروری است؛ امروزه برای کاهش خسارت این آفت برنامه‌های مدیریت تلفیقی مد نظر است که یکی از مهم‌ترین بخش‌های این برنامه، کنترل بیولوژیک می‌باشد (Hajek & Eilenberg, 2018). از دشمنان طبیعی مهم شته‌ها، کفشدوزک‌ها می‌باشند؛ گونه‌ی کفشدوزک *Adalia bipunctata* L. از اهمیت خاصی برخوردار است که در کاهش جمعیت شته‌ها مؤثر می‌باشد (Sun et al., 2020; Ricupero et al., 2017). کفشدوزک دو نقطه‌ای بومی امریکای شمالی بوده و در سراسر مناطق هولاکتیک، یکی از کفشدوزک‌های رایج درختان باغی می‌باشد (Honěk et al., 2023). این شکارگر همچنین از شکارگرهای چندین خوار 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 برنامه‌ی کنترل بیولوژیک زمانی کامل خواهد بود که اطلاعات جامع از وضعیت تغذیه‌ای دشمن طبیعی آفت مورد نظر در اختیار باشد؛ در این میان، مطالعه‌ی شاخص‌های تغذیه‌ای می‌تواند به عنوان معیاری مؤثر انتخاب و بررسی شود. ارزیابی شاخص‌های تغذیه‌ای بخش مهم و بزرگی از اکولوژی تغذیه هستند (Waldbauer, 1968). این شاخص‌ها اطلاعات ارزشمندی در مورد زیست‌شناسی تغذیه یا سازگاری تغذیه‌ی 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-Talaei et al., 2016a, 2024; Ramadan et al., 2022). بنابراین، گیاهان میزبان نه تنها روی فعالیت حشرات گیاه‌خوار، بلکه به طور مستقیم و غیر مستقیم 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 پارامترهای اکولوژی و تغذیه‌ای حشرات گیاه‌خوار به خوبی بررسی شده است (Moon et al., 2020; Alizamani et al., 2013). اما اثرات آنها بر پارامترهای مهم دشمنان طبیعی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Hunter et al., 2012; Price, 1992; Schausberger et al., 2012). در پژوهش قبلی نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین راندمان تبدیل غذای بلعیده شده (ECI) در لاروهای شکارگر *Hippodamia variegata* (Goeze) روی شته‌های تیمار شده با *Bacillus subtilis* و ورمی‌کمپوست بود. از سوی دیگر بیشترین و کمترین نرخ رشد نسبی (RGR) شکارگر در شته‌های تیمار شده با سولفات روی و ورمی‌کمپوست به ترتیب به دست آمد. در نتیجه سولفات روی و کودهای زیستی شامل PGPR می‌توانند شاخص تغذیه‌ای شکارگرها را افزایش دهند و در مدیریت تلفیقی آفات بر مبنای کنترل بیولوژیک مؤثر باشند (Mardani-Talaei et al., 2024). در نتیجه، کودها می‌توانند بر کیفیت تغذیه گیاه مؤثر باشند، که برای انتخاب میزبان توسط حشرات گیاه‌خوار بسیار مهم است (Mardani-Talaei et al., 2015; Saravanakumar et al., 2008; Gadhave et al., 2016).

کنترل 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 کنترل بیولوژیک آفات را بهبود بخشند؛ این استراتژی منجر به کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی، حفظ سلامت محیط زیست و افزایش بهره‌وری کشاورزی پایدار خواهد شد (Barratt et al., 2018). 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 (Mardani-Talaei et al., 2016a,b; Stella de Freitas et al., 2019; Mardani-Talaei et al., 2024). لذا هدف از پژوهش حاضر، مطالعه‌ی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک دو نقطه‌ای پرورش‌یافته روی شته سبز هلو تغذیه شده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف معدنی، آلی و زیستی می‌باشد که نتایج 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 کنترل

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 موسسه‌ی آب و خاک کرج تهیه شدند. خاک زراعی مورد نیاز از یک مزرعه‌ی سیب زمینی در روستای نیار در سه کیلومتری شمالی اردبیل جمع‌آوری شد.

