کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی
دوره۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۹ (۱۹۵-۱۸۵) مقاله پژوهشی DOI: 10.22059/jbioc. 2022.328867.309

اثر قارچ *Trichodermaharzianum* Tr6 بر برهم‌کنش کنه شکارگر *Phytoseiulus persimilis* و شکار آن *Tetranychus urticae* روی گیاه لوبیا (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae)

پدیده وطن‌پرست[۱]، آزاده زاهدی گلپایگانی[۲*]، علیرضا صبوری[۳]، کیوان بهبودی[۴]، هلن محمدی[۵]
۱و ۵. کارشناسان ارشد گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی ومنابع طبیعی،دانشگاه تهران
۲و ۴. دانشیاران گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی ومنابع طبیعی،دانشگاه تهران
۳. استاد گروه گیاهپزشکی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی ومنابع طبیعی،دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱ - تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۱۰/۲۶)

چکیده

قارچ‌های جنس***Trichoderma*** ازجمله عوامل کنترل بیولوژیکی هستندکه تأثیر آنها در کنترل حشرات و کنه‌های آفت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم مطالعه شده است. ولی در مورد تأثیر برهم‌کنش آن با گیاه روی شکارگرها اطلاعاتی در دست نیست.در این پژوهش با استفاده از گیاه لوبیای آلوده به کنه ***Tetranychus urticae*** و تیمار آن با قارچ ***T. harzianum*Tr6**، برخی ویژگی‌های رفتاری کنه شکارگر***Phytoseiulus persimilis***ازجمله میزان شکارگری، تخمگذاری، استقرار و پاسخ‌های بویایی ارزیابی شدند. استفاده از پچ‌های جفتی تیمارشده با قارچ و شاهد نشان داد برهم‌کنش گیاه با تریکودرما موجب افزایش میزان شکارگری ***P. persimilis*** می‌شود. در آزمون تخمگذاری با استفاده از گیاهان گلدانی هم‌سن و مسدود کردن ساقه گیاه با چسب، بین میزان تخمگذاری شکارگر در گیاهان تیمارشده با قارچ و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در آزمون میزان استقرار با اتصال پچ تیمار و شاهد با استفاده از پل طلقی، دفعات استقرار شکارگر روی پچ‌های گیاه تیمارشده با قارچ به‌طور معنی‌داری بیشتر از این میزان در شاهد بود. آزمون‌های بوسنجی با سه حالت صفر، سه و شش ساعت گرسنگی و دوحالت از طول دوره آلودگی با کنه تارتن (دو و چهار روز) و زمان بحرانی پنج دقیقه برای شکارگر طراحی شد. در هیچ‌یک از آزمون‌های بوسنجی برهم‌کنش قارچ با گیاه، موجب افزایش میزان جلب شکارگر نشد. افزایش معنی‌دار دفعات استقرار و میزان شکارگری ***P. persimilis*** روی پچ‌های تیمارشده با قارچ، از افزایش کمی یا کیفی مواد فرار بویایی در برهم‌کنش قارچ با گیاه میزبان آلوده به کنه تارتن ناشی می‌شود که البته با توجه به نتایج آزمون بویایی سنجی و همین‌طور عدم افزایش میزان تخم‌گذاری، بررسی-های بیشتر در این زمینه ضروری می‌نماید.

واژه های کلیدی: مهار زیستی، همزیست، کنه شکارگر، الفکتومتر

The effect of *Trichoderma harzianum* Tr6 on the interaction between *Phytoseiuluspersimilis* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) and its prey *Tetranychus urticae* on bean plant

Padideh Vatanparast[1], Azadeh Zahedi Golpayegani[1*], Alireza Saboori[1], Keivan Behboudi[1], Helen Mohammadi[1]
1 and 5. Master of Sciencees Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
2 and 4. Associate Professorse. Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Full Professor. Department of Plant Protection, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: Agu 22, 2021 - Accepted: Jan 16, 2021)

Abstract

The fungi related to the genus *Trichoderma* are of important biological control agents that although their direct and indirect effects on insect and mite pests have vastly been studied but less is known about their interactions with host plant and its effects on the predators. Here, we used *Tetranychusurticae* infested been plant as host, treated with *T. harzianum* Tr6, in order to investigate bahavioural characteristics of the predatory mite, *Phytoseiulus persimilisi.e.* the predation, oviposition and establishment rate. Besides, the olfactory response of the predator was studied. Using the paired patches, treated and untreated with *Trichoderma*, we recorded a higher predation rate of *P. persimilis*. Conducting the oviposition experiment performed with same-aged bean potted plants, with adhesive banned stems, we recorded no significant difference in the predator oviposition rates between the plants treated and untreated with fungi. In the establishment experiment, performed with connecting the leaf patches with a plastic bridge, the number of predator presence time on fungi treated patches was significantly more than that on control ones. The olfactory experiments were performed considering three starvation status, no starvation, three hours and six hours and two states of *T.urticae* infestation period (two and four days) and five minutes critical time. None of the treatments showed predator attraction towards plants treated with fungi. The significant increase in the establishment and predation rates on patches treated with fungi is due to the quantitative or qualitative promotion of herbivore induced plant volatiles that needs further investigations regarding the results related to olfactory and oviposition tests.

E-mail: zahedig@ut.ac.ir

مقدمه

صدمات ناشی از تغذیه حشرات و کنه‌ها و آسیب‌های زیست‌محیطی زیادی که استفاده بی‌رویه از ترکیبات شیمیایی به دنبال دارد، ضرورت استفاده از روش‌های نوین در سامانه‌های کنترل آفات را مشخص می‌کند(Pretty and Bharucha 2015). در همین راستا می‌توان به میکروارگانیسم‌های خاکزی فراوانی از جمله باکتری‌ها، ویروس‌ها نماتدها و قارچ‌هااشاره کرد که قادر هستنددر برهم‌کنش با ریشه گیاه و به صورت بیمارگر حشرات، به‌طور فعال عمل کنندو درنتیجه برای کنترل بسیاری از آفات گیاهی استفاده می شوند(Sindhu *et al*. 2017, Singh *et al*. 2019). شکارگرها باید بتوانند کیفیت شکار خود را ارزیابی و رفتارشان را بر اساس آن تنظیم کنند (Jaenike 1978, Pyke 1984). کیفیت شکار، از کیفیت گیاه میزبان و آن هم از عملکرد میکروارگانیسم‌های موجود در محیط ریشه متأثر می‌شود (Wardle 2002).در این بین، قارچ‌های آندوفیت (Endophyte)، با سپری کردن دوره‌ای از زندگی خود درون بافت گیاهی، بدون آسیب‌رسانی به گیاه و با استفاده از سازوکارهای متنوع از جمله فعال کردن مکانیسم دفاعی گیاه یا افزایش جذب مواد غذایی لازم برای تولید متابولیت‌های ثانویه دفاعی در گیاه میزبان و یا تولید مستقیم متابولیت‌های آفت‌کش، موجب کاهش میزان تغذیه حشرات و کنه‌ها از گیاه میزبان می‌شوند (Bamisile *et al*. 2018). نکته مهم در استفاده از این گونه قارچ‌های همزیست، اطمینان از عدم تأثیر مخرب‌شان بر عوامل کنترل بیولوژیک است. چراکه در کنترل تلفیقی آفات، هم‌زمان از راهبردهای کنترل متنوعی در کنار یکدیگر استفاده می‌شود(Vázquez 2019).

