پژوهش‌های کاربردی در گیاه‌پزشکی ۱۰ (۱): ۱-۱۶ (۱۴۰۰)

DOI: 10.22034/ARPP.2021.12443

تاثیر تیمار گیاه باقلا با قارچ *Trichoderma harzianum* بر زیست شناسی شته سیاه باقلا *Aphis fabae*

دریافت: ۹۹/۶/۲۸ بازنگری: ۹۹/۸/۴ پذیرش: ۹۹/۹/۸

سولماز عظیمی✉، سعیده شاهین، علیرضا علیزاده

گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران. ✉S_azimi2007@yahoo.com

چکیده

گونه‌های جنس تریکودرