



Bottom-up effects of different fertilizer on changes in the two sex life table of the ladybug beetle *Adalia bipunctata* L.

M. Mardani-Talae^{*1}, J. Razmjou², G. Nouri - Ganbalani², M. Hassanpour², B. Naseri²

1. ***Corresponding Author:** Ph.D. in Agricultural Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (mozghanmardani65@gmail.com)
2. Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 19 December 2024

Revised: 14 January 2025

Accepted: 20 February 2025

Abstract

Background and Objectives

The widespread use of chemical pesticides and fertilizers remains essential in modern agriculture; however, their excessive application poses significant environmental and human health risks. Consequently, alternative pest management strategies, such as host plant resistance and biological control, have gained increasing attention. One promising avenue of research explores the role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) fertilizers in integrated pest management (IPM). PGPR fertilizers improve plant quality by improving nutrient availability, facilitating nitrogen fixation, and regulating key signaling pathways. Rhizobacteria contribute to plant defense against herbivorous insects through two primary mechanisms: direct defense, involving the release of insect-detering proteins, and indirect defense, wherein dilute volatile compounds attract natural enemies of insect pests. Induced systemic resistance (ISR) has been shown to significantly reduce pest populations, reinforcing the role of plant resistance in IPM strategies. Beyond host plant resistance, biological control is widely regarded as a crucial component of IPM programs. Predatory coccinellids have garnered global interest among biological control agents due to their potential in managing diverse populations of sap-sucking pests. The predatory ladybird beetle, *Adalia bipunctata* L., is a polyphagous species that primarily prey on aphids, with a particular preference for the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), a highly polyphagous pest responsible for significant damage to numerous field and greenhouse crops. This study aims to assess the demographic parameters of *A. bipunctata*, a natural predator of *M. persicae* when reared on bell pepper plants and treated with different plant growth stimulants. The findings could provide valuable insights into the effectiveness of biological control agents as a sustainable strategy for reducing *M. persicae* populations and mitigating crop damage.

Materials and Methods

In this study, the effects of zinc sulfate foliar application and the incorporation of organic fertilizer (30% vermicompost) and biological fertilizers (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Glomus intraradices*, *G. intraradices* × *B. subtilis*, and *G. intraradices* × *P. fluorescens*) into the growth medium of bell pepper plants were investigated. The demographic parameters of the predatory ladybird beetle, *Adalia bipunctata*, were examined under controlled laboratory conditions at 25 ± 2°C, 65 ± 5% relative humidity, and a 16L:8D photoperiod. The experiment followed a completely randomized design (CRD) with seven

treatments and a control. Pairs of male and female *A. bipunctata* were selected, and 100 eggs were incubated in plastic Petri dishes. The larvae were fed on *Myzus persicae* and subjected to the respective treatments, with results compared against the control. The developmental parameters of immature stages, including molting, larval growth, pupation, and survival rates, were recorded. After adulthood, beetles were transferred to fresh containers with host plant leaves and aphid prey. Key reproductive and population parameters were analyzed, including oviposition rate, age-specific fecundity, survival rate, life expectancy, and demographic indices. Data were processed using the age-stage, two-sex life table approach. Treatment means were compared using the paired bootstrap test, with statistical analyses performed using TWOSEX-MSChart software.

Results

The results indicate that the shortest oviposition period was observed in the vermicompost (30%), zinc sulfate, and control treatments, whereas the longest was recorded in the *B. subtilis* treatment. Life expectancy was highest in the *B. subtilis* treatment and lowest in the vermicompost (30%) treatment. Similarly, the net reproductive rate (R_0) of *A. bipunctata* reached its highest value in the *B. subtilis* treatment and its lowest in the vermicompost (30%) treatment. The intrinsic rate of increase (r) was lowest in the vermicompost (30%) treatment, while the highest values were recorded in the *B. subtilis*, zinc sulfate, *G. intraradices* × *B. subtilis*, and *P. fluorescens* treatments.

Discussion

The *B. subtilis* and *P. fluorescens* treatments were the most beneficial for the two-spotted ladybird beetle, *Adalia bipunctata*, suggesting enhanced nutritional quality. These PGPRs interact with insects through multiple mechanisms, such as inducing resistance against herbivores or attracting natural predators. Our analysis demonstrated that different fertilizer treatments significantly impacted the population growth parameters and the biological traits of *A. bipunctata*. Notably, soil treatment with biological fertilizers (*B. subtilis* and *P. fluorescens*) positively and significantly affected the population dynamics of the predatory insects. These findings suggest that biological fertilizers could be integrated with biological control agents in IPM programs to improve green peach aphid (*Myzus persicae*) management in greenhouse environments.

Keywords: *Myzus persicae*, two-spotted ladybug, population growth parameters, bio- and organic-fertilizers, bell pepper

Associate editor: A. Kavousi (Ph.D.)

Citation: Mardani-Talaei, M., Razmjou, J., Nouri – Ganbalani, G., Hassanpour, M. & Naseri, B. (2025). Bottom-up effects of different fertilizer on changes in the two sex life table of the ladybug beetle *Adalia bipunctata* L. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 48(1), 33-53. <https://doi.org/10.22055/ppr.2025.48593.1781>.



اثرات پایین به بالای کودهای مختلف بر تغییرات جدول زندگی دو جنسی کفشدوزک دو نقطه‌ای، *Adalia bipunctata* L.

مژگان مردانی طلایی^{۱*}، جبرائیل رزمجو^۲، قدیر نوری قنبلانی^۲، مهدی حسن پور^۲، بهرام ناصری^۲

۱- * نویسنده مسوول: دکتری حشره‌شناسی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (mozhganmardani65@gmail.com)

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

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹

چکیده

کفشدوزک شکارگر *Adalia bipunctata* L. گونه‌ی چندخوار است که عمدتاً از شته‌ها از جمله شته سبز هلو *Myzus persicae* (Sulzer) تغذیه می‌کند. شته سبز هلو حشره‌ای چندخوار می‌باشد که در گلخانه و مزارع به تعداد زیادی از محصولات خسارت می‌زند. در پژوهش حاضر، تاثیر محلول پاشی سولفات روی بر گیاه و افزودن کود آلی ورمی کمپوست ۳۰ درصد و کودهای زیستی *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens* و *Glomus intraradices* به بستر بذری گیاه فلفل دلمه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. فراسنجه‌های دموگرافی شکارگر 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. کوتاه‌ترین دوره تخم‌ریزی در تیمارهای ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۲۷/۱۸ روز)، سولفات روی (۲۸/۳۶ روز) و شاهد (۲۸/۷۳ روز) و طولانی‌ترین دوره در تیمار *B. subtilis* (۳۴/۹۱ روز) ثبت گردید. بیشترین و کمترین امید زندگی شکارگر به ترتیب روی تیمارهای *B. subtilis* (۴۷/۱۰ روز) و ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۳۸/۶۳ روز) مشاهده شد. همچنین، بیشترین و کمترین مقدار فراسنجه نرخ خالص تولید مثل (R_0) کفشدوزک *A. bipunctata* به ترتیب در *B. subtilis* (۱۳۱/۶۵ نتاج) و ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۷۱/۲۲ نتاج) به دست آمد. کمترین مقدار فراسنجه نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) کفشدوزک *A. bipunctata* در ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۰/۱۱۷۹ بر روز) و بیشترین مقادیر آن به ترتیب در تیمارهای *B. subtilis* سولفات روی، *G. intraradices* × *B. subtilis* (به ترتیب ۰/۱۴۴۴، ۰/۱۴۲۶، ۰/۱۴۲۵ و ۰/۱۴۰۸ بر روز) مشاهده شد. بنابراین، تیمار کردن بذر با کودهای زیستی (*P. fluorescens* و *B. subtilis*) روی فراسنجه‌های مورد بررسی شکارگر تاثیر مثبت و معنی‌داری داشته و می‌توان در کنترل بیولوژیک شته سبز هلو از آنها استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: *Myzus persicae* کفشدوزک دو نقطه‌ای، فراسنجه‌های رشد جمعیت، کودهای آلی و زیستی، فلفل دلمه‌ای

مقدمه

فلفل دلمه، *Capsicum annuum* L.، گیاهی یک‌ساله و متعلق به تیره‌ی بادمجانیان، یکی از محصولات جالیزی مهم که بومی مکزیک و کشورهای آمریکای جنوبی است (Chavez-Mendoza et al., 2015). فلفل دلمه‌ای نیز مانند سایر محصولات کشاورزی، در معرض حمله‌ی آفات و بیماری‌های مختلف قرار دارد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از آفات عمده‌ی آن شته‌ی سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer)، می‌باشد. شته سبز هلو نیز همانند شته‌های دیگر با خرطوم زنده-مکنده‌ی خود از شیره پرورده گیاه در آوندهای آبکش تغذیه می‌کند. این آفت با ترشح عسلک باعث کاهش فتوسنتز و جلب قارچ‌های ساپروفیت می‌شود. شته‌ی سبز هلو علاوه بر خسارت مستقیم، توانایی بالایی در انتقال بیماری‌های ویروسی بسیار خطرناک از جمله ویروس موزائیک خیار (CMV^1)، ویروس خالدار ($Pep MoV^2$) و ویروس‌های سیب‌زمینی (PVY^3) را دارد (Fenton et al., 2010). یکی از رایج‌ترین روش‌های کنترل شته‌ها استفاده از سموم شیمیایی می‌باشد. اثرات سوء مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی از جمله ایجاد مقاومت در حشرات به حشره‌کش‌ها، اثرات سرطان‌زایی و جهش‌زایی در انسان، آلودگی محیط زیست و تاثیر زیان‌بار بر دشمنان طبیعی آفات، استفاده از روش‌های سازگار با زیست‌بوم در کنترل آفات را الزامی کرده است (Naeem et al., 2018)، بنابراین توصیه می‌شود که برای مقابله با آفات، برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات اجرا شود که یکی از مهمترین بخش‌های این برنامه کنترل بیولوژیک است (Hajek & Eilenberg, 2018).