به عقیده اسمیت و رد، قارچ‌های همزیست ریشه، همگی در نحوه بیان صفات مهم گیاه میزبان از جمله توده گیاهی(Biomass) و ویژگی‌های شیمیایی آن موثرند (Smith and Read 2008). باوجود پژوهش‌های فراوانی که در زمینه برهم‌کنش قارچ‌های همزیست و گیاهخوار صورت گرفته است (Sindhu *et al*. 2017, Singh *et al*, 2019)، تنها تعداد کمی به سطح سوم غذایی تعمیم داده شده که البته به میکوریزها محدود شده است. برای نمونه، می‌توان به پژوهش‌هایی اشاره کرد که به تغییرات کیفی و کمی مواد فرار اندام‌های هوایی گیاه تحت حمله گیاه‌خوار پرداخته و به دنبال آن تغییر رفتار میزبان‌یابی دشمنان طبیعی را به اثبات رسانده است. گوریری و همکاران ثابت کردند کهزنبور پارازیتوید *Aphidiuservi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae)، گیاهان گوجه‌فرنگی تیمارشده با قارچ میکوریزا را نسبت به گیاهان معمولی ترجیح می‌دهد (Guerrieri *et al*. 2004). همپل و همکاران به افزایش فعالیت پارازیتیسم *Aphidius rhopalosiphi* DeStefaniPerez (Hymenoptera: Aphidiidae) روی علفهای هرز تیمار شده با میکوریزا اشاره کردند (Hempel *et al*. 2009). هافمن و همکاران نشان دادند که برهم‌کنش قارچ میکوریزا *Glomusmosseae* Nicol and Gerdبا گیاه لوبیا توانمندی کنه تارتن دولکه‌ای *Tetranychusurticae* Koch (Acari: Tetranychidae) و کنه شکارگرش *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot(Acari: Phytoseiidae) را افزایش می‌دهد (Hoffmann *et al*. 2011). قارچ‌های رشته‌ای جنس *Trichoderma* با داشتن حدود ۱۰۰ گونه توصیف‌شده و پراکنش زیاد، رشد سریعی دارد و افزونبر سازگاری زیاد با محیط‌های کشت گوناگون، قادر است آلودگی‌های محیطی و شرایط نامطلوب دیگر را به‌راحتی تحمل کند (Mishra *et al*. 2016, Hu *et al*. 2020). امروزه این قارچ ها در زمینه کنترل بیولوژیک، استخراج آنزیم، تحریک رشد گیاه و کاهش اثر مخرب تنش‌های محیطی بر گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است (Jangir *et al*. 2007, Poveda *et al*. 2019, Zhang *et al*. 2018, Alizadeh *et al*. 2013, Delkhah and Behboudi 2021). قارچ تریکودرما در برهم‌کنش با گیاه به صورت آندوفیت عمل می کند و با مستقر شدن در خارجی‌ترین بخش ریشه، به‌طور مستقیم (تولید متابولیت‌های ثانویه) و غیرمستقیم (فعال کردن دفاع سیستمیک گیاه میزبان) در کنترل آفات موثر واقع می شود (Poveda 2021) ، این درحالی است که درمورد تأثیر آن بر سطح سوم غذایی اطلاعاتی در دست نیست. در دنیای کنه‌ها، کنه تارتن دو لکه‌ای *T. urticae* و شکارگر اختصاصی‌اش *P. persimilis*، به واسطه اهمیت اقتصادی، بیشترین

مطالعات را به خود اختصاص داده‌اند. این گونه‌های شکار و شکارگر، شناخته‌شده‌ترین و فراوان‌ترین جفت همراه در بررسی‌های آزمایشگاهی هستند و اطلاعات فراوانی از لحاظ پراکنش و نحوه عملکرد آن‌ها دردست است (Migeon *et al*. 2019). کنه شکارگر *P. persimilis*فاقد چشم بوده و از مواد فرار بویایی برای دستیابی به شکار خود استفاده می‌کند (Sabelis and van der Weel 1993).یکی از منابع مهم برای دستیابی به این اطلاعات، گیاه آلوده به شکار است که موجب می‌شود *P. persimilis* بین میزبان‌های گیاهی گوناگون، مناسبترین را برای استقرار و تغذیه انتخاب کند (Dicke *et al*. 1990, Sabelis *et al*. 1999). ترکیب مواد فرار تحت تأثیر عوامل زنده و غیرزنده فراوانی قرار می‌گیرد که میکروارگانیسم‌های خاکزی همزیست ریشه از آن جمله‌اند(Schausberger *et al*. 2012) . نخستین قدم در ارزیابی میکروارگانیسم‌های خاکزی و تأثیر آن‌ها بر عوامل کنترل بیولوژیک مانند شکارگرها، بررسی تغییرات ایجاد شده در میزان جذابیت گیاه میزبان آلوده به گیاه‌خوار برای شکارگر است (Schausberger *et al*. 2012). بنابراین در این پژوهش فرض بر این است که اولاً تغییرات شیمیایی ایجاد شده در مواد فرار بویایی گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن دو لکه‌ای و تیمارشده با قارچ *T.harzianum* ، از جذابیت بیشتری برای کنه شکارگر *Phytoseiulus persimilis*برخوردار استو ثانیاً درصورت تیمار گیاه میزبان با قارچ *T. harzianum*، میزان شکارگری، تخمگذاری و استقرار کنه شکارگر *P. persimilis*، افزایش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه

از گیاه لوبیای قرمز رقم الموتی برای پرورش کلنی کنه تارتن دو لکه‌ای استفاده شد. بذرها به مدت ۲۴ ساعت خیسانده و پس از جوانه زنی در لیوان‌هاییکبارمصرف با زهکشی مناسب کاشته شدند. گیاهان در دوره‌هاییک روز در میان با محلول کود کامل NPK (۲۰×۲۰×۲۰) آبیاری شدند.