کشت گیاهان میزبان

بذور فلفل دلمه‌ای از شرکت کشت فلات ایرانیان زمین تهیه و در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه‌ی ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی متر در در شرایط گلخانه با دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 10 درصد و نور طبیعی کشت شد. آزمایش در گلخانه با هفت تیمار و یک شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

۱- گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته شده در خاک زراعی معمولی به علاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله چهار تا شش برگی با سولفات روی به میزان یک در هزار

۲- گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته شده در مخلوط خاک زراعی معمولی با ورمی کمپوست به نسبت ۳۰ درصد

۳ و ۴- گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته شده در خاک زراعی معمولی و تیمار بذریه قبل از کشت با باکتریهای شامل *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* (به ازای هر بذریه 1×10^7 نرخ CFU/ml^1)

۵- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی و تیمار بذریه قبل از کشت با قارچ *Glomus intraradices* (به نسبت پنج گرم به ازای هر بذریه)

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

۸- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش یافته در خاک زراعی معمولی (بدون کوددهی) به عنوان تیمار 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 $12 \times 20 \times 15$ سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد با دمای 25 ± 2 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شد. حشرات کامل کفشدوزک تغذیه‌کرده از شته‌ی 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 ۸ 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 ۸ 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 سن لاروی کفشدوزک تعداد شته‌هایی که در اختیار لاروها قرار گرفت، افزایش داده شد.

مطالعه‌ی شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک شکارگر *A. bipunctata*

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های تغذیه‌ای کفشدوزک‌های شکارگر تغذیه‌شده با شته‌ی سبزی هلو‌ی پرورش‌یافته روی گیاه فلفل دلمه‌ی تیمار شده با تیمارهای مختلف کودی، تعداد ۱۰۰ عدد لارو هم‌سن کفشدوزک شکارگر تازه تفریخ شده، انتخاب شد. سپس در پنج گروه ۲۰تایی تا تبدیل شدن به لاروهای سن دوم روی شته‌ی سبزی هلو درون ظروف پلاستیکی گرد (قطر ۱۶/۵ و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر) پرورش داده شدند. پس از ظهور لاروهای سن دوم، ادامه‌ی پرورش لاروها به صورت انفرادی در داخل ظروف پتری ۸ سانتی‌متری انجام شد.

1. Colony- Forming Units Per Milliliter

شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای کفشدوزک شکارگر تغذیه‌کننده از شته‌ی سبز هلو از زمان ظهور لاروهای سن دوم تا دوره‌ی پیش‌شغیرگی به صورت روزانه ثبت شد. شاخص‌های تغذیه‌ای حشرات کامل کفشدوزک پس از ظهور، به مدت هفت روز ثبت شد. بدین منظور وزن لاروها و حشره‌ی کامل قبل و بعد از تغذیه، وزن فضولات تولید شده، وزن غذای داده‌شده و وزن غذای باقی‌مانده به طور روزانه تا زمان ظهور پیش‌شغیره تعیین شد. همچنین، بعد از ظهور شغیره وزن آنها نیز اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین وزن خشک، نمونه‌های دیگری از حشرات، شته‌ی مورد آزمایش و لاروها و حشره‌ی کامل هم‌زمان با انجام آزمایش‌های اصلی انتخاب و بعد از توزین اولیه به مدت 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)، بازدهی تبدیل غذای بلعیده‌شده (ECI)، نرخ رشد نسبی (RGR) و نرخ مصرف نسبی (RCR)، با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد (Waldbauer, 1968).