کفشدوزک‌ها از دشمنان طبیعی مهم شته‌ها در زیست‌بوم‌های زراعی و باغی هستند که نقش بسیار مهمی در کنترل بیولوژیک شته‌ها، پسیل‌ها، سفیدبالک‌ها، زنجرفک‌ها، کنه‌ها، تخم پروانه‌ها و لارو برخی حشرات ایفا

می‌کنند (Obrycki & Kring, 1998). در میان کفشدوزک‌های شته‌خوار گونه‌ی دو نقطه‌ای، *Adalia bipunctata* L.، یکی از شکارگرهای پلی‌فاژ رایج شته‌ها در اروپا، آسیای مرکزی و آمریکای شمالی می‌باشد که در اروپا پتانسیل بالایی در برنامه‌های کنترل بیولوژیک اشباعی شته‌ها نشان داده است (Hodek & Honeck, 1996; Hodek & Honeck, 1996; De Clercq et al., 2005; Wyss et al., 1999). همچنین در سراسر مناطق هولآرکتیک^۵، یکی از کفشدوزک‌های رایج روی درختان باغی می‌باشد (Hodek & Honêk, 2013). این گونه علاوه بر شته‌ها از حشرات کوچک دیگر، تخم حشرات و کنه‌ها نیز تغذیه می‌کند (Marshall, 2014). از این کفشدوزک نیز برای کنترل جمعیت شته‌های محصولات کشاورزی و باغی (از جمله خیار، فلفل دلمه‌ای، بادمجان و توت‌فرنگی) استفاده می‌شود (Özgökçe et al., 2018).

مصرف بی‌رویه‌ی کودهای شیمیایی در یک قرن گذشته خسارت زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری برای بشر به ارمغان آورده است. در زیست‌بوم‌های طبیعی و کشاورزی تعامل گیاهان و ریزجانداران خاک تأثیر قابل توجهی بر ساختار خاک، چرخه‌ی زیستی و شیمیایی عناصر غذایی، رشد گیاه و سازگاری آن با تغییرات محیط ایفا می‌کنند (Bashan & Levanony, 1990). از جمله‌ی این ریزجانداران خاک، قارچ-ریشه‌های آربوسکولار (AMF^6) و باکتری‌های افزاینده‌ی رشد گیاه ($PGPR^7$) هستند. قارچ-ریشه‌های آربوسکولار از مهمترین ریزجانداران خاک بوده که در هم‌زیستی با گیاهان، رشد و سلامتی آن‌ها را از طریق بهبود تغذیه‌ی معدنی و یا افزایش بردباری به تنش‌های محیطی بهبود می‌بخشند که موجب افزایش توانایی گیاه میزبان در جذب فسفر و عناصر معدنی از خاک به خصوص از منابع غیرقابل دسترس آن‌ها می‌شود (Megali et al., 2015; Gadhave et al., 2016). باکتری‌های ریزوسفری افزاینده‌ی رشد گیاه،

5. Arctic Hole
6. Arbuscular Mycorrhiza Fungi
7. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

1. Cucumber Mosaic Virus
2. Pepple Mottle Virus
3. Potato Virus Y
4. Polyphagous

مهمی روی زیست‌شناسی شکارگر به عنوان سطح سوم تغذیه ایجاد می‌کنند (Kalushkov & Hodek, 2004). تغییرات ایجاد شده در گیاه میزبان باعث ایجاد تغییراتی در کیفیت حشره گیاه‌خوار به عنوان منبع غذایی برای دشمن طبیعی می‌شود و در صورت بالابودن کیفیت و ارزش غذایی حشره گیاه‌خوار، زنده‌مانی و باروری دشمنان طبیعی افزایش می‌یابد و این امر می‌تواند باعث کنترل بهتر آفت شود (Bernays & Chapman, 1994). شناخت تعاملات سه جانبه گیاه میزبان- آفت- شکارگر می‌تواند برای بهبود راهکارهای مدیریت محصول مؤثر باشد. به منظور تدوین استراتژی مدیریت تلفیقی یک آفت، شناخت فراسنجه‌های دموگرافیک آن ضروری است. این فراسنجه‌ها نرخ رشد جمعیت در نسل اخیر و نسل بعدی را مشخص می‌کنند (Frel et al., 2003). بنابراین، تنظیم یک برنامه کامل مدیریت آفات زمانی کامل‌تر خواهد بود که اطلاعات جامع از فراسنجه‌ها نرخ رشد جمعیت حشره شکارگر در اختیار باشد. در مورد تاثیر کودهای مختلف آلی، زیستی و معدنی روی ویژگی‌های زیستی و جدول زندگی کفشدوزک *A. bipunctata* روی شته‌ها در تیمارهای مختلف کودی در ایران مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بنابراین، با توجه به دامنه‌ی پراکنش وسیع این کفشدوزک و گزارش شته-خواری آنها روی گونه‌های مختلف از جمله شته‌ی سبز هلو بررسی حاضر می‌تواند کمک موثری در شناخت و استفاده از این حشرات در کنترل بیولوژیک این آفت داشته باشد.

مواد و روش‌ها

کشت گیاهان میزبان

گیاه فلفل دلمه‌ی رقم کالیفرنیا و اندر ۲ از شرکت کشت فلات ایرانیان زمین تهیه و در داخل گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه‌ی ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر در گلخانه‌ی تحقیقات گروه گیاهپزشکی دانشگاه محقق اردبیلی در شرایط گلخانه با دمای 25 ± 5 درجه سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 10 و دوره‌ی نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی کشت شد. خاک زراعی مورد نیاز از مزرعه‌ی سبب زمینی در روستای نیار در سه کیلومتری شمالی اردبیل تهیه گردید.

می‌تواند از طریق راهکارهای گوناگون از جمله حل‌کنندگی فسفر، تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی، مهارکنندگی بیمارگرها (تولید آنتی‌بیوتیک و سیدروفورها)، تحریک سایر ریزجانداران مفید مانند تثبیت‌کننده‌های نیتروژن یا قارچ‌های مایکوریزا نقش داشته باشند (Lucy et al., 2004; Valenzuela-Soto et al., 2010). بنابراین، ریزوباکترها می‌توانند مکانیسم‌های دفاعی گیاه (مقاومت سیستمیک القایی) را در برابر حشرات گیاه‌خوار به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم فعال کنند. در روش مستقیم، مقاومت القایی با آزادسازی پروتئین‌هایی ایجاد می‌شود که گیاهان را در مقابل حشرات محافظت می‌کند و گیاه می‌تواند مواد شیمیایی دفاعی تولید کند که تغذیه، باروری و نمو گیاه‌خوار را کاهش دهد. مقاومت القایی به طور غیرمستقیم با انتشار مواد فرار رقیق ایجاد شده که به شدت دشمنان طبیعی گیاه‌خواران را جذب می‌کند (Stella et al., 2019). همچنین، در بذره‌ای تیمار شده با PGPR پیوند کاتیونی، تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در دیواره‌ی سلولی که در نهایت منجر به سنتز پروتئین و مواد شیمیایی می‌شوند، که این مواد در مکانیسم‌های دفاعی گیاه نقش عمده‌ای را ایفا می‌کنند. بنابراین کاربرد PGPR در گیاهان سبب افزایش مقاومت به بیماری‌زای خاص، آفات و نماتدها می‌شود (Ramamoorthy et al., 2001; Bigirimana & Hofte, 2002; Harun-or-Rashid et al., 2017, 2019; Pourya et al., 2020, 2021; Moradi et al., 2021; Hosseini et al., 2022). از سوی دیگر مطالعات محدودی در راستای تاثیر کودهای مختلف آلی، زیستی و معدنی بر کارایی دشمنان طبیعی صورت گرفته است (Schausberger et al., 2012; Mirab-Balou & Alizamani, 2021; Mohamadi et al., 2017; Mardani-Talae et al., 2024). نشان داد کودهای آلی و زیستی تاثیر مثبتی بر پارامترهای اکولوژی و فیزیولوژی کفشدوزک *Hippodamia variegata* (Goeze) داشته است (Alizamani et al., 2017; Mardani-Talae et al., 2024).

روابط گیاه- گیاه‌خوار- دشمن طبیعی، پیچیدگی‌های زیادی دارد. گیاهان میزبان به عنوان سطح اول تغذیه، اثرات

تهیه کودهای آلی، معدنی و زیستی

کود ورمی کمپوست به کار رفته از شرکت پارس کود و کود سولفات روی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند که مقدار خلوص روی آن ۱۰۰ درصد بود. نمونه‌های باکتری PGPR و قارچ میکوریز *G. intraradices* از موسسه‌ی آب و خاک کرج تهیه گردید. خاک زراعی مورد نیاز از مزرعه‌ی سیب‌زمینی در روستای نیار در سه کیلومتری شمالی اردبیل تهیه گردید.

آماده‌کردن تیمارهای مورد نظر

آزمایش در گلخانه با هفت تیمار و یک شاهد در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها عبارت بودند از:

۱- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی بعلاوه محلول‌پاشی گیاه در مرحله‌ی چهار تا شش برگی با محلول یک در هزار سولفات روی.

۲- گیاه فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در مخلوطی از خاک زراعی معمولی با ورمی کمپوست به نسبت ۳۰ درصد.

۳ و ۴- کشت گیاه در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت با باکتری‌های شامل *B. subtilis* و *P. fluorescens* (به ازای هر بذر به مقدار ۱۰۰۰ میکرولیتر، نرخ 1×10^7 CFU/ml).

۵- کشت گیاه در خاک زراعی معمولی و تیمار بذر قبل از کشت با قارچ *G. intraradices* (به نسبت پنج گرم به ازای هر بذر).

۶ و ۷- کشت گیاه 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 فلفل دلمه‌ای پرورش‌یافته در خاک زراعی معمولی به عنوان تیمار شاهد.

پرورش شته‌ی سبزه‌هلو، *M. persicae* و کفشدوزک *A. bipunctata*

جمعیت اولیه‌ی شته‌ی سبزه‌هلو از مزارع گوجه‌فرنگی شهرستان سراب تهیه شد. از گیاه فلفل دلمه‌ای کاشته‌شده در گلخانه برای پرورش کلنی شته استفاده شد. کفشدوزک

A. bipunctata از مزارع و باغات اطراف شهرستان اردبیل

از روی محصولات مختلف از قبیل یونجه، سیب‌زمینی، درخت فندق و غیره جمع‌آوری و در داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۲×۲۰×۱۵ سانتی‌متر و در داخل اتاقک رشد تنظیم‌شده در دمای 25 ± 2 درجه‌ی سلسیوس، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و دوره‌ی نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی به مدت دو نسل پرورش داده شد. برای ایجاد تهویه و جلوگیری از افزایش رطوبت روی درب ظروف پرورش سوراخ‌هایی ایجاد و با توری ۵۰ مش پوشانده شد. حشرات کامل کفشدوزک تغذیه‌کرده از شته‌ی میزبان با استفاده از قلم‌موی ظریف به صورت 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 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. برای ایجاد تهویه، سوراخی به قطر ۳ سانتی‌متر روی سرپوش ظروف پتری پرورشی ایجاد و با توری ۵۰ مش پوشانده شد. ظروف پتری حاوی لارو به طور روزانه مورد بازدید قرار گرفت و تعداد کافی شته در اختیار لاروها قرار گرفت. با افزایش سنین لاروی کفشدوزک تعداد شته‌هایی که در اختیار لاروها قرار گرفت، افزایش داده شد.