پرورش کنه تارتن دولکه‌ای و شکارگر آن

کلنی کنه تارتن دولکه‌ای روی گیاهان گلدانی لوبیا در شرایط نور کامل و دمای ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ درصد پروش داده شد. گیاهان سالم به‌طور مرتب در کنار گلدان‌های آلوده به کنه تارتن قرار می‌گرفت تا کلنی حفظ شود.کنه شکارگر *P. Persimilis* از آزمایشگاه رفتارشناسیکنه‌ها در پردیسکشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهرانتهیه و از روش اورمیر برای افزایش جمعیت آن استفاده شد (Overmeer 1985).در این روش یک تکه اسفنج اشباع از آب در ظرفی به ابعاد ۲۶ × ۱۶ ×۷سانتیمتر قرار گرفت. با قرار دادن یک ورقه طلق سبز رنگ روی اسفنج برای شبیه‌سازی محیط اصلی زندگی شکارگرها (گیاهان آلوده به شکار) و پوشاندنکناره‌های آن با دستمال‌کاغذی مرطوب، برگ‌های لوبیای آلوده بهکنه تارتن به روی جزیره منتقل وکنه‌های شکارگر روی این برگها رها شدند.ظرف‌های پرورش در ژرمیناتور با دمای ۱±۲۵ درجهسلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۷۵ درصدودورهنوری ۱۶ ساعتروشنایی و ۸ ساعت تاریکی نگهداری شدند.

کشت قارچ

جدایه قارچ *Trichoderma harzianum*Tr6 از کلکسیون کنترل بیولوژیک بخش بیماری‌شناسی گیاهیگروه گیاهپزشکی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران دریافت شد(Alizadeh *et al*. 2013). انتخاب این جدایه به دلیل کارایی قابل توجه آن در کنترل بیولوژیک ، در دسترس بودن ، سهولت کاربرد و اطلاعات کم درزمینه برهم‌کنش آن با سایر عوامل کنترل صورت گرفت. ین قارچ در تشتک‌های پتری شش سانتیمتری حاوی محیط کشت PDA کشت و در شرایط دمایی ۲۷ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۶۵ نگهداری شد. پس ازیک هفته و تولید اسپورهای فراوان، سوسپانسیون با استفاده از آب مقطر تهیه و اسپورها با استفاده از لام هموسیتومتر شمرده شدند. بذرهای جوانه زده گیاه لوبیا به سوسپانسیون با غلظت^{8}۱۰ اسپور در میلی لیتر آغشته و در پرلیت سترون کاشته شدند.

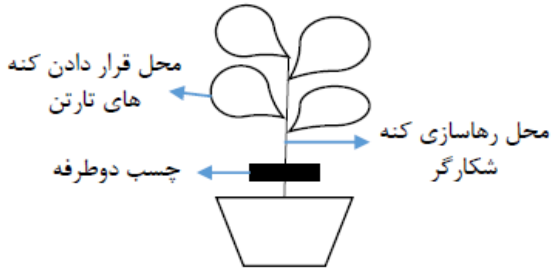
بررسی میزان شکارگری

در این آزمون به دلیل نیاز به شمارش دقیق تخم‌های

کنه‌های تارتن از برگ‌های بریده شده لوبیا (به جای گیاه گلدانی) و در دو حالت (برگ گلدان‌های چهار روز تیمار شده با قارچ و گلدان‌های تیمار نشده با قارچ یا شاهد) استفاده شد. برگ‌های لوبیا به ابعاد ۳ × ۳ سانتیمترمربع بریده و سپس برگ‌ها به صورت وارونه روی اسفنج هم-اندازه اشباع از آب مقطر در داخل تشتک‌های پتری به قطر ۹ سانتی متر قرار داده شد. سه روز پیش از شروع آزمون سه عدد کنه تارتن ماده تخم‌گذار به هر لکه (Patch) برگیمنتقل و به آن‌ها اجازه تخمگذاری داده شد. سه روز پس از نخستین تخمگذاری،کنه‌های تارتن حذف و تعداد تخم‌های کنه تارتن در هر دو پچ یکسان شد. سپس کنه‌های شکارگر تخم‌گذار هم‌سن به‌صورت انفرادیبه هر پچ افزوده شدند. پس از ۱۲ ساعت تعداد تخم‌های خورده شده کنه تارتن ثبت شد. این آزمون در ۱۵ تکرار انجام شد.

بررسی میزان تخمگذاری کنه شکارگر

برای انجام این آزمون گیاه میزبان به‌صورت گیاهان گلدانی چهاربرگیو چهار روز تلقیح شده با قارچ و گیاهان تیمارنشده (شاهد) استفاده شد. برای جلوگیری از تأثیر احتمالی بوی پرلیت بر رفتار تخمگذاری کنه شکارگر سطح گلدان‌ها با فویل آلومینیمی پوشیده شد. کنه شکارگر ماده جفت گیری‌کرده و آماده تخم‌گذاری برای این آزمون پس از طی مرحله هم‌سن سازی انتخاب شد. سه روز پیش از شروع آزمون ۱۵ عدد کنه تارتن تخمگذار هم‌سن به منظور تامین منبع غذایی شکارگر و ۱۰ لارو کنه تارتن (به‌عنوان شکار تازمان تامین تخم و لارو کافی توسط ماده تخم‌گذار) به گلدان‌ها منتقل شدند. به محض انتقال انفرادی کنه‌های شکارگر آماده تخمگذاری روی برگ دوم گیاه، آزمایش شروع وساقه اصلی گیاه در قسمت پایین برگ نخست، با چسب دوطرفه مسدود شد تا از خروج شکارگر و یا ورود سایر شکارگرها به گیاه جلوگیری کند. تعداد کل تخم‌های گذاشته شده توسط شکارگر، در پایان روز چهارم شمارش و محاسبه شد.به دلیل احتمال تفریخ تخم‌های مسن‌تر و تداخل مراحل پورگی با روند آزمون، هر دوساعت یکبار (۶صبح تا ۸ شب)، گلدان‌ها بررسی و لاروها و پوره‌های شکارگر حذف می‌شدند. این آزمون در ۱۵ تکرار انجام شد.



شکل ۱. واحد آزمایشی آزمون تخمگذاری شامل گیاه لوبیای چهاربرگی (تیمارشده با قارچ/ شاهد). چسب دوطرفه در قاعده ساقه مانع خروج شکارگر به سمت گلدان میشود. رهاسازی شکارگر کمی پایین‌تر از برگ اول و رهاسازی کنه‌های تارتن روی برگ دوم انجام می‌شود.

بررسی میزان استقرار کنه شکارگر در پچ شکار

در این آزمون از برگ‌های بریده شده گیاه لوبیا در دو حالت تیمار شده با قارچ و شاهد به ابعاد ۳ × ۳ سانتی-مترمربعکه با یک پل طلقی به ابعاد۱× ۳سانتی‌مترمربع به هم متصل شده‌بودند، استفاده شد. سه کنه تارتن تخمگذار هم‌سن (دو روزه) روی هریک از برگ‌های بریده دوطرف پل منتقل شد تا به‌مدت دو روز تخمگذاری کنند. در پایان روز دوم، کنه‌های تارتن و مراحل فعال احتمالی آن حذف و یک کنه *P. persimilis*در ابتدای مراحل تخمگذاری در وسط پل طلقی قرار داده‌شد. محل استقرار کنه شکارگر (حضور در هریک از دو پچ)، به مدت چهارساعت و هر ۱۵ دقیقه یکبار ثبت شد. این آزمون در ۱۵ تکرار انجام شد. در تمامی تکرارهای آزمون از کنه‌های شکارگر هم‌سن

استفاده شد.