$$ECI = (P / E) \times 100 \quad (\text{معادله ی ۱})$$

$$CI = (E / A) \quad (\text{معادله ی ۲})$$

$$RGR = (W_t - W_0) / (T \times W_0) \quad (\text{معادله ی ۳})$$

$$RCR = E / (T \times W_0) \quad (\text{معادله ی ۴})$$

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)؛ W₀= وزن اولیه‌ی لاروها/ حشره بالغ (میلی گرم)؛ T= مدت زمان تغذیه (روز)

تجزیه‌ی داده‌ها

قبل از تجزیه‌ی 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 تجزیه‌ی واریانس یک طرفه (ANOVA, one way) با نرم‌افزار آماری MINITAB نسخه‌ی 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 برنامه‌ی Excel ترسیم شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی 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

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 تیمار شده با کودهای مختلف اختلافات معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد نشان دادند (جدول ۱).

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 تیمار شده 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/day)	RGR (mg/mg/day)
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

1. Consumption index

2. Relative consumption rates

3. Kolmogorov-Smirnov

Vermicompost (30 %)	21.56 ± 1.23 ^b	1.119 ± 0.121 ^b	0.412 ± 0.129 ^a	0.087 ± 0.001 ^c
<i>Bacillus subtilis</i>	43.69 ± 2.98 ^a	1.710 ± 0.129 ^a	0.598 ± 0.121 ^a	0.189 ± 0.004 ^a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	40.84 ± 3.21 ^a	1.159 ± 0.183 ^{ab}	0.176 ± 0.011 ^c	0.111 ± 0.011 ^b
<i>Glomus intraradices</i>	33.12 ± 1.12 ^{ab}	1.421 ± 0.023 ^{ab}	0.197 ± 0.021 ^{bc}	0.145 ± 0.002 ^{ab}
<i>G. intraradices</i> × <i>B. subtilis</i>	37.21 ± 1.94 ^{ab}	0.679 ± 0.191 ^c	0.214 ± 0.054 ^b	0.138 ± 0.004 ^b
<i>G. intraradices</i> × <i>P. fluorescens</i>	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 نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در مقایسه بین میانگین ها است (آزمون HSD و $P < 0.01$).

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

نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده به زیست توده‌ی (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 ($F = 8.21$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$). بیشترین میزان شاخص مصرف (CI) لارو سنین سوم و چهارم شکارگر با تغذیه از شته‌های پرورش یافته روی تیمار شاهد و *B. subtilis* ثبت شد و کمترین میزان آن روی تیمارهای *G. intraradices* × *P. fluorescens* و *G. intraradices* × *B. subtilis* به دست آمد ($F = 10.12$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$). 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 ($F = 28.67$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$). 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 ($F = 11.67$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$).

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata*

شاخص‌های تغذیه‌ای افراد بالغ کفشدوزک دو نقطه‌ای پرورش یافته روی شته‌های تغذیه کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف اختلاف معنی داری را در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص‌های ECI و CI کفشدوزک بالغ *A. bipunctata* با تغذیه از شته سبز هلو روی گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با روی باکتری‌های *B. subtilis* و *P. fluorescens* و کمترین مقادیر این دو شاخص کود ورمی کمپوست ۳۰ درصد به طور معنی دار مشاهده شد (به ترتیب $F = 30.69$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$ و $F = 23.11$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین شاخص RCR افراد بالغ کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای *B. subtilis* و *P. fluorescens* و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد به دست آمد ($F = 51.91$; $df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$). افراد بالغ کفشدوزک شکارگر در تیمار *B. subtilis* بیشترین شاخص RGR و در شاهد و تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد کمترین مقدار را به طور معنی دار نشان دادند ($df = 7$ و 159 ; $P \leq 0.01$; $F = 43.52$).