زیست‌شناسی و جدول زندگی زادآوری کفشدوزک شکارگر

ابتدا کفشدوزک‌ها روی شته سبزه‌هلو تغذیه کرده از گیاه فلفل بدون تیمار پرورش داده شد و سپس تغذیه‌ی کفشدوزک‌ها روی شته‌های تغذیه‌شده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با تیمارهای مختلف کودی ذکر شده انجام شد. برای انجام آزمایش، روی هر کدام از میزبان‌های کودی، تعدادی از کفشدوزک‌های نر و ماده به صورت جفت، داخل ظروف پرورش قرار داده شدند؛ پس از تخم‌ریزی آنها، برای هر تیمار تعداد ۱۰۰ عدد تخم هم‌سنی که کمتر از ۲۴ ساعت از عمرشان

مرحله‌ی رشدی به مرحله‌ی رشدی دیگر را نیز توصیف می‌کند. باروری ویژه‌ی سنی - مرحله‌ای (f_{xj})، تعداد نتاج تولید شده به وسیله‌ی هر فرد کفشدوزک را در سن i و مرحله سنی j نشان می‌دهد. بر اساس روش Chi & Su (2006) نرخ بقای ویژه سنی (l_x) شامل هر دو جنس، و باروری ویژه‌ی سنی با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد:

$$l_x = \sum_{j=1}^k S_{xj} \quad (۱)$$

$$m_x = \frac{\sum_{j=1}^k S_{xj} f_{xj}}{\sum_{j=1}^k S_{xj}} = \frac{\sum_{j=1}^k S_{xj} f_{xj}}{l_x} \quad (۲)$$

در این فرمول k نشان‌دهنده‌ی تعداد مراحل سنی و m_x به ترتیب نشان‌دهنده‌ی تعداد تخم تولید شده به وسیله‌ی افراد ماده در سن x و در مرحله‌ی سنی j می‌باشد.

امید زندگی سنی - مرحله‌ای (e_{xj}) بیان‌گر مدت زمانی است که افراد واقع شده در سن i و مرحله‌ی رشدی j امید به زنده ماندن دارند که با معادله‌ی زیر محاسبه شد:

$$e_{xj} = \sum_{i=x}^n \sum_{j=y}^m S_{xj} \quad (۳)$$

در این فرمول n نشان‌دهنده‌ی آخرین شماره‌ی گروه سنی و m نشان‌دهنده‌ی تعداد مراحل زیستی حشره‌ی آفت است و S_{xj} ، احتمال بقای یک فرد از سن x و مرحله‌ی y تا سن x و مرحله‌ی j می‌باشد. با این فرض که $S_{xy}=1$ است، محاسبه می‌شود (Chi & Su, 2006).

فراسنجه‌های رشد جمعیت نیز با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شدند. به منظور تکراردار کردن فراسنجه‌های زیر از روش بوت‌استرپ استفاده شد (Chi et al., 2023):

نرخ خالص تولید مثل (معادله‌ی ۴)

$$R_0 = \sum_{x=0}^{\infty} \sum_{j=1}^k S_{xj} f_{xj}$$

در اینجا k نشان‌دهنده‌ی تعداد مراحل سنی است.

نرخ ذاتی افزایش جمعیت: (معادله‌ی ۵)

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-r(x+1)} l_x m_x = 1$$

نرخ متناهی افزایش جمعیت: (معادله‌ی ۶)

$$\lambda = e^r$$

میانگین مدت زمان یک نسل: (معادله‌ی ۷)

$$T = \frac{\ln R_0}{r}$$

گذشته بود انتخاب شد و در اتافک رشد با شرایط ذکر شده برای پرورش کلنی کفشدوزک نگهداری شدند. تخم‌ها به صورت روزانه بررسی و زمان تفریح تخم‌ها، تعداد لاروهای ظاهر شده و بقای آنها به صورت روزانه ثبت گردید. پس از ظهور لاروهای سن اول، هر یک از آنها به صورت انفرادی به داخل یک ظرف پتری به قطر ۸ سانتی‌متر و ارتفاع یک سانتی‌متر منتقل شده و روزانه توسط شته‌ی سبز هلو پرورش داده شده روی گیاه تیمار شده با کود مورد نظر تغذیه شدند. ظروف پتری به صورت روزانه مورد بررسی قرار گرفته و داده‌های مربوط به مراحل نابالغ مانند پوست‌اندازی، نمو لاروی، شفیرگی و بقای آنها ثبت شد. این بررسی تا زمان ظهور حشرات کامل ادامه یافت. پس از ظهور حشرات کامل، جنسیت کفشدوزک‌ها تعیین شده و هر جفت نر و ماده به صورت جداگانه در داخل یک ظرف پرورش محتوی برگ گیاه میزبان و شته‌ی میزبان قرار داده شدند (Wu et al., 2010). تعداد تخم‌های گذاشته‌شده و نیز بقای آنها به صورت روزانه بررسی و ثبت گردید. شته‌های تازه پرورش داده شده روی گیاه تیمار شده با کود هر تیمار به صورت روزانه در اختیار حشرات کامل کفشدوزک قرار گرفتند. این بررسی‌ها تا زمان مرگ حشرات کامل ادامه یافت و از داده‌های ثبت شده برای تشکیل جدول زندگی کفشدوزک‌ها استفاده شد.

فراسنجه‌های رشد جمعیت کفشدوزک‌های شکارگر

به منظور تعیین فراسنجه‌های رشد جمعیت پایدار کفشدوزک‌های شکارگر تغذیه‌کننده از شته‌ی سبز هلو پرورش داده شده روی گیاه فلفل دلمه‌ی تیمار شده با تیمارهای کودی مورد نظر از روش جدول زندگی دو جنسی استفاده شد. اساس جدول زندگی دو جنسی سنی - مرحله‌ای در نظر گرفتن هر دو جنس (نر و ماده) و نیز نشو و نمای متغیر بین افراد و جنسیت آنها می‌باشد (Chi et al., 2023). کفشدوزک *A. bipunctata* دارای پنج مرحله‌ی تخم، لارو، شفیره، حشره‌ی بالغ نر و حشره‌ی بالغ ماده است؛ لذا بقای ویژه‌ی سنی - مرحله‌ای (S_{xj}) نشان‌دهنده‌ی احتمال بقای افراد تا سن x است، در حالی که در مرحله‌ی رشدی j می‌باشد. این فراسنجه علاوه بر توصیف بقا، انتقال از یک

تجزیه‌ی داده‌ها

داده‌های خام به دست‌آمده از مراحل زیستی کفشدوزک *A. bipunctata* تغذیه‌کننده از شته‌ی سبز هلو *M. persicae* روی تیمارهای مختلف کودی با جدول دو جنسی، طبق روش توضیح داده‌شده به وسیله‌ی Chi (2024) تجزیه شد. تجزیه‌ی داده‌ها توسط نرم‌افزار TWOSEX-MSChart صورت گرفت. جهت تکراردار کردن داده‌های فراسنجه‌های رشد جمعیت از روش بوت‌استرپ با تکرار ۴۰۰۰۰ استفاده شد. معنی‌دار شدن اختلاف میانگین‌ها با استفاده از روش Paired Bootastrap در سطح احتمال پنج درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار سیگماپلات نسخه‌ی ۱۲/۵ استفاده شد.

در شرایط آزمایشگاه تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۱). کوتاه‌ترین طول دوره‌ی تخم شکارگر در تیمار *B. subtilis* و طولانی‌ترین طول این دوره در شاهد مشاهده شد. کفشدوزک کوتاه‌ترین طول دوره‌ی لاروی را در تیمار *B. subtilis* و بیشترین طول این دوره را در تیمارهای ورمی کمپوست ۳۰ درصد و سولفات روی به ترتیب نشان داد. کوتاه‌ترین طول دوره‌ی شفیرگی *A. bipunctata* در تیمارهای سولفات روی و *G. intraradices* و بیشترین مقدار آن در ورمی کمپوست ۳۰ درصد ثبت شد. طولانی‌ترین طول دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد و کوتاه‌ترین طول این دوره در تیمار *G. intraradices* به دست آمد (جدول ۱).

طول دوره‌های تولید مثلی و طول عمر بالغین

افراد بالغین کفشدوزک *A. bipunctata*

از نظر میانگین طول دوره‌ی تخم‌ریزی، طول کل دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی (فاصله‌ی زمانی از تخم تا اولین تخم‌ریزی (TPOP)) و طول دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی افراد بالغ (فاصله‌ی زمانی بین ظهور افراد بالغ تا اولین تخم‌ریزی (APOP)) کفشدوزک *A. bipunctata* بین تیمارهای مختلف، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲).

نتایج

فراسنجه‌های زیستی کفشدوزک دونقطه‌ی، *A. bipunctata*

طول دوره‌ی مراحل زیستی نابالغ کفشدوزک دونقطه‌ی، *A. bipunctata*

طول دوره‌ی تخم، طول دوره‌ی لاروی، طول دوره‌ی شفیرگی و طول دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ کفشدوزک *A. bipunctata* پرورش یافته بین تیمارهای مختلف کود

جدول ۱- طول دوره‌ی مراحل زیستی قبل از بلوغ (میانگین \pm خطای معیار) کفشدوزک *A. bipunctata* پرورش یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Table 1. Duration of immature life stages (Mean \pm SE) of *A. bipunctata* ladybirds reared on aphids feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	Immature periods (days)			
	Egg	Larvae	Pupa	Pre-adult
Control	2.95 \pm 0.011 ^{a*}	9.48 \pm 0.14 ^b	2.88 \pm 0.16 ^{bc}	15.15 \pm 0.23 ^c
Zinc Sulfate	2.65 \pm 0.070 ^b	10.16 \pm 0.18 ^a	2.78 \pm 0.17 ^c	15.56 \pm 0.34 ^c
Vermicompost (30%)	2.62 \pm 0.110 ^b	10.39 \pm 0.29 ^a	4.15 \pm 0.16 ^a	17.15 \pm 0.44 ^a
<i>Bacillus subtilis</i>	2.05 \pm 0.080 ^c	7.93 \pm 0.23 ^d	3.81 \pm 0.15 ^b	14.27 \pm 0.27 ^d
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2.58 \pm 0.100 ^{bc}	8.83 \pm 0.24 ^c	2.96 \pm 0.16 ^{bc}	14.17 \pm 0.34 ^d
<i>Glomus intraradices</i>	2.42 \pm 0.080 ^{bc}	8.67 \pm 0.16 ^c	2.78 \pm 0.12 ^c	13.74 \pm 0.22 ^e
<i>G. intraradices</i> \times <i>B. subtilis</i>	2.75 \pm 0.090 ^{ab}	9.71 \pm 0.22 ^b	3.77 \pm 0.16 ^b	16.09 \pm 0.27 ^b
<i>G. intraradices</i> \times <i>P. fluorescens</i>	2.78 \pm 0.054 ^{ab}	9.31 \pm 0.13 ^b	3.17 \pm 0.36 ^b	16.91 \pm 0.51 ^b

*Different letters in each column indicate a significant difference between the means ($P < 0.05$). The standard errors were estimated via 40,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

جدول ۲- میانگین طول دوره‌های تولید مثلی، طول کل دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی (TPOP)، طول دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی افراد بالغ (APOP) و طول عمر بالغین *A. bipunctata* روی تیمارهای مختلف کودی

Table 2. Average length of reproductive periods, total preoviposition period (TPOP), adult preoviposition period (APOP), and adult lifespan of *A. bipunctata* on different fertilizer treatments

Treatments	Reproduction period (days)			Longevity (days)	
	Oviposition period	TPOP	APOP	Female	Male
Control	28.73 ± 2.012 ^{a*}	22.74 ± 0.508 ^b	7.40 ± 0.478 ^b	46.82 ± 1.52 ^b	46.87 ± 2.85 ^b
Zinc Sulfate	28.36 ± 2.422 ^c	22.78 ± 0.556 ^b	6.93 ± 0.320 ^c	41.23 ± 1.58 ^{bc}	45.71 ± 3.05 ^b
Vermicompost (30%)	27.18 ± 0.981 ^c	26.36 ± 0.746 ^a	9.27 ± 0.632 ^a	41.11 ± 1.48 ^{bc}	47.91 ± 1.53 ^b
<i>Bacillus subtilis</i>	34.91 ± 0.977 ^a	22.41 ± 0.419 ^b	8.16 ± 0.210 ^{ab}	50.36 ± 1.19 ^a	53.00 ± 0.98 ^a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	31.54 ± 1.333 ^b	20.63 ± 0.464 ^c	6.90 ± 0.569 ^c	38.92 ± 1.28 ^c	49.91 ± 2.16 ^b
<i>Glomus intraradices</i>	30.64 ± 0.361 ^{bc}	22.92 ± 0.314 ^b	9.00 ± 0.151 ^a	45.62 ± 0.55 ^b	48.07 ± 0.45 ^b
<i>G. intraradices</i> × <i>B. subtilis</i>	31.71 ± 0.905 ^b	22.28 ± 0.421 ^b	6.78 ± 0.396 ^c	43.25 ± 0.66 ^b	46.79 ± 1.62 ^b
<i>G. intraradices</i> × <i>P. fluorescens</i>	31.21 ± 0.868 ^b	22.57 ± 0.389 ^b	7.07 ± 0.356 ^b	44.87 ± 0.92 ^b	41.76 ± 0.90 ^c

*Different letters in each column indicate a significant difference between the means ($P < 0.05$). The standard errors were estimated via 40,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

(λ) شکارگر نیز تفاوت معنی داری وجود دارد. کمترین r و λ این شکارگر در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد محاسبه شد. همچنین بیشترین مقادیر نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی افزایش جمعیت به ترتیب روی تیمارهای *B. subtilis*، سولفات روی، *G. intraradices* × *B. subtilis* و *P. fluorescens* به طور معنی دار به دست آمد. در ضمن، میانگین مدت زمان یک نسل^۴ (T) شکارگر با تغذیه از شته سبز هلو روی فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف تفاوت معنی داری نشان نداد.

تأثیر تیمارهای مختلف کود روی امید زندگی سنی - مرحله‌ای (e_{xj})، نرخ بقای ویژه سنی - مرحله‌ای (S_{xj})، باروری ویژه سنی - مرحله‌ای (f_{xj}) و زادآوری ویژه سنی (m_x) کفشدوزک *A. bipunctata*

امید زندگی سنی - مرحله‌ای شکارگر روی تیمارهای مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. امید زندگی این کفشدوزک در آغاز زندگی روی تیمارهای مختلف *B. subtilis*، شاهد، *G. intraradices*، سولفات روی، *G. intraradices* × *P. intraradices* × *B. subtilis* و *P. fluorescens* *fluorescens* و ورمی کمپوست ۳۰ درصد به ترتیب ۴۷/۱۰، ۴۵/۹۵، ۴۴/۹۵، ۴۴/۹۵، ۴۱/۱۵، ۴۱/۱۲، ۴۰/۶۵ و ۳۸/۶۳ روز به دست آمد که بیشترین و کمترین امید زندگی کفشدوزک به ترتیب روی تیمارهای *B. subtilis* و ورمی کمپوست ۳۰ درصد مشاهده شد.

کوتاه‌ترین دوره تخم‌ریزی در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد، سولفات روی و شاهد و طولانی‌ترین دوره در تیمار *B. subtilis* ثبت گردید. افراد پرورش یافته روی تیمارهای ورمی - کمپوست ۳۰ درصد و *P. fluorescens* به ترتیب طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین دوره‌ی TPOP را داشتند. طولانی‌ترین طول دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی افراد بالغ (APOP) این کفشدوزک روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد و *G. intraradices* و کوتاه‌ترین طول این دوره به ترتیب روی تیمارهای سولفات روی و *G. intraradices* × *B. subtilis* ثبت شد. طولانی‌ترین طول عمر بالغین افراد ماده و نرخ شکارگر روی تیمار *B. subtilis* به دست آمد. کوتاه‌ترین طول عمر بالغین افراد ماده و نرخ کفشدوزک نیز به ترتیب در تیمارهای *B. subtilis* × *G. intraradices* و *P. fluorescens* ثبت شد (جدول ۲).

فراسنجه‌های جدول زندگی

نتایج حاصل از محاسبه‌ی فراسنجه‌های رشد جمعیت کفشدوزک نشان داد که بین تیمارهای مختلف کود از نظر نرخ خالص تولید مثل^۱ (R_0) روی تیمارهای مختلف، اختلاف معنی داری وجود داشته بیشترین مقدار R_0 در تیمار *B. subtilis* و کمترین مقدار آن در تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد به دست آمد (جدول ۳).

نتایج این آزمایش نشان داد که بین تیمارهای مختلف کود از نظر نرخ ذاتی افزایش جمعیت^۲ (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت^۳

3. Finite rate of increase
4. Mean generation time

1. The net reproductive rate
2. Intrinsic rate of increase

جدول ۳- فراسنجه‌های رشد جمعیت کفشدوزک *A. bipunctata* پرورش یافته روی شته‌های تغذیه کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Table 3. Growth parameters of *A. bipunctata* ladybug population raised on aphids feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers

Treatments	Population growth parameters			
	R_0 (offspring individual ⁻¹)	r (d ⁻¹)	λ (d ⁻¹)	T (d)
Control	98.82 ± 2.129 ^{b*}	0.1331 ± 0.008 ^{ab}	1.143 ± 0.009 ^{ab}	32.75 ± 1.96 ^a
Zinc Sulfate	120.40 ± 3.698 ^{ab}	0.1426 ± 0.009 ^a	1.153 ± 0.010 ^a	34.22 ± 0.89 ^a
Vermicompost (30%)	71.22 ± 2.814 ^c	0.1179 ± 0.008 ^b	1.125 ± 0.009 ^c	36.16 ± 0.70 ^a
<i>Bacillus subtilis</i>	131.65 ± 2.454 ^a	0.1444 ± 0.010 ^a	1.155 ± 0.012 ^a	35.02 ± 0.65 ^a
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	101.52 ± 2.413 ^b	0.1408 ± 0.008 ^a	1.152 ± 0.009 ^a	31.98 ± 0.72 ^a
<i>Glomus intraradices</i>	116.15 ± 2.654 ^{ab}	0.1368 ± 0.008 ^{ab}	1.146 ± 0.010 ^{ab}	34.19 ± 0.59 ^a
<i>G. intraradices</i> × <i>B. subtilis</i>	119.33 ± 1.913 ^{ab}	0.1425 ± 0.008 ^a	1.153 ± 0.009 ^a	33.53 ± 0.47 ^a
<i>G. intraradices</i> × <i>P. fluorescens</i>	97.05 ± 1.139 ^b	0.1368 ± 6.70 ^{ab}	1.146 ± 0.009 ^{ab}	33.44 ± 0.45 ^a

*Different letters in each column indicate a significant difference between the means ($P < 0.05$). The standard errors were estimated via 40,000 bootstraps and compared through paired bootstrap test based on confidence intervals of differences.

داده شده است. آغاز تخم‌ریزی اولین حشره‌ی ماده‌ی کفشدوزک *A. bipunctata* در تیمارهای مختلف نام‌برده در بالا به ترتیب در روزهای ۱۹، ۲۰، ۲۳، ۱۸، ۲۰، ۲۱ و ۱۹ اتفاق افتاد. بیشترین زادآوری روزانه *A. bipunctata* روی تیمارهای شاهد، *G. intraradices* × *B. subtilis*، ورمی کمپوست ۳۰ درصد، سولفات روی، *G. intraradices* × *P. fluorescens*، *P. fluorescens* × *G. intraradices* و *B. subtilis* به ترتیب معادل ۹/۶۹، ۸/۸۵، ۸/۳۹، ۷/۶۴، ۷/۴۰، ۶/۶۲ و ۶/۳۰ روز است که به ترتیب در روزهای در سن‌های ۳۶، ۳۹، ۳۶، ۴۰، ۲۹، ۴۱، ۴۰ و ۳۲ روزه اتفاق افتاد. بنابراین، از نظر حداکثر تخم تولیدی، در یک روز بیشترین و کمترین مقدار در تیمار شاهد و *G. intraradices* اتفاق افتاده است. براساس سطح زیر نمودار باروری بیشترین سطح در تیمارهای *G. intraradices* × *B. subtilis* و سولفات روی و کمترین آن در تیمار ورمی کمپوست (۳۰ درصد) مشاهده شد.

بحث

کوددهی با تأثیر روی کیفیت غذایی گیاهان میزبان و از طریق تأثیر بر میزان تولید مثل، نشو و نما و زنده‌مانی حشرات گیاهخوار می‌تواند روی فراوانی سطح دوم غذایی مؤثر باشد (Mardani-Talae et al., 2016a; Bala et al., 2018).

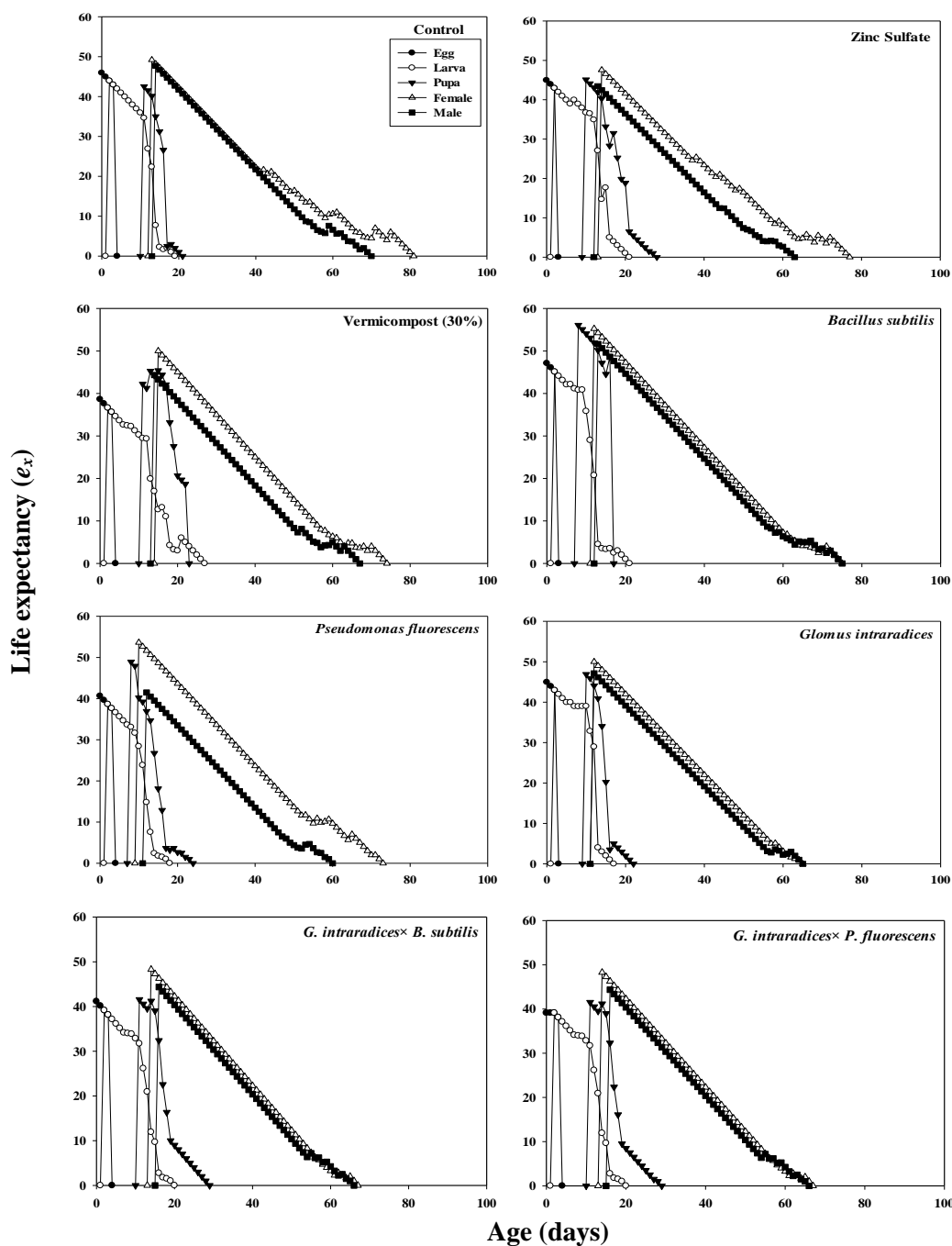
نرخ بقای ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی (S_{xj}) کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمارهای مختلف کودی در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین و کمترین نرخ بقای ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی شغیرگی به ترتیب در تیمار *B. subtilis* (۰/۶۳) و ورمی کمپوست ۳۰ درصد (۰/۵۸) ثبت شد. بیشترین نرخ بقای ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی افراد نر بالغ روی تیمار *B. subtilis* (۰/۳۵) و کمترین آن در شاهد (۰/۲۰) مشاهده شد. همچنین بیشترین و کمترین نرخ بقای ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی افراد ماده‌ی بالغ به ترتیب روی تیمار *B. subtilis* (۰/۳۸) و شاهد (۰/۲۸) به دست آمد.

باروری ویژه‌ی سنی - مرحله‌ی (f_{xj}) تعداد نتاج تولید شده به وسیله‌ی هر فرد ماده‌ی کفشدوزک *A. bipunctata* در سن x و مرحله‌ی j می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین باروری روزانه (f_{xj}) کفشدوزک *A. bipunctata* روی شاهد، سولفات روی و ورمی کمپوست ۳۰ درصد، *P. fluorescens* × *B. subtilis*، *G. intraradices* × *B. subtilis*، *G. intraradices* و *G. intraradices* × *P. fluorescens* به ترتیب معادل ۱۶/۸۰، ۱۶/۱۰، ۱۵/۴۵، ۱۵/۲۱، ۱۴/۳۳، ۱۲/۱۵ و ۱۲/۰۰ تخم بود که به ترتیب در روزهای ۳۶، ۴۰، ۳۶، ۴۱، ۴۱، ۴۱ و ۴۰ اتفاق افتاد.

زادآوری ویژه‌ی سنی (m_x) حشرات کامل کفشدوزک، *A. bipunctata* روی تیمارهای مختلف در شکل ۴ نشان

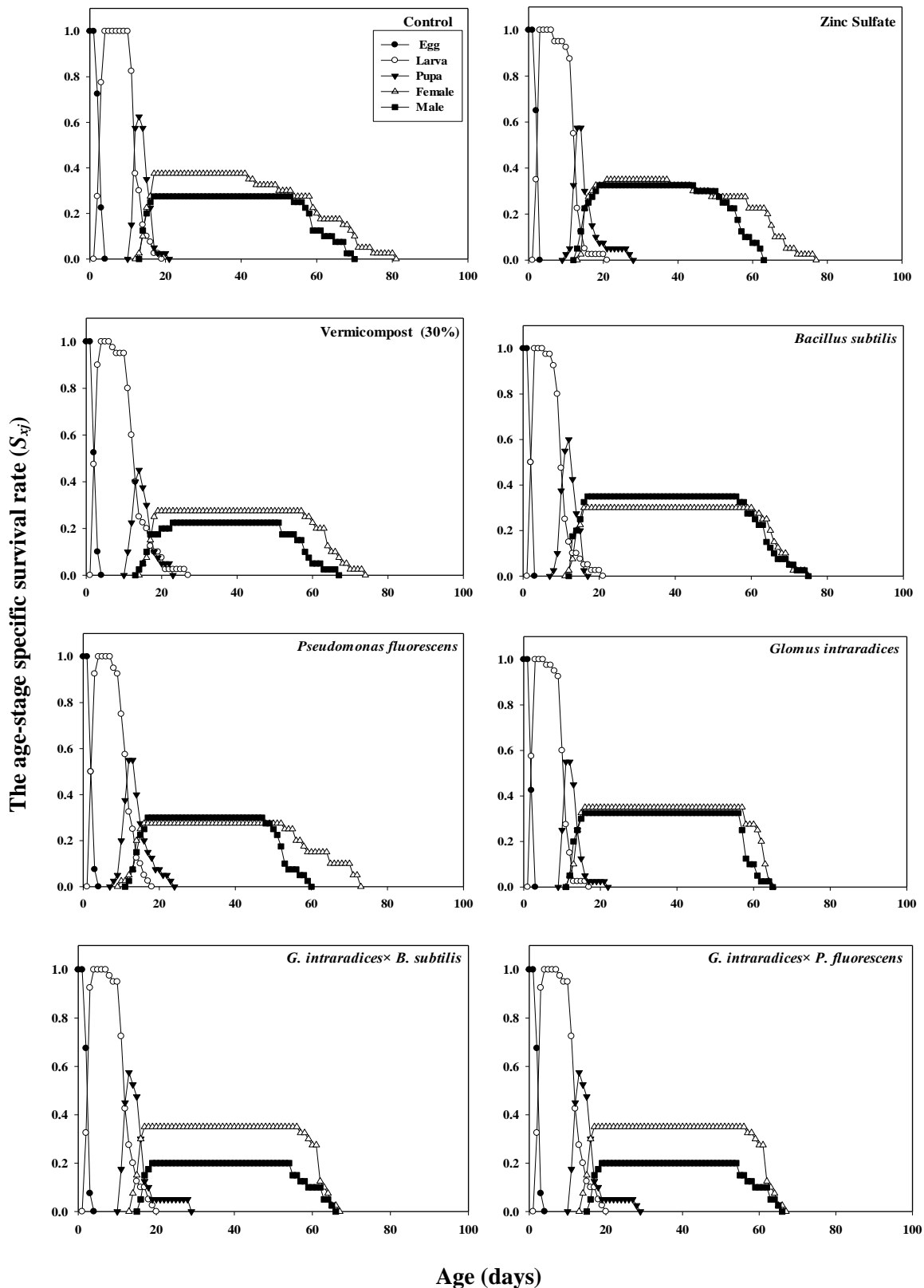
می تواند از دیدگاه مدیریت تلفیقی آفات، روی آفات و دشمنان طبیعی اثرات مطلوبی داشته باشد؛ چنان که تحقیقات مختلف انجام شده نشان داده اند که کود زیستی در بیشتر موارد روی جمعیت آفات تأثیر منفی و روی جمعیت دشمنان طبیعی اثر مثبتی می گذارند (Puech et al., 2014; Hagbardsland, 2018; Mardani-Talaei et al., 2024).