آزمون بویایی سنجی

به منظور بررسی رفتار بوسنجی کنه شکارگر، از کنه های*P. Persimilis* ماده هم‌سن (سه روزه) استفاده شد و به هر کنه شکارگر امکان انتخاب بین منبع ترکیبات فرار ناشی از برگ‌های گیاهان لوبیای آلوده به کنه تارتن و تیمار شده با قارچ تریکودرما (چهار روز آلودگی) و بوی گیاهان آلوده به کنه تارتن و تیمارنشده با قارچ داده شد. دستگاه بوسنج از لوله Y-شکل تشکیل شده بود که بازوهای آن به واسطه لوله‌های خرطومی به محفظه منبع مواد فرار و بعد از آن به منبع تولید هوای پاک متصل شدند. هوای پاک پس از عبور از ذغال فعال، جداگانه وارد محفظه‌ها شده و سپس به داخل بازوهای جانبی دستگاه دمیده می‌شود. سرعت جریان هوا توسط جریان‌سنج‌های روی لوله‌های خرطومی سنجیده و روی ۰/۳ متر برثانیه تنظیم شد.برای آلوده کردن گیاهان به کنه تارتن، از ۳۰ کنه ماده بالغ *T.urticae*استفاده شد. آلودگی به کنه تارتن شامل دو تیمار دو روز آلودگی و چهار روز آلودگی و کنه شکارگر در سه حالت بدون گرسنگی، سه ساعت گرسنگی و شش ساعت گرسنگی درنظرگرفته‌شد. بنابراین منابع مواد فرار بوییابیبه‌صورت زیر در اختیار شکارگر جستجوگر قرار گرفتند:

۱. گیاه تیمار نشده با قارچ و دو روز آلوده به کنه تارتن در برابر گیاه تیمار شده با قارچ و دو روز آلوده به کنه تارتن

۲. گیاه تیمار نشده با قارچ و چهار روز آلوده به کنه تارتن در برابر گیاه تیمار شده با قارچ و چهار روز آلوده به کنه تارتن

هریک از آزمون‌ها در سه تکرار مستقل و هریک با ۱۵ تکرار داخلی به این‌صورت انجام شد که در پایان هر تکرار مستقل، منابع مواد فرار جابجا شده و از منابع جدید برای آزمون استفاده می‌شد. زمان بحرانی برای انتخاب شکارگر بر اساس پیش‌تست، پنج دقیقه درنظر گرفته شد. آزمون‌ها در طول روز و بین ساعت ۹صبح تا ۲ بعدازظهر انجام می‌گرفت.

تجزیه داده ها

به‌منظور تجزیه داده های مربوطه به آزمون‌های میزان شکارگری، میزان تخمگذاری و میزان استقرار، از آزمون tمستقل در نرم‌افزار SPSS 25 استفاده شد. داده-های مربوط به بوسنجی با استفاده از آزمون نیکویی برازش در نرم‌افزار اکسل تجزیه شد.

نتایج و بحث

میزان شکارگری

نتایج نشان داد در صورتی که گیاه میزبان با *T. harzianum*Tr6 تیمار شود میزان شکارگری *P. persimilis* از تخم‌های کنه تارتن دولکه‌ای (۵/۷±۲۰) به طور معنی‌داری بیشتر از این میزان در گیاهانی است که به عنوان شاهد(۰/۶۷ ±۸/۲)و بدون برهم‌کنش با قارچ در اختیار شکارگر قرار داشته‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. میزان شکارگری *P. persimilis* از تخم‌های *T. urticae*روی پچ‌های برگی لوبیای تیمارشده با *T. harzianum* Tr6 و شاهد

Table 1. Predation rate of *P. persimilis* on *T. urticae* eggs on bean leaf patches treated and untreated (control) with *T. harzianum*Tr6

Host plant	N	Predation rate (mean ± SE)	t	d_f	P value
Treated with *T. harzianum*Tr6	15	20 ± 5.7	5.146	28	<0.01
Control	15	8.2 ± 0.67			

افزایش قابل توجه میزان شکارگری*P. persimilis* از تخم‌های کنه تارتن که در این پژوهش به واسطه تیمار گیاه میزبان با قارچ *T. harzianum*Tr6 مشاهده شد نخستین گزارش از تأثیر مثبت این قارچ روی شکارگر می‌باشد. به نظر می‌رسد علت این امر، افزایش جذابیت شکار (محتوای غذایی بهتر) باشد.به عقیده‌ی هانتر و همکاران،هم‌زیست‌های میکروبی مرتبط با ریشه روی کیفیت گیاهخوار به عنوان ماده‌ی غذایی شکارگر تأثیر می گذارد و شرایط بهتری را (به ویژه از لحاظ توانمندی) برای شکارگر ایجاد می‌کند (Hunter 2016). هافمن و

همکاران هم این ویژگی را در مورد ارتباط میکوریزها با گیاه میزبان در حضور کنه تارتن دولکه‌ای تایید کرده اند(Hoffmann *et al*. 2019).در همین ارتباط می‌توان به نتایج دنوو همکاران در موردتأثیر همزیست‌های میکروبی بر افزایش ذخایر نیتروژن در بدن گیاهخوار و در نتیجه به تمایل بیشتر شکارگر برای تغذیه از آن‌ها اشاره کرد(Denno *et al*. 2002). برای اظهارنظر قطعی در این رابطه انجام پژوهش‌های تکمیلی در مورد ویژگی‌های فیزیولوژیک کنه تارتن که در اثر تغذیه از گیاه تیمارشده با قارچ دچار تغییر شده است، ضروری است.

میزان تخمگذاری

نتایج نشان داد میزان تخمگذاری*P. persimilis* در صورت تیمار گیاه میزبان با قارچ *T. harzianum* Tr6دستخوش تغییر نمی‌شود به عبارت دیگر بین میانگین تخم‌گذاری شکارگر در شاهد و در حالت تعامل با قارچ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد($P > 0.05$)(جدول ۲).

جدول ۲. میزان تخمگذاری *P. persimilis* روی گیاهان لوبیای آلوده به *T. urticae* تیمارشده با *T. harzianum* Tr6 و شاهد

Table 2. Oviposition rate of *P. persimilis* on *T. urticae* infested bean plants treated and untreated (control) with *T. harzianum*Tr6

Host plant	N	Oviposition rate (mean ± SE)	t	d_f	P value
Treated with *T. harzianum*Tr6	15	5.6 ± 1.1	4.71	28	0.64
Control	15	5.2 ± 1.1			

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون شکارگری، انتظار می‌رفت در گیاهان تیمار شده با قارچ، تخمگذاری شکارگر هم افزایش یابد یا به عبارت دیگر، شکارگری بیشتر، تخمگذاری بیشتر را به‌دنبال داشته باشد، در حالی که مشاهدات خلاف این امر را نشان داد. در واقع بین میزان تخمگذاری کنه شکارگر روی گیاهان تیمارشده با قارچ و این میزان روی گیاهان شاهد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مورد تأثیر قارچ تریکودرما بر میزان تخمگذاری شکارگرها اطلاعاتی در دست نیست ولی به‌طور کلی و با توجه به اینکه این قارچ در گروه همزیست‌های ریشه دسته‌بندی می‌شود می‌توان گفت نتایج این پژوهش با نتایج کوریشوا و همکاران در تضاد است(Koricheva *et al*. 2009). این پژوهشگران اشاره کردند که تأثیر قارچ میکوریزا روی رفتارهای متفاوت حشرات بستگی به نوع تغذیه حشره دارد. به این صورت که حشرات تک‌خوار از رابطه‌ی قارچ با گیاه میزبان سود می برند؛ در حالی که حشرات همه چیزخوار از این رابطه متضرر می‌شوند. درهمین راستا، هافمن و همکاران هم به تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا در افزایش میزان استقرار و تخم‌گذاری کنه‌های تارتن روی گیاه لوبیا اشاره کردند(Hoffmann *et al*. 2019).همین‌طور مورل و همکاران گزارش کردند که تیمار ریشه گیاه ذرت با قارچ‌های میکوریزا موجب کاهش میزان تخمگذاری کرم ساقه خوار اروپایی ذرت *Ostrinia nubilalis* Hubner (Lep.: Crambidae) می‌شود(Murrell *et al*. 2015). به عقیده این پژوهشگران با وجود موادغذایی فراوانی که در این برهم‌کنش در اختیار گیاهخوار قرار می‌گیرد، کاهش تخم‌گذارینوعی پاسخ گیاهخوار نسبت به تولید ثانویه موادی از جمله جاسمونیک اسید است که سطح دفاعی گیاه را افزایش می‌دهد. با توجه به این‌که هدف بررسی-های بالا، حشره گیاه‌خوار بوده است و مطالعه منتشر-شده‌ای در مورد تغییرات رفتار تخمگذاری شکارگر درچنین شرایطی در دست نیست، پژوهش‌های تکمیلی برای توجیه دقیق کاهش میزان تخمگذاری شکارگر ضروری است. البته به نظر می‌رسد یکی از دلایل این امر را می‌توان به کاهش کیفیت دریافتی موادغذایی نسبت داد که از گیاه‌خوار فعال روی گیاه میزبان تیمارشده با قارچ حاصل می‌شود.

دفعات استقرار کنه شکارگر در لکه شکار

نتایج نشان داد تعداد دفعات استقرار کنه شکارگر *P. persimilis*روی گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن و تیمار

شده با قارچ *T. harzianum*Tr6 در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری بیشتر است (P<0.01)(جدول ۳).

جدول ۳. تعداد دفعات استقرار *P. persimilis* روی پچ‌های برگی لوبیای آلوده به *T. urticae* تیمارشده با *T. harzianum* Tr6 و شاهد

Table 3. Establishment rate of *P. persimilis* on *T. urticae* infested bean leaf patches treated and untreated (control) with *T. harzianum*Tr6

Host plant	N	presence rate (mean ± SE)	t	d_f	P value
Treated with *T. harzianum*Tr6	15	2.86 ± 0.63	8.18	28	<0.01
Control	15	5.3 ± 0.97			

تاکنون اطلات منتشر شده‌ای در مورد این‌که برهم-کنش بین میکروارگانیسم‌ها با گیاه میزبان بتواند در میزان استقرار شکارگر روی گیاه تأثیرگذار باشد در دسترس نیست و بیشتر پژوهش‌هایی که در این رابطه صورت گرفته است رویتأثیر هم‌گونه‌ای‌ها، غیرهم‌گونه-ای‌ها و شرایط گونه‌ی شکار موجود در پچ روی دفعات استقرار شکارگر متمرکز شده است. برای نمونه می‌توان به پژوهش واناس و همکاران اشاره کرد که عنوان می-کند در صورتی که فاصله کنه ماده شکارگر نسبت به منبع ماده فرار، حدود یک و نیم سانتی‌متر یا کمی بیشتر باشد تمایل *P. persimilis* برای حضور به پچی که هم‌گونه‌ای‌ها در آن حضور دارند (برای تشکیل گروه) بیشتر است(Vanas *et al*. 2006). مائدا و تاکابایاشی به تراکم گیاهخوار در پچ مربوطه، به عنوان عامل اصلی وتعیین کننده مدت استقرار *P. persimilis* اشاره کردند (Maeda and Takabayashi 2001) و ناچاپا و همکاران هم به‌طور مشابه اشاره می‌کنند که میزان آلودگی پچ به کنه تارتن (آسیب دیدگی برگ)، یکی از عوامل موثر و تعیین کننده در زمان ترک پچ توسط کنه شکارگر *P. persimilis* است(Nachappa *et al*. 2006). با توجه به این‌که در این پژوهش هردو پچ از تراکم مشابهی از شکار برخوردار بوده‌اند، به‌طور قطع عامل دیگری که همان تاثیرات تیمار گیاه با قارچ بوده است، موجب معنی‌دار شدن میزان استقرار در پچ موردنظر شده است.در پژوهش تاکابایاشی و همکاران) سن برگ محل استقرار شکارگربه عنوان یکی از عوامل مهم برای استقرار عنوان شده است که باز با توجه به یکسان بودن شرایط دو پچ در این آزمایش قابل طرح نیست .Takabayashi *et al*) (1998به عقیده‌ی واناسو همکاران یکی از عوامل مهم که موجب می‌شود *P. persimilis* برای باقی ماندن یا ترک پچ اقدام کند، مناسب یا نامناسب بودن شرایط پچ برای نتاج است (Vanas *et al*. 2006). مشاهدات پژوهش حاضرمبنی بر استقرار بیشتر شکارگر در پچ‌های تیمارشده با قارچ را می‌توان مشابه هافمن و همکاران، به علایم و بوهای جذاب‌تر شکاری نسبت داد که روی این گیاه تغذیه کرده است (Hoffman *et al*. 2011).به عقیده این پژوهشگران، *P. persimilis* برای استقرار در پچ جدید به منظور تخمگذاری، بیشتر از اطلاعات به‌دست-آمده از بوهای مربوط به خود شکار (بیشتر مربوط به تخم) تا گیاه میزبان استفاده می‌کند. آن‌ها معتقدند، شناسایی این بوها در تخم‌های کنه تارتنی که روی گیاهان تیمارشده با قارچ میکوریز فعالیت کرده‌اند، بهتر صورت می‌گیرد. پژوهش حاضر، نخستین گزارش مشابه در گیاهانی است که با قارچ تریکودرما تیمارشده‌اند.