جدول ۲- میانگین (خطای معیار ±) 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 (± 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/day)	RGR (mg/mg/day)
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
<i>Bacillus subtilis</i>	58.23 ± 1.12 ^a	24.80 ± 0.032 ^a	0.599 ± 0.043 ^a	0.276 ± 0.042 ^a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	48.19 ± 1.32 ^a	22.37 ± 0.184 ^a	0.411 ± 0.006 ^a	0.174 ± 0.021 ^{ab}
<i>Glomus intraradices</i>	22.65 ± 0.722 ^b	19.53 ± 0.147 ^b	0.212 ± 0.012 ^b	0.112 ± 0.016 ^b
<i>G. intraradices</i> × <i>B. subtilis</i>	25.35 ± 1.04 ^b	15.22 ± 0.192 ^c	0.284 ± 0.082 ^b	0.111 ± 0.065 ^b
<i>G. intraradices</i> × <i>P. fluorescens</i>	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 نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار در مقایسه بین میانگین ها است (آزمون HSD و $P < 0.01$).

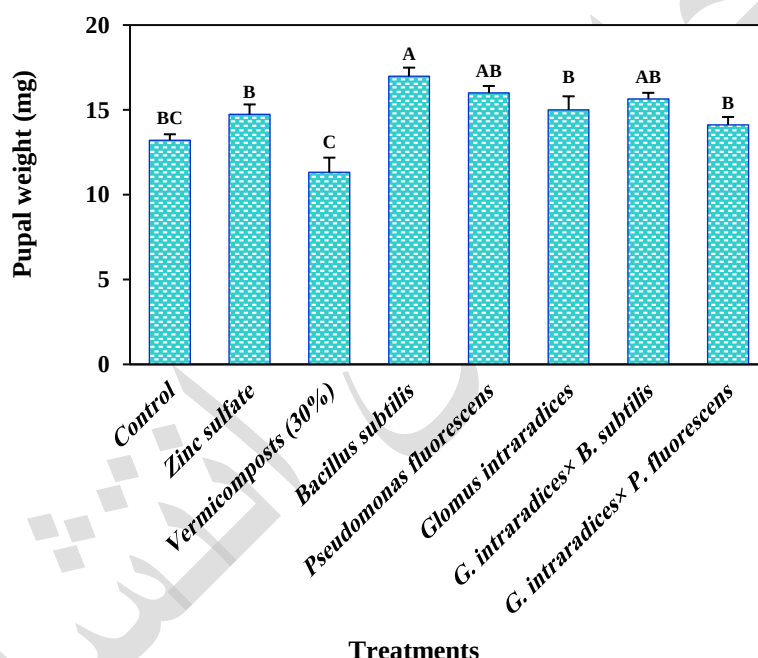
*Unsimilar letters in each column indicate a significant difference in the comparison between means (HSD test and $P < 0.01$).

وزن شفیره کفشدوزک دو نقطه‌ای، *A. bipunctata*

وزن شفیره‌ی کفشدوزک شکارگر پرورش‌یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($P \leq 0.01$; $F=9.32$; $df=7$ و 159) (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