همچنین، تامین عناصر مورد نیاز گیاه از طریق کوددهی ممکن است سطح سوم غذایی (دشمنان طبیعی) را نیز تحت تاثیر قرار دهد. تاثیر کوددهی به ویژه روی فراوانی دشمنان طبیعی از مهم ترین اثرات آن روی سطح سوم غذایی محسوب می شود (Baidoo & Mochiah, 2011; Mardani-Talaei et al., 2024). در این میان، جایگزینی کودهای شیمیایی با کود زیستی



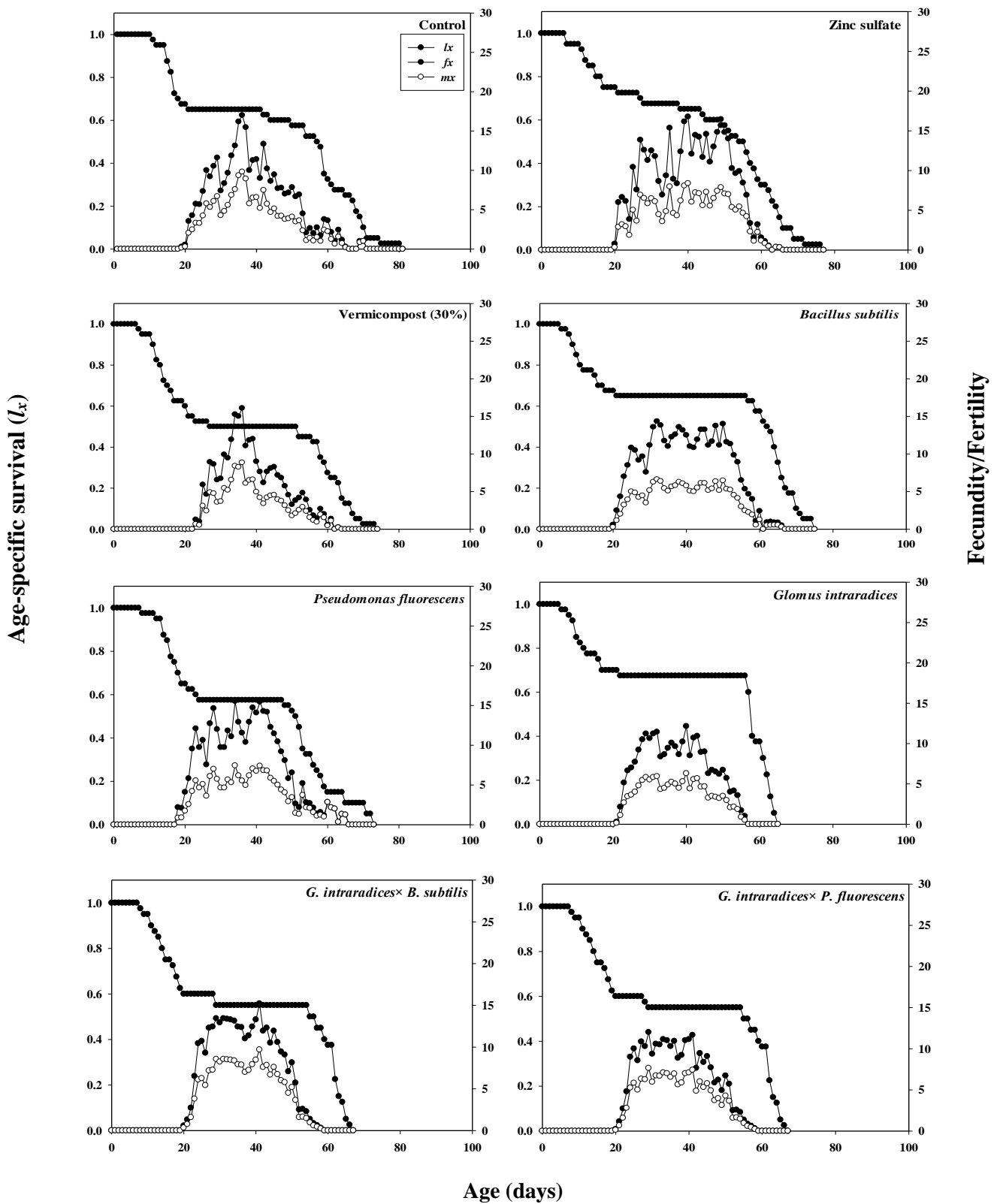
شکل ۱- منحنی های تغییرات امید زندگی (e_{xj}) کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش یافته روی شته های تغذیه کننده از گیاه فلفل دلمه ای تیمار شده با کودهای مختلف

Figure 1. Life expectancy (e_{xj}) curves of *Adalia bipunctata* ladybirds reared on aphids feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers.



شکل ۲- منحنی‌های نرخ بقای ویژه‌ی سنی-مرحله‌ای (S_{xj}) کفشدوزک *Adalia bipunctata* پرورش یافته روی شته‌های تغذیه‌کننده از گیاه فلفل دلمه‌ای تیمار شده با کودهای مختلف

Figure 2. The age-stage specific survival rate (S_{xj}) curves of *Adalia bipunctata* ladybirds reared on aphids feeding on bell pepper plants treated with different fertilizers



شکل ۳- منحنی‌های باروری ویژه‌ی سنی - مرحله‌ای (f_{xj})، بقای ویژه‌ی سنی (l_x) و زادآوری ویژه‌ی سنی (m_x) کفشدوزک *Adalia bipunctata*

Figure 3. The age-stage-specific fertility (f_{xj}), age-specific survival (l_x) and age-specific reproduction (m_x) curves of *Adalia bipunctata* ladybugs

باکتریایی *B. subtilis* تأثیر مثبتی روی فراسنجه‌های زیستی کفشدوزک *A. bipunctata* نشان داد به طوری که در مقایسه با سایر تیمارهای کودی نه تنها طول دوره‌ی لاروی و کل دوره‌ی نابالغی شکارگر کوتاه‌تر بود، بلکه طول دوره‌ی تخم‌گذاری آن نیز بیشتر بود. این ویژگی مثبت نه تنها باعث می‌شود که شکارگر در چنین گیاهانی جمعیت و تعداد نسل بیشتری داشته باشد، بلکه آن را قادر می‌سازد تا اثر کنترلی بیشتری روی آفت داشته باشد (Kindlmann & Dixon, 1999). بهبود فراسنجه‌های زیستی و امید زندگی کفشدوزک‌های شکارگر، *A. bipunctata* روی کود زیستی *B. subtilis* ممکن است از افزایش کیفیت غذایی طعمه برای شکارگر ناشی شده باشد (Mirhosseini et al., 2015; Pervez et al., 2020).

یکی از عواملی که پویایی جمعیت آفات را تحت تاثیر قرار می‌دهد کیفیت گیاه میزبان است. کیفیت غذای گیاهی نقش مهمی در انتخاب آن توسط گیاه‌خوار دارد (Price et al., 2008; Shannag & Obeidat, 1991). کوددهی گیاهان با انواع کودهای آلی و یا شیمیایی با تأثیر بارزی که روی کیفیت تغذیه‌ای گیاه می‌گذارد می‌تواند نشو و نما، تولید مثل و رشد جمعیت حشرات تغذیه کننده روی این گیاهان را نیز تحت تاثیر قرار دهد (Razmjou et al., 2011; Alizamani et al., 2020; Pourya et al., 2021; Mardani-Talae et al., 2022; Alizamani et al., 2022). دینامیسم جمعیت شکارگرهای آفات گیاهی نیز تحت تاثیر کیفیت گیاه میزبان آفت قرار دارد (Aqueel & Leather, 2012; Mirhosseini et al., 2015). بنابراین کیفیت گیاهان میزبان آفت، کارایی کفشدوزک شکارگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Vargas et al., 2012). تعیین نرخ رشد جمعیت با تهیه‌ی جدول زندگی ویژه‌ی زاد آوری برای مطالعه‌ی دینامیسم جمعیت موجودات بویژه بندپایان مناسب است. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ خالص تولید مثل (R_0) دو شاخص مهم برای ارزیابی رشد جمعیت حشرات آفات و دشمنان طبیعی به حساب می‌آیند (Southwood & Henderson, 2000). فراسنجه‌ی

در مطالعه‌ی قبلی، تغییر کیفیت گیاه با افزودن کودهای شیمیایی، آلی و زیستی علاوه بر تاثیر روی فراسنجه‌های زیستی و فیزیولوژیکی شته سبز هلو (Mardani-Talae et al., 2016a, b, 2017)؛ متقابلاً همین فراسنجه‌ها را در کفشدوزک *A. bipunctata* نیز تحت تاثیر قرار داد. بنابراین، تغییر کیفیت گیاهان میزبان حشرات گیاه‌خوار می‌تواند جنبه‌های مختلفی از ویژگی‌های زیستی سطح غذایی بالاتر را تحت تاثیر قرار دهد. در مطالعه حاضر، طولانی‌ترین دوره‌ی رشدی قبل از بلوغ و کمترین نرخ بقا دوره‌ی نابالغی کفشدوزک، *A. bipunctata* روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد و کوتاه‌ترین طول دوره‌ی تخم، دوره‌ی لاروی و طولانی‌ترین طول عمر بالغین افراد ماده و نر *A. bipunctata* نیز روی تیمار باکتری *B. subtilis* ثبت گردید. به طور معمول کیفیت غذایی پایین حشره طعمه باعث طولانی شدن مراحل نشو و نمایی نابالغی و کوتاه شدن طول عمر حشرات می‌شود (Zúñiga et al., 1986; Akca et al., 2015). تغذیه از میزبان‌های تیمار شده با کودهای مختلف، واکنش‌های متفاوتی روی زیست‌شناسی حشرات ایجاد می‌کنند که می‌تواند به دلیل وجود بعضی تفاوت‌های ذاتی در بین گونه‌های گیاهی باشد. این واکنش‌ها ممکن است به صورت تفاوت‌هایی در نرخ رشد، مرگ و میر و میزان تولید مثل مشاهده شود (Liu et al., 2004; Pineda et al., 2010). اولین سن تولیدمثلی نقش بسیار مهمی در نرخ ذاتی افزایش جمعیت دارد (Lewontin, 1965). اگر بین تیمارها از نظر باروری حشره اختلاف معنی‌داری وجود نداشته باشد، کوتاه‌تر بودن کل دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی می‌تواند باعث افزایش مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت می‌شود (Jha et al., 2012). در مطالعه حاضر، طولانی‌ترین طول کل دوره‌ی قبل از تخم‌ریزی (TPOP) و کمترین نرخ بقا دوره‌ی نابالغی کفشدوزک، *A. bipunctata* روی تیمار ورمی کمپوست ۳۰ درصد ثبت گردید. طولانی‌ترین دوره تخم‌ریزی و طولانی‌ترین طول عمر بالغین افراد ماده و نر کفشدوزک *A. bipunctata* روی تیمار *B. subtilis* مشاهده شد. در بررسی حاضر، استفاده از کود زیستی

فرض دستیابی به یک توزیع مرحله سنی پایدار به ندرت محقق می‌شود (Huang et al., 2018)؛ گرچه این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی صورت گرفته است.