آزمون‌های بویایی سنجی

در شرایطی که گیاه لوبیا به مدت دو و چهار روز درمعرض آلودگی با کنه تارتن دولکه‌ای قرار گرفته بود، هنگامی که کنه شکارگر جستجوگر*P. persimilis* از یک سمت مواد فرار حاصل از گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن(شاهد) و از سوی دیگر مواد فرار گیاه آلودهبه کنه تارتن تیمارشده با قارچ را دریافت کرد، ۴۵ فرد به یکی از دو سمت گرایش داشتند که از این میان ۶۴/۵ درصد به سمت بازوی تیمار شده با قارچ و ۳۵/۵ درصد به سمت شاهد حرکت کردند. آزمون نکویی برازش نشان داد در هیچ‌یک از سه حالت گرسنگی، بین کنه‌های شکارگری که به یکی از دو سمت حرکت کردند تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد(جدول ۴)، در واقع کنه شکارگر گرایشی به سمت گیاه تیمار شده با قارچ نشان نداد. در شرایطی که گیاه لوبیا به مدت چهار روز

درمعرض آلودگی با کنه تارتن دولکه‌ای قرار گرفته بود، هنگامی که کنه شکارگر جستجوگر*P. persimilis*از یک سمت مواد فرار حاصل از گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن(شاهد) و از سوی دیگر مواد فرار گیاه آلوده تیمارشده با قارچ را دریافت کرد، به ترتیب و در شرایط بدون گرسنگی، ۳ ساعت گرسنگی و ۶ ساعت گرسنگی شکارگر، ۴۵ فرد به یکی از دو سمت گرایش داشتند که از این میان ۶۴/۵ درصد به سمت بازوی تیمار شده با قارچ و ۳۵/۵ درصد به سمت شاهد حرکت کردند. آزمون نکویی برازش نشان داد در هیچ‌یک از سه حالت گرسنگی، بین کنه‌های شکارگری که به یکی از دو سمت حرکت کردند تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، در واقع کنه شکارگر گرایشی به سمت گیاه تیمار شده با قارچ نشان نداد (جدول۴).

جدول ۴. نتایج آزمون بوسنجی (الف) و آزمون نکویی برازش (ب) برای بررسی پاسخ بویایی *P. persimilis* به بوهای ناشی از گیاه لوبیای آلوده به *T. urticae* تیمارشده و تیمارنشده با قارچ Tr6 *T. harzianum* . N(+)

Table 4. Results of replicate experiments of olfactometer tests (a) and replicated G test (b) for the response of *P. persimilis* to odour from *T. urticae* infested bean leaves treated and untreated with *T. harzianum*Tr6. N (+) and (-) shows number of individuals attracted towards fungustreated leaves and control respectively. The significancy of G_h (G for heterogeneity), G_p (pooled G), and G_t (Total G) values were compared to a λ^2distribution with 2,1 and 3 degree of freedoms respectively.

Infestation period	Starvation status (h)	Dependent test (a)	N				G (b)			P value		
			+	-	np	total	G_h	G_p	G_t	G_h	G_p	G_t
Two days	0	1	9	6	2	17						
		2	9	6	2	17	0.79	1.25	2.4	0.67	0.26	0.49
		3	11	4	0	15						
	3	1	11	4	0	15						
		2	3	12	0	15	12.01	0.00	12.0	0.002	1	0.007
		3	11	4	0	15						
	6	1	8	7	0	15						
		2	6	9	0	15	1.27	3.56	4.83	0.5	0.06	0.18
		3	5	10	0	15						
Four days	0	1	10	6	1	16						
		2	6	9	0	15	1.59	0.30	1.89	0.4	0.5	0.6
		3	8	7	0	15						
	3	1	9	6	0	15						
		2	9	6	2	17	1.9	0.34	2.24	0.3	0.5	0.5
		3	11	4	0	15						
	6	1	9	6	0	15						
		2	8	7	0	15	2.6	1.2	3.8	0.2	0.2	0.3
		3	12	3	0	15						

N(+) و N(-) به ترتیب نشانگر تعداد افراد جلب شده به برگ گیاهان تیمارشده با قارچ و کنترل هستند. معنی‌داری Gh (برای غیرهم‌گنی)، Gp (برایند) و Gt (مجموع) به‌ترتیب با درجات آزادی ۲، ۱ و ۳ با توزیع کای مقایسه شدند.

در بسیاری از پژوهش‌هایی که تأثیر برهمکنش میکروارگانیسم‌ها با ریشه گیاه روی مواد فرار بویایی ناشی از تغذیه گیاه‌خوار(Herbivore induced plant volatile,HIPV) و جذابیت آن برای بندپایان بررسی شده است به ترجیح زیاد بندپایان نسبت به گیاه تیمار شده با میکروارگانیسم اشاره شده است. شوسبرگر و همکاران در پژوهشی که با قارچ میکوریزا روی گیاه لوبیا انجام دادند، این رفتار ترجیح را به افزایش قابل توجه میزان بتا– اوسیمن و بتا – کاریوفیلن که از ترکیبات ثابت HIPV گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن است نسبت دادند(Schausberger *et al.* 2012). آن‌ها همچنین معتقدند در اثر برهم‌کنش قارچ میکوریزا با ریشه این گیاه میزان متیل‌سالیسیلات دستخوش تغییر می‌شود. در پژوهش حاضر با وجود این‌که حداقل زمان لازم برای تیمار گیاه با قارچ موردنظر رعایت شده و از طرفی طول دوره گرسنگی کنه شکارگر به عنوان یک متغیر لحاظ شد، در هیچ یک از آزمون‌ها گرایش معنی‌داری به سمت گیاهان تیمار شده با قارچ مشاهده نشد.پاتینوروز و شوسبرگر در پژوهش مشابهی به تأثیر تجربه در ارتباط باکنه‌های تارتن با گیاه تیمار شده با میکوریزا و افزایش جلب به سمت این گیاه اشاره کردند و آن را به عنوان نوعی یادگیری درکنه‌های شکارگر گزارش کرده‌اند