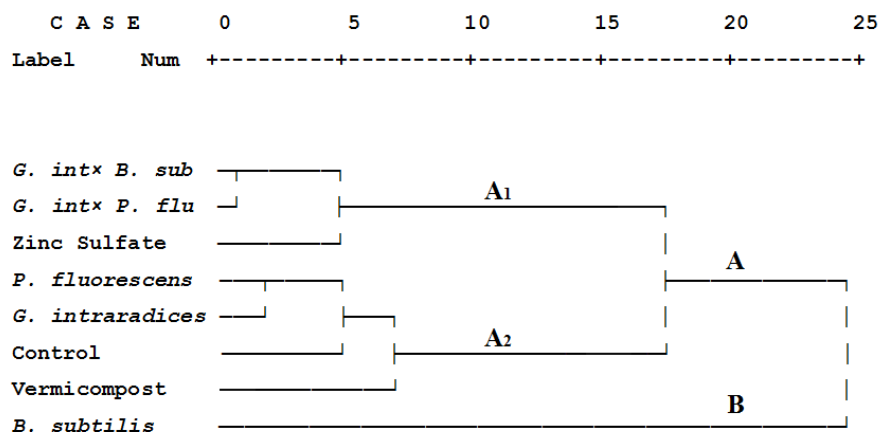
شکل ۲ یک مطالعه خوشه‌ای از شاخص‌های تغذیه‌ای لاروهای سنین مختلف کفشدوزک شکارگر پرورش یافته روی شته سبز هلو تغذیه شده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل خوشه‌ای از تیمارهای مختلف کود بر اساس شاخص‌های تغذیه‌ای نشان‌دهنده وجود دو گروه A و B است؛ گروه A شامل دو زیرگروه A_1 و A_2 می‌باشد. زیرگروه A_1 شامل تیمارهای تلفیقی *G. intraradices* × *B. subtilis*، *G. intraradices* × *P. fluorescens* و سولفات روی می‌شود، در حالی که زیرگروه A_2 شامل تیمار *G. intraradices* × *P. fluorescens*، شاهد و ورمی کمپوست است. گروه B شامل تیمار باکتریایی *B. subtilis* بود (شکل ۲).



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

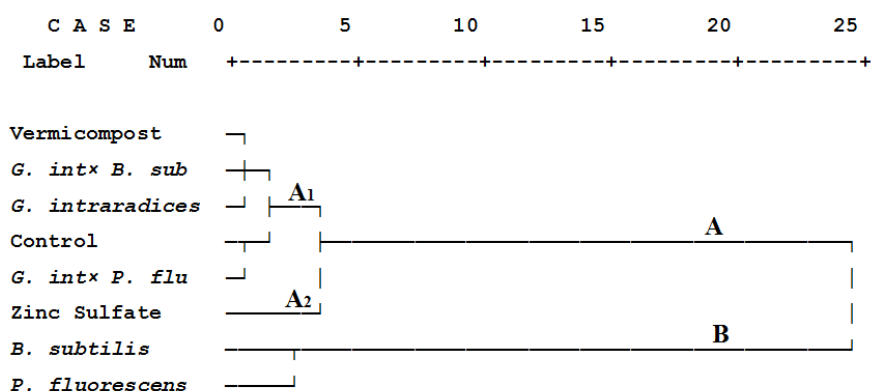
Figure 1. Weight of *Adalia bipunctata* ladybird pupae reared on aphids *Myzus persicae* feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

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 بر اساس 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 ورمی کمپوست، *G. intraradices* × *B. subtilis*، شاهد و *G. intraradices* × *P. fluorescens* می‌باشد، در حالی که 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 بر اساس 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 بر اساس 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.

بحث

تیمارهای مختلف کودهای معدنی، آلی و زیستی (محرک رشد گیاه) روی فلفل دلمه‌ای به طور قابل توجهی بر شاخص‌های تغذیه کفشدوزک شکارگر دو نقطه‌ای 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 اکولوژیکی دشمنان طبیعی بویژه شکارگرها بسیار مهم است (Mardani-Talaei *et al.*, 2024).

شاخص بازدهی تبدیل غذای بلعیده شده به زیست توده (ECI) یک معیار کلی برای سنجش توانایی آفات گیاه‌خوار و دشمنان طبیعی در استفاده از غذای خورده شده برای نشو و نما است (Singh *et al.*, 2019). افزایش و کاهش ECI می‌تواند به تفاوت در خواص شیمیایی و فیزیولوژیکی غذای مصرف شده نسبت داد. در مطالعه‌ی حاضر، لاروهای سن سوم و چهارم کفشدوزک دو نقطه‌ای روی تیمار باکتری *B. subtilis* و سولفات روی بیشترین میزان شاخص ECI را داشتند، در حالی که، کمترین شاخص‌های ECI و RGR روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد. پایین بودن ECI احتمالاً می‌تواند معرف وجود ساز و کار آنتی‌بیوزی (وجود مواد بازدارنده‌ی تغذیه‌ای) در ترکیب غذایی مورد نظر بوده که سبب کاهش وزن لاروهای تغذیه‌کننده می‌شود. بنابراین، تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد نسبت