محققین کنترل بیولوژیک بر این عقیده‌اند که دشمنان طبیعی زمانی موثرند که با در نظر گرفتن سایر ویژگی‌ها، نرخ ذاتی افزایش جمعیت آنها حداقل برابر یا بیشتر از آفت باشد (Van Lenteren et al., 2020). از سوی دیگر، Tripathi & Singh, (1990) معتقدند که چنین مقایسه‌ای ممکن است درست نباشد، زیرا r می‌تواند متاثر از عوامل متعددی باشد و نیز تحقیقات مختلف همیشه در شرایط مشابهی انجام نمی‌گیرد. در این رابطه بهتر است فراسنجه‌های به دست آمده در آزمایشگاه با نتایج حاصل از شرایط طبیعی ادغام شده و سپس در ارتباط با کارایی یک دشمن طبیعی در کنترل یک حشره-ی آفت قضاوت شود (Van Lenteren & Woets, 1988). در پیش‌بینی‌های جمعیتی، استفاده از داده‌های جدول زندگی اولیه، یعنی نرخ بقای خاص مرحله سنی، نرخ رشد و باروری ضروری است. با این حال، از آنجایی که این نرخ‌ها ناگزیر از جمعیتی با اندازه محدود جمع‌آوری می‌شوند، پیش‌بینی عدم قطعیت رشد جمعیت به موضوع مهمی در کاربرد عملی جداول زندگی در تحقیقات اکولوژیکی و مدیریت آفات تبدیل می‌شود (Huang et al., 2018). از سوی دیگر، در مدیریت تلفیقی آفات و کنترل بیولوژیکی، نه تنها لازم است که هم جدول زندگی و هم داده‌های شکار گنجانده شود، بلکه باید آنها را بر اساس جدول زندگی سنی-مرحله‌ای دو جنسی با هم مرتبط شوند. در بسیاری از گونه‌های حشرات، ماده‌های مسن‌تر تخم‌ریزی کمتر یا هیچ تخم‌ریزی ندارند. برای صرفه‌جویی در زمان، نیروی کار، فضا و هزینه در یک سیستم پرورش انبوه، گاهی اوقات لازم است افراد مسن را حذف نمود (Chi & Getz, 1988). در مطالعات قبلی r شته‌ی سبز هلو (Mardani-Talae et al., 2016 a)، در تیمارهای مختلف کودی تقریباً دو برابر r کفشدوزک‌های *H. variegata* (Mardani-Talae et al., 2024) و *A. bipunctata* بود. بالا بودن نرخ خالص تولید مثل و کوتاه‌بودن طول دوره‌ی نسل شته سبز هلو نسبت

R_0 میانگین تعداد نتاج ماده اضافه شده به جمعیت توسط هر فرد ماده در هر نسل می‌باشد (Carey, 2001). این فراسنجه همچنین ظرفیت فیزیولوژیک یک موجود زنده را با ظرفیت تولید مثلی آن مرتبط می‌کند که مقایسه کردن نرخ خالص تولید مثل مستقل از تجزیه فراسنجه‌های بیولوژی فردی اغلب آگاهی قابل توجهی را فراهم می‌کند (Liu et al., 2004). کمترین مقدار R_0 کفشدوزک دو نقطه‌ای، *A. bipunctata* روی تیمار ورمی‌کمپوست ۳۰ درصد و بیشترین مقدار آن روی تیمار *B. subtilis* مشاهده گردید. نرخ ذاتی افزایش جمعیت یک فراسنجه پایه‌ای است که می‌توان با توجه به مقدار آن روند رشد جمعیت یک حشره را پیشگویی نمود (Birch, 1948). چنانچه مقدار r بیشتر از صفر باشد، جمعیت حشره افزایش می‌یابد. اگر مقدار آن برابر با صفر باشد، جمعیت ثابت است و در صورتی که مقدار آن کمتر از صفر باشد، جمعیت حشره کاهش یافته و به سمت انقراض پیش خواهد رفت (Chi et al., 2020). در تحقیق حاضر r روی تیمارهای *B. subtilis*، *P. fluorescens* و سولفات روی بیشتر از تیمارهای دیگر بود که این موضوع می‌تواند بیان‌گر بالابودن کیفیت غذایی شته‌های تغذیه کرده از گیاهان تیمار شده با این تیمارها در مقایسه با ورمی-کمپوست ۳۰ درصد برای کفشدوزک دو نقطه‌ای می‌باشد. بدیهی است که تمام عواملی که روی بقاء و نمو موثرند می‌توانند اثرات بارزی روی r کفشدوزک داشته باشند و از آنجا که عوامل زیادی از قبیل باروری، بقاء و طول نسل در محاسبه r نقش دارند، بر اساس جدول زندگی تک جنسی r فراسنجه‌ی بسیار مناسب برای ارزیابی عملکرد یک دشمن طبیعی روی گیاهان مختلف میزبان خواهد بود (Southwood & Henderson, 2000). از سوی دیگر، در جدول زندگی دو جنسی سنی-مرحله‌ای فراسنجه‌های r و λ فراسنجه‌های مشتق شده‌ای هستند که بر این فرض استوارند که با نزدیک شدن زمان به بی‌نهایت، جمعیت مورد مطالعه به یک توزیع مرحله سنی پایدار می‌رسند و همه عوامل زنده و غیر زنده ثابت و نامحدود می‌مانند. از آنجایی که شرایط مزرعه به طور مداوم با زمان و فصل تغییر می‌کند،

کنترل شته استفاده نمود. در آخر پیشنهاد می‌شود برای کامل شدن نتایج، این پژوهش در شرایط مزرعه نیز انجام شود.

به کفشدوزک شکارگر دلیل بیشتر بودن r شته سبز هلو نسبت به این دو عامل بیوکنترل آن می‌باشد. در صورتی که بخواهیم براساس فراسنجه‌های جدول زندگی در مورد کارایی دشمنان طبیعی مورد استفاده اظهارنظر شود، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از هر دو عامل بیوکنترل به تنهایی قادر به تنظیم جمعیت شته سبز هلو نمی‌باشد، اما برای کنترل بهتر شته‌ی سبز هلو می‌توان از هر دو دشمن طبیعی به صورت مکمل هم برای تکمیل

سپاس‌گزاری

نویسندگان از تحصیلات تکمیلی گروه گیاه‌پزشکی دانشگاه محقق اردبیلی بابت همکاری‌های لازم برای انجام این تحقیق کمال تشکر را دارند.

References

- Akca, I., Ayvaz, T., Yazici, E., Smith, C. L., & Chi, H. (2015). Demography and population projection of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae): with additional comments on life table research criteria. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), 1466-1478. <https://doi.org/10.1093/jee/tov187>.
- Alizamani, T., Razmjou, J., Naseri, B., Hassanpour, M., Asadi, A., & Kerr, C. (2017). Effect of vermicompost on life history of *Hippodamia variegata* preying on *Aphis gossypii* Glover. *Journal of the Entomological Research Society*, 19, 51-60.
- Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani Talae, M., & Zibae, A. (2022). Effect of Micronutrient Fertilizers on Digestive Enzymes Activity of *Hippodamia variegata* (Goeze) Fed on *Myzus persicae* (Sulzer). *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 36(2), 213-225. <https://doi.org/10.22067/JPP.2022.74291.1070>.
- Alizamani, T., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Zibae, A. & Serrao, 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(3), 253-262. <https://doi.org/10.24425/jppr.2020.133319>.
- Aqueel, M. A., & Leather, S. R. (2012). Nitrogen fertiliser affects the functional response and prey consumption of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on cereal aphids. *Annals of Applied Biology*, 160(1), 6-15. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2011.00514.x>.
- Baidoo, P. K., & Mochiah, M. B. (2011). The influence of nutrient application on the pests and natural enemies of pests of okra *Abelmoschus esculentus* (L.) (Moench.). *Journal of Applied Biosciences*, 41, 2765- 2771.
- Bala, K., Sood, A. K., Pathania, V. S., & Thakur, S. (2018). Effect of plant nutrition in insect pest management: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4), 2737-2742.
- Bashan, Y., & Levanony, H. (1990). Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. *Candian Journal of Microbiology*, 36(9), 591- 608. <https://doi.org/10.1139/m90-105>.
- Bernays, E. A., & Chapman, R. F. (1994). *Host- plant selection by phytophagous insects*. Chapman and Hall, New York. <https://doi.org/10.1007/b102508>.
- Bigirimana, J., & Hofte, M. (2002). "Induction of systemic resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in bean by a benzothiadiazole derivative and Rhizobacteria. *Phytoparasitica*, 30, 159-168. <https://doi.org/10.1111/J.1364-3703.2004.00276.X>.

- Birch, A. N. E., Geoghegan, I. E., Majerus, M. E., McNicol, J. W., Hackett, C. A., Gatehouse, A. M., & Gatehouse, J. A. (1999). Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance. *Molecular Breeding*, 5, 75-83. <https://doi.org/10.1023/A:1009659316170>.
- Carey, J. R. (2001). Insect biodemography. *Annual Review of Entomology*, 46(1): 79- 110. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.79>.
- 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>.
- Chi, H. (2024). CONSUME-MSChart: a computer program for the age-stage, two-sex consumption rate analysis. National Chung Hsing University in Taiwan. (<http://140.120.197.173/Ecology/prod02.htm>).
- Chi, H., & Su, H. Y. (2006). Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environmental entomology*, 35(1), 10-21. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.1.10>.
- Chi, H., Kavousi, A., Gharekhani, G., Atlıhan, R., Salih Özgökçe, M., Günçan, A., Gökçe, A., Smith, C.L., Benelli, G., Guedes, R.N.C., & Amir Maafi, M. (2023). Advances in theory, data analysis, and application of the age-stage, two-sex life table for demographic research, biological control, and pest management. *Entomologia Generalis*, 43(4), 705–732.
- Chi, H., You, M., Atlıhan, R., Smith, C.L., Kavousi, A., Özgökçe, M.S., Günçan, A., Tuan, S.J., Fu, J.W., Xu, Y.Y., & Zheng, F.Q. (2020). Age-Stage, two-sex life table: an introduction to theory, data analysis, and application. *Entomologia Generalis*, 40(2).
- Chi, H., & Getz, W. M. (1988). Mass rearing and harvesting based on an age-stage, two-sex life table: a potato tuberworm (Lepidoptera: Gelechiidae) case study. *Environmental Entomology*, 17(1), 18-25.
- De Clercq, P., Bonte, M., Van Speybroeck, K., Bolckmans, K., & Deforce, K. (2005). Development and reproduction of *Adalia bipunctata* (Col., Coccinellidae) on eggs of *Ephestia kuehniella* (Lep.: Phycitidae) and pollen. *Pest Management Science*, 61(11), 1129- 1132. <https://doi.org/10.1002/ps.1111>.
- 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>.
- Frel, A. G. H., Cardona, C., & Dorn, S. (2003). Antixenosis and antibiosis of common beans to *Thrips palmi*. *Journal of Economic Entomology*, 93, 1577- 1584.
- Gadhav, K. R., Finch, P., Gibson, T. M., & Gange, A. C. (2016). Plant growthpromoting *Bacillus* suppress *Brevicoryne brassicae* field infestation and trigger density- dependent and density- independent natural enemy responses. *Journal of Pest Science*, 89(4), 985–992. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0721-8>
- Hagbardsland, K. J. F. (2018). *Multitrophic effects of the relationship between a plant growth-promoting rhizobacteria (Bacillus amyloliquefaciens) and arugula (Eruca sativa) on the predator Doru luteipes, using Plutella xylostella and Spodoptera frugiperda* (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås). <http://hdl.handle.net/11250/2588237>.