(Patiño Ruiz and Schausberger 2014)، این درحالی است که معنی دار نشدن گرایش کنه شکارگر در پژوهش حاضر را نمی‌توان به نداشتن تجربه با گیاهان تیمار شده با قارچ نسبت داد چراکه این شکارگرها ازکلنی‌هایی انتخاب شدند که به طور معمول با HIPV حاصل از فعالیت کنه تارتن در ارتباط بوده و اگر قرار بر این بود فعالیت قارچ روی ریشه غلظت برخی ترکیبات اصلیHIPV تغییر دهد، گرایش شکارگر نسبت به این مواد به‌حتم با افزایش معنی‌داری مواجه می‌شد. با توجه به افزایش معنی‌داردفعات استقرار و میزان شکارگری*Phytoseiulus persimilis*در پچ‌های تیمارشده با قارچ-که در آن‌هاحضور شکارگر روی پچ‌ها امکان ارزیابی مستقیم آن را فراهم می‌کرد-، می‌توان چنین نتیجه گرفت که به طور قطع گیاه تیمار شده با قارچ *Trichoderma harzianum*Tr6شرایط مساعدتری را برای شکارگر فراهم آورده است. بنابراین، عدم گرایش شکارگر به‌سمت گیاه تیمارشده با قارچ در آزمون‌های بوسنجی به نارسایی کیفی یا کمی مواد فرار بویایی در منابع درنظرگرفته‌شده برای آزمون‌های بوسنجی بازمی-گردد. به عقیده برنایز در مورد کنه شکارگر *P. persimilis* که مواد فرار بویایی ناشی از گیاه تیمارشده با میکوریزها را دریافت می‌کند، احتمال افزایش زمان بحرانی پاسخ مطرح است. به عبارت دیگر، زمان طولانی-تری لازم است تا شکارگر در آزمون بوسنجی، نسبت به انتخاب یکی از منابع تصمیم قطعی بگیرد، که البته در شرایط طبیعی و پس از گذشت این زمان، کنه گیاهخوار، دیگر پچ را ترک و به روی برگ تازه‌تری منتقل می‌شود و به عبارتی پس از رسیدن شکارگر به روی پچ، شکار چندانی در دست نخواهد بود (Bernays 2001).ناچاپا و همکاران هم گزارش کردند که اگر طول دوره آلودگی به کنه تارتن دولکه‌ای زیاد شده و منجر به آسیب بیش از حد گیاه شود، پاسخ کمی *P. persimilis* نسبت به HIPVآن گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش می-یابد (Nachappa *et al*. 2006). بنابراین حتی اگر افزایش زمان بحرانی، منجر به نتیجه موفقی در آزمون بوسنجی در شرایط آزمایشگاه شود، نتیجه در طبیعت چندان قابل قبول نیست. با توجه به اطلاعات کم موجود درمورد واکنش بندپایان به گیاهان میزبان تیمارشده با تریکودرما، انجام آزمون‌های تکمیلی مانند آنالیز مواد فرار بویایی تولید شده در برهم‌کنشها برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر ضروری است. نکته شایان توجه دیگر استفاده از گیاهان گلدانی کامل هم‌سن به‌جای برگ‌های بریده در آزمون‌های بوسنجی بوده است. به عقیده شوسبرگر و همکاران، نوع پاسخ شکارگر در آزمون‌های بوسنجی در شرایطی که از گیاه کامل یا از برگ‌های بریده به عنوان منابع مواد فرار استفاده شود، متفاوت است(Schausberger *et al*. 2012). عدم افزایش میزان تخمگذاری در آزمون دوم که در آن از برگ‌های بریده گیاه لوبیا استفاده شده هم می‌تواند این موضوع را تایید کند. شوسبرگر و همکاران، بهترین زمان تلقیح گیاه لوبیا با قارچ میکوریز به‌منظور شروع بررسی پاسخ بویایی *P. persimilis* را ۲۵ تا ۳۰ روز عنوان کرده‌اند (Schausberger *et al*. 2012). در این پژوهش دوره تلقیح ۲۸ روز درنظرگرفته‌شد. این احتمال وجود دارد که افزایش دوره تلقیح تا حد معین، پاسخ بویایی شکارگر نسبت به گیاه میزبان آلوده به کنه تارتن را تغییر دهد که البته تا کنون بررسی نشده است.

این پژوهش به عنوان نمونه‌ای از برهم‌کنش میکروارگانیسم‌های همزیست با گیاه و تأثیر آن روی سطح سوم غذایی برای نخستین بار نشان داد که کاربرد قارچ Tr6 *T. harzianum* شرایط را برای فعالیت بهتر کنه شکارگر *P. persimilis*روی گیاه لوبیای آلوده به کنه تارتن دولکه‌ای فراهم می‌کند. افزایش معنی‌دار میزان شکارگری و میزان استقرار شکارگر در گیاهان میزبان یا پچ‌های تیمارشده با تریکودرما، حاکی از افزایش کمی یا کیفی ترکیبات تشکیل‌دهنده HIPV ناشی از فعالیت کنه تارتن است. اینکه کدام ترکیب افزایش یافته یا کدام یک در قالب نقش پوشانندگی، زمینه جلب شکارگر را فراهم آورده است، نیازمند پژوهش‌های تکمیلی است. به‌نظر می‌رسد تغییر طول دوره تلقیح با قارچ، تکرار آزمون‌ها با منابع فرار مشابهی که با برگ‌های بریده تهیه شده باشند و حتی افزایش زمان بحرانی آزمون‌های بوسنجی از عواملی باشد که به جذابیت بیشتر پچ‌های تیمارشده با قارچ برای شکارگر بیانجامد. همین‌طور تکرار آزمون با گونه‌های عمومی‌خوار کنه‌های شکارگر به‌منظور بررسی احتمال تأثیر تیپ غذایی بر واکنش‌های

رفتاری آن ضروری میباشد.

طرح پژوهشی به شماره ۱۵-۶-۷۳۱۴۹۰۵۱ انجام گرفته است که بدینوسیله قدردانی می‌شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی دانشگاه تهران در قالب