به تغذیه‌ی مجموع سنین لاروی احتمالاً از مکانیسم آنتی‌بیوزی برخوردار می‌باشد. تیمار ورمی کمپوست جذب عناصر درشت مغذی ضروری مانند N, P, K, Ca و Mg را کاهش می‌دهد که منجر به کاهش کیفیت گیاه و افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنی 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 بیوماس دارد (Singh et al., 2019). کاهش مقادیر ECI ممکن است به دلیل اینکه حشرات گیاه‌خوار به جای هضم مؤثر مواد آلی‌شیمیایی گیاهی، درگیر فعالیت‌های سم‌زدایی باشد (Singh et al., 2019). از سوی دیگر، کاهش در میزان مصرف غذا نشان دهنده‌ی پایین بودن ارزش غذایی است که احتمالاً در نتیجه‌ی اثرات رفتاری و فیزیولوژیکی می‌باشد (Nathan et al., 2006). در پژوهش قبلی، تیمارهای مختلف محرک رشد گیاهی اثرات قابل توجهی بر شاخص‌های تغذیه‌ای *H. variegata* پس از تغذیه از شته‌های سبز هلو داشتند که لاروهای کفشدوزک بالاترین مقادیر ECI روی شته‌های پرورش‌یافته در گیاهان تیمار شده با باکتری *B. subtilis* مشاهده شد (Mardani-Talaee 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 نشان‌دهنده‌ی 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 غذای (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 هضم شده 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-Talaee 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 دوره‌ی تغذیه‌ی لارو یک عامل مؤثر در مقادیر شاخص‌های RCR و RGR می‌باشد. در مجموع، نرخ رشد لارو که از میزبان با ارزش غذایی بالا تغذیه می‌کند، افزایش یافته و طول دوره‌ی نشو و نما 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 پارامترهای باروری مانند دوره زایشی و وزن شفیرگی تأثیر بگذارد (Yu Qin et al., 2016; Mardani-Talaee 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* 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 ورمی کمپوست ۳۰ درصد کاهش یافته که در طعمه یا رژیم غذایی حاوی مقادیر پایین ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین، به دلیل کاهش بازدهی تبدیل آنزیم‌های گوارشی طول دوره‌ی 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 بدست آمده بیان‌کننده بالا بودن کیفیت غذای شته‌های تغذیه کرده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با *B. subtilis* و *P. fluorescens* است، ارزش غذایی این تیمارها برای تغذیه‌ی افراد بالغ کفشدوزک مناسب‌تر از تیمارهای دیگر می‌باشد. به طور کلی رژیم غذایی با پروتئین کم می‌تواند باعث افزایش نرخ تغذیه‌ی 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 هضم شونده‌ی غذا و نسبتی از غذای قابل هضم که به توده‌ی 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 مصرف شده جهت رشد و نمو نشان می‌دهد. بنابراین، عدم تغییر در ECI نشان می‌دهد که آلوکمیkal مورد تغذیه‌ی حشره هیچ نوع سمیت مزمنی نشان نمی‌دهد (Rubiya

(et al., 2019). نتایج بدست آمده از مطالعه قبلی نشان داد که تیمارهای مختلف کودهای شیمیایی، آلی و زیستی روی ویژگی‌های گیاه میزبان (لفل دلمه‌ای) تاثیر می‌گذارد و این تغییرات مورفولوژیکی گیاه بر پارامترهای دموگرافیک (جدول زندگی، پارامترهای رشد جمعیت و تولید مثل) و فیزیولوژیکی شته سبز هلو تاثیر گذار بوده و همین پارامترهای ذکر شده در تیمار سولفات روی نسبت به مقادیر بدست آمده برای ورمی کمپوست بیشتر بود (Mardani-Talaee et al., 2016a,b; 2017). علت چنین تفاوتی ممکن است به پایین بودن کیفیت غذایی گیاهان تیمار شده با تیمار ورمی کمپوست، افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی سیستم آنتی‌اکسیدانی شته سبز هلو باشد (Mardani-Talaee et al., 2016a,b). بنابراین، بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت، که تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد به دلایلی مانند بالا بودن طول دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ، پایین بودن میزان باروری، پایین بودن نرخ بقا، امید به زندگی و پارامترهای تولید مثل شته سبز روی آن تیمار نامناسبی نسبت به سایر تیمارهای کودی برای شته سبز هلو بوده و باعث القای 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 کرده از آن‌ها را برای کفشدوزک‌های شکارگر آن‌را تغییر دهد. در مطالعات گذشته، علاوه بر پارامترهای زیستی مقادیر بدست آمده برای پارامتر نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نیز مؤید مطلوب بودن تیمارهای باکتریایی *B. subtilis* *P. fluorescens* 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* و *B. subtilis* 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-Talaee et al., 2022) و شاخص‌های تغذیه‌ای روی تیمارهای مختلف کودی نشان داد که نوع تیمار کود می‌تواند ارزش غذایی آنرا تغییر دهد. از منظر کشاورزی پایدار، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که ترکیب کودهای زیستی با برخی مواد معدنی، مانند سولفات روی، می‌تواند به عنوان یک راهکار عملی برای کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد (Singh et al., 2019; Enriquez et al., 2022). این راهکار علاوه بر افزایش کارایی دشمنان طبیعی آفات، باعث حفظ سلامت خاک، افزایش تنوع زیستی و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف سموم می‌شود (Nathan et al., 2006; Rubiya et al., 2019). به ویژه در کشت محصولاتی مانند فلفل دلمه‌ای، که تقاضای بالایی برای کنترل 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 بلند مدت 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

- 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.
- Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talaee, 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>.
- Alloway, B. J. (2008). Zinc in Soils and Crop Nutrition. *International Zinc Association and International Fertilizer Association*, 16, 135
- 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>.
- 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>.

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>.

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.

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. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0058-y>.

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>.

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*, 1-11.

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>.

Fenton, B., Kasproicz, 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>.

Gadhavi, 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.

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>.

Hajek, A. E., & Eilenberg, J. (2018). *Natural enemies: an introduction to biological control*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107280267>.

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>.

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>.

Hodek, I., & Honeck, A. (1996). *Ecology of Coccinellidae*, 1st edition. Kluwer Academic Publishers. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1349-8>.

Honěk, A., Novák, I., Martinková, Z., Saska, P., Kulfan, J., Holecová, M., ... & 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>.

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*, 724-732.

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>.

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>.

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>.

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>.

Mardani-Talaei, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Naseri, B., & Asgharzadeh, A. (2016a). 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>.

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*, e2400486. <https://doi.org/10.1002/jobm.202400486>.

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>.

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)*, 47, <https://doi.org/10.22055/PPR.2025.48593.1781>.

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>.

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>.

Mattson, W. J. Jr. 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>.

Megali, L., Schlaue, 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>.

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.

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.

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>.

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/10.1017/S174275841100018X>.

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>.

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>.

- 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/>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- Spiegel-Roy, P. and Goldschmidt, E. 2008. Biology of citrus. Cambridge University Press, pp 140–184.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.

Waldbauer, G. P. (1968). The consumption and utilization of food by insects. In *Advances in insect physiology* (Vol. 5, pp. 229-288). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2806(08)60230-1).

Wittman, J. T., & Aukema, B. H. (2019). Foliage type and deprivation alters the movement behavior of late instar European gypsy moth *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebidiae). *Journal of Insect Behavior*, 32, 24-37. <https://doi.org/10.1007/s10905-019-09711-2>.

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.

نسخه پیش انتشار