- Hajek, A. E., & Eilenberg, J. (2018). *Natural enemies: an introduction to biological control*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781107280267>.
- Harun-or-Rashid, M., Khan, A., Hossain, M. T., & Chung, Y. R. (2017). Induction of Systemic Resistance against Aphid by Endophytic *Bacillus velezensis* YC7010 via Expressing Phytoalexin Deficient4 in Arabidopsis". *Frontiers in Physiology*, 8, 211. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00211>.
- Harun-or-Rashid, M., Kim, H. J., Yeom, S. I., Yu, H. A., Manir, M. M., Moon, S. S., Kang, Y. J., & Chung, Y. R. (2019). *Bacillus velezensis* YC7010 enhances plant defenses against brown planthopper through transcriptomic and metabolic changes in rice. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1904. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01904>.
- Hodek, I., & Honek, A. (1996) Ecology of Coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1349-8>.
- Hodek, I., & Honêk, A. (2013). *Ecology of coccinellidae* (Vol. 54). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1349-8>.
- Hosseini, A., Hosseini, M., & Schausberger, P. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria enhance defense of strawberry plants against spider mites. *Frontiers in Plant Science*, 12, 783578. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.783578>.
- Huang, H. W., Chi, H., & Smith, C. L. (2018). Linking demography and consumption of *Henosepilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) fed on *Solanum photeinocarpum* (Solanales: Solanaceae): with a new method to project the uncertainty of population growth and consumption. *Journal of Economic Entomology*, 111, 1–9. <https://doi.org/10.1093/jee/tox330>.
- Jha, R. K., Chi, H., & Tang, L. C. (2012). A comparison of artificial diet and hybrid sweet corn for the rearing of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) based on life table characteristics. *Environmental Entomology*, 41, 30-39. <https://doi.org/10.1603/EN11206>.
- Kalushkov, P., & Hodek, I. (2004). The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. *BioControl*, 49, 21-32. <https://doi.org/10.1023/B:BICO.0000009385.90333.b4>.
- Kindlmann, P., & Dixon, A. F. (1999). Generation time ratios—determinants of prey abundance in insect predator–prey interactions. *Biological Control*, 16, 133-138. <https://doi.org/10.2307/2680210>.
- Lewontin, R. C. (1965). Selection for colonizing ability, pp. 77–94. In H. G. Baker and G. L. Stebbins (eds.), *The genetics of colonizing species*. Academic Press, San Diego, CA.
- Liu, Z., Li, D., Gong, P., & Wu, K. (2004). Life table studies of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on different host plants. *Environmental entomology*, 33, 1570-1576. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-33.6.1570>.
- Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, 86, 1-25. <https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e>.
- Mardani-Talae, M., Nouri-Ganblani, G., Razmjou, J., Hassanpour, M., Naseri, B., & Asgharzadeh, A. (2016). 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-Talae, 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*, p.e2400486. <https://doi.org/10.1002/jobm.202400486>.

Mardani-Talae, M., Nouri-Ganblani, G., Zibae, A., 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, 65-82. <https://doi.org/10.22055/PPR.2022.17365>.

Mardani-Talae, M., Razmjou, J., Nouri-Ganblani, 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-Talae, M., Zibae, A., Nouri-Ganblani, G., & Razmjou, J. (2016). Chemical and organic fertilizers affect physiological performance and antioxidant activities in *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Invertebrate Survival Journal*, 13, 122-133. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v13i1.122-133>.

Marshall, S. (2014, 15 January). Lady Beetles of Ontario. <http://www.uoguelph.ca/debu/lady/lady-beetles.htm>.

Megali, L., Schlauf, 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>.

Mirab-Balou, M., & Alizamani, T. (2021). The effect of nutritional interaction between micronutrient fertilizers and *Capsicum annuum* L. on the population growth of *Aphidoletes aphidimyza* Rondani as predator of green peach aphid. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 35, 481-494. <https://doi.org/10.22067/JPP.2021.70745.1028>.

Mirhosseini, M. A., Hosseini, M. R., & Jalali, M. A. (2015). Effects of diet on development and reproductive fitness of two predatory coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae). *European Journal of Entomology*, 112, 446. <https://doi.org/10.14411/eje.2015.051>.

Mohamadi, P., Razmjou, J., Naseri, B., & Hassanpour, M. (2017). Humic fertilizer and vermicompost applied to the soil can positively affect population growth parameters of *Trichogramma brassicae* (hymenoptera: Trichogrammatidae) on eggs of *Tuta absoluta* (lepidoptera: Gelechiidae). *Neotropical Entomology*, 46, 678–684. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0536-9>.

Moradi, R., Shakarami, J., & Mardani-Talae, M. (2021). Investigation of induced resistance in wheat to *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23, 1057-1072.

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, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.10.005>.

- Obrycki, J. J., & Kring, T. J. (1998). Predaceous coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology*, 43, 295-321. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.295>.
- Özgökçe, M. S., Chi, H., Atlıhan, R., & Kara, H. (2018). Demography and population projection of *Myzus persicae* (Sulzer.) (Hemiptera: Aphididae) on five pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Phytoparasitica*, 46, 153–167. <https://doi.org/10.1007/s12600-018-0651-0>.
- Pervez, M. N., Stylios, G. K., Liang, Y., Ouyang, F., & Cai, Y. (2020). Low-temperature synthesis of novel polyvinylalcohol (PVA) nanofibrous membranes for catalytic dye degradation. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121301. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121301>.
- Pineda, A., Zheng, S. J., van Loon, J. J., Pieterse, C. M., & Dicke, M. (2010). Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in plant science*, 15, 507-514. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.05.007>.
- Pourya, M., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Sadeghi, A., & Serrao, J. E. (2021). Bio-fertilizers and micronutrients affect the digestibility, detoxification, and intermediary metabolisms of English grain aphid, *Sitobion avenae*, in greenhouse. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24, 704-710. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.06.003>.
- Pourya, M., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Sadeghi, A., & Serrão, J.E. (2020). Induced resistance in wheat *Triticum aestivum* L. by chemical-and bio-fertilizers against English aphid, *Sitobion avenae* (Fabricius) (Hemiptera: Aphididae) in greenhouse. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40, 1043-1052. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00164-1>.
- Pourya, M., Shakarami, J., Mardani-Talae, M., Sadeghi, A., & Serrao, J. E. (2021). Bio-fertilizers and micronutrients affect the digestibility, detoxification, and intermediary metabolisms of English grain aphid, *Sitobion avenae*, in greenhouse. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 24(3), 704-710. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.06.003>.
- Price, P. W. (1997). *Insect ecology*. John Wiley & Sons.
- Puech, C., Baudry, J., Joannon, A., Poggi, S., & Aviron, S. (2014). Organic vs. conventional farming dichotomy: does it make sense for natural enemies?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 194, 48-57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.002>.
- Ramamoorthy, V., Viswanathan, R., Raguchander, T., Prakasam, V., & Samiyappan, R. (2001). Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection*, 20, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00056-9).
- 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, 1379-1383. <https://doi.org/10.1603/ec10120>.
- Schausberger, P., Peneder, S., Jürschik, S., & Hoffmann, D. (2012). Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. *Functional Ecology*, 26, 441-449.
- Shannag, H. K., & Obeidat, W. M. (2008). Interaction between plant resistance and predation of *Aphis fabae* (Homoptera: Aphididae) by *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of Applied Biology*, 152(3), 331-337. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00220.x>.

Southwood, R., & Henderson, P. A. (2000). *Ecological Methods*. Third edition, Blackwell Science, Oxford, USA.

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>.

Tripathi, R. N., & Singh, R. (1990). Fecundity, reproductive rate, longevity and intrinsic rate of increase of an aphidiid parasitoid *Lysiphlebia mirzai*. *Entomophaga*, 35, 601- 610. <https://doi.org/10.1007/BF02375094>.

Valenzuela-Soto, J. H., Estrada-Hernández, M. G., Ibarra-Laclette, E., & Délano-Frier, J. P. (2010). Inoculation of tomato plants (*Solanum lycopersicum*) with growth-promoting *Bacillus subtilis* retards whitefly *Bemisia tabaci* development. *Planta*, 231(2), 397-410. <https://doi.org/10.1007/s00425-009-1061-9>.

van Lenteren, J. C., Alomar, O., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2020). Biological Control Agents for Control of Pests in Greenhouses. In: Gullino, M., Albajes, R., & Nicot, P. (eds) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops* (pp. 409-439). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5-14>.

Vargas, G., Michaud, J. P., & Nechols, J. R. (2012). Larval food supply constrains female reproductive schedules in *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 105(6), 832-839. <https://doi.org/10.1111/een.12065>.

Vet, L. E., Van Lenteren, J. C., & Woets, J. 1980. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) IX. A review of the biological control of the greenhouse whitefly with suggestions for future research. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 90(1-5), 26-51. <https://doi.org/10.1017/S0007485300052214>.

Wu, X. H., Zhou, X. R., & Pang, B. P. (2010). Influence of five host plants of *Aphis gossypii* Glover on some population parameters of *Hippodamia variegata* (Goeze). *Journal of Pest Science*, 83, 77-83.

Wyss, E., Villiger, M., Hemptinne, J. L., & Müller-Schärer, H. (1999). Effects of augmentative releases of eggs and larvae of the two-spot ladybird beetle, *Adalia bipunctata*, on the abundance of the rosy apple aphid, *Disaphis plantaginea*, in organic apple orchards. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 90(2), 167- 173. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1999.00435.x>.

Zúñiga, E., Suzuki, H., & Vargas, R. (1986). Control biológico de los áfidos (Homoptera: Aphididae) de los cereales en Chile. III. Multiplicación y producción masiva de depredadores y parasitoides introducidos. *Agriculture Equipment and Technology*, 46, 489- 494. <https://doi.org/10.3989/graellsia.2016.v72.167>.



© 2025 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).