REFERENCES

1. Alizadeh H, Behboudi K, Ahmadzadeh M, Javan-Nikkhah M, Zamioudis C, Pieterse CMJ, Bakker, PAHM (2013) Induced systemic resistance in cucumber and *Arabidopsis thaliana* by the combination of *Trichoderma harzianum*Tr6 and *Pseudomonas* sp. Ps 14. Biological Control 65: 14-23.
2. aenike, J. (1978) On optimal oviposition behavior in phytophagous
3. aenike, J. (1978) On optimal oviposition behavior in phytophagous
4. Bamisile BS, Dash CK, Akutse KS, Keppanan R, Wang L (2018) Fungal endophytes: beyond herbivore management. Frontiers in Microbiology 9: 544.https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544
5. Bernays, E.A. (2001)Neural limitations of phytophagous insects: implications for diet breadth and host affiliation. Annual Review of Entomology, 46: 703-727.
6. Delkhah J, Behboudi K (2021) Improvement of biocontrol efficacy of *Trichoderma harzianum* Tr6 vs. *Phytophthora drechsleri*, the causal agent of damping-off disease in *Cucumis sativus*. Journal of Crop Protection 10 (2): 411-423.
7. Denno RF., Gratton C, Peterson MA, Langelloto GA, Fink DL, Hubetry AF (2002) Bottom- up forces mediate natural-enemy impact in a phytophagous insect community. Environmental Ecology 83: 1443-1458.
8. Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA (1990) Plant strategies of manipulating predator–prey interactions through allelochemicals: Prospects for applicationin pest control. Journal of Chemical Ecology 16: 3091-3118.
9. Guerrieri E, Lingua G, Digilio MC, Massa N, Berta G (2004) Do interactions between plant roots and the rhizosphere affect parasitoid behaviour? Ecological Entomology 29: 753–756.
10. Hempel, S., Stein, C., Unsicker, S, Renker C, Auge H, Weisser WW, Buscot F (2009) Specific bottom–up effects of arbuscular mycorrhizal fungi across a plant–herbivore–parasitoid system. Oecologia 160:267–277.
11. Hoffman D, Howard RW (2019)Ecological, behavioral, chemical aspect of insect hydrocarbons.Annual Review of Entomology 66: 223-232.
12. Hoffmann D, Vierheilig H, Schausberger P (2011) Arbuscular mycorrhiza enhances preference of ovipositing predatory mites for direct prey-related cues. Physiological Entomology 36: 90-95.
13. Hu J, Zhou Y, Chen K, Li J, Wei Y, Wang Y, Wu Y, Ryder MH, Yang H, Dnton MD (2020) Large-scale *Trichoderma* diversity was associated with ecosystem, climate and geographic location. Environmental Microbiology 22: 1011–1024.
14. Hunter MD (2016) The Phytochemical Landscape. Linking Trophic Interactions and Nutrient Dynamics. Princeton, NJ: Princeton University Press. Pp. 376.
15. insects. Theoretical Population Biology, 14, 350 – 356.
16. insects. Theoretical Population Biology, 14, 350 – 356.
17. Jaenike, J (1978) On optimal oviposition behavior in phytophagous insects. Theoretical Population Biology 14: 350–356.
18. Jangir M, Pathak R, Sharma S (2017) *Trichoderma* and its potential applications. *In*: Singh DP, Singh HB, Prabha R (eds.), Plant- Microbe interactions in Agro-Ecological Perspectives. Springer, Singapore, pp. 323-339.
19. Koricheva J., Gange A.C., Jones T. (2009) Effects of mycorrhizal fungi on insect herbivores: a meta-analysis. Ecology 90: 2088-2097
20. Maeda T, Takabayashi J (2001) Production of herbivore-induced plant volatiles and their attractiveness to *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) with changes of *Tetranychusurticae* (Acari: Tetranychidae) density on a plant. Journal of Entomology and Zoology 36: 47-52.
21. Migeon A, Tixier MS, Navajas M, Listkas DV, Stavrinides Mc (2019) A predator- prey system: *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) and *Tetranychus urticae* (Acari" Tetranychidae): worldwide occurrence datasets. Acarologia 59 (3): 301-307.
22. Mishra N, Khan SS, Sundari SK (2016)Native isolate of *Trichoderma*: a biocontrol agent with unique stress tolerance properties. World Journal of Microbiology and Biotechnology 32: 130.https://doi.org/10.1007/s11274-016-2086-4
23. Murrell G, Crystal R, Eileen M (2015) European corn borer oviposition response to soil fertilization practices and arboscular mycorrhizal colonization corn. Ecosphere 6:1-12.
24. Nachappa P, Margolies DC, Nechols JR, Loughin T (2006) *Phytoseiulus persimilis* response to herbivore induced plant volatile as a function of mite-days. Experimental and Applied Acarology 40: 231-239.
25. Patiño Ruiz M, Schausberger P (2014) Spider mites adaptively learn recognizing mycorrhiza- induced changes in host plant volatiles. Experimental and Applied Acarology 64: 455- 453.
26. Poveda J (2021) *Trichoderma* as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. Biological

Control 159: 104634.https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104634
27. Poveda J, Hermosa R, Monte E, Nicolás C (2019) *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. Scientific Reports 9: 1–11.
28. Pretty J, Bharucha ZP (2015) Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. Insects 6: 152–182.
29. Pyke GH (1984) Optimal foraging theory: a critical review. Annual Review of Ecology and Systematics 15: 523–575.
30. Sabelis MW, van Baalen M, Baker Fm, Bruin J, Drukker B, Egas M, Janssen ARM, Lesna IK, Pels B, van Rijn PCJ, and Scutareanu P (1999) The evolution of direct and indirect plant defence against herbivorous arthropods. Herbivores. Between Plants and Predators*In*: Olff H, Brown VK, and Drent RH (eds).Blackwell Science, Oxford.pp. 109-166.
31. Sabelis MW, and Van der Weel JJ (1993) Anemotactic responses of the predatory mite, *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot, and their role in prey finding. Experimental & Applied Acarology 17: 521-529.
32. Schausberger P, Peneder S, Jürschik S, Hoffmann D (2012) Mycorrhiza changes plant volatiles to attract spider mite enemies. Functional Ecology 26: 441-449.
33. Sindhu SS, Sehrawat A, Sharma R, Khandelwal A (2017) Biological control of insect pests for sustainable agriculture, *In*: Adhya TK, Mishra BB, Annapura K, Verma Dk, Kumar U (eds), Advances in Soil Microbiology: Recent Tends and Future Prospects.Springer, Singapore, pp. 189-218.
34. Singh A, Bhardwaj R, Singh IK (2019) Biocontrol Agents: potential of biopesticides for integrated pest management, *In*: Giri B, Prasad R, Wu QS, Varma A (eds), Biofertilizers for sustainable Agriculture and Environments. Springer, Cham, pp. 413-433.
35. Smith SE. Read DJ (2008) Mycorrhizal Symbiosis. Elsevier, The Netherlands. pp. 800.
36. Takabayashi J, Maeda T, Yano S, Takafuji A (1998) Factors affecting the resident time of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) in prey patch. Applied Entomology and Zoology 33: 573-576.
37. Vanas V, Enigl M, Walzer A, Schausberger P (2006) The predatory mite *Phytoseiulus persimilis* adjusts patch-leaving to own and progeny prey needs. Experimental and Applied Acarology 39: 1-12.
38. Vázquez LL (2019) Interactions of entomopathogenic fungus with entomophagous insects in agroecosystems, *In*: Souza B, V´azquez LL, Marucci RC (eds.), Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems. Springer, Cham, pp. 161-171.
39. Wardle DA (2002) Communities and Ecosystems: Linking the Above-ground and Belowground Components. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. pp. 400.
40. Zhang F, Huo Y, Cobb AB, Luo G, Zhou J, Yang G, Wilson GWT, Zhang Y (2018) *Trichoderma* biofertilizer links to altered soil chemistry, altered microbial communities, and improved grassland biomass. Frontiers in Microbiology 9: 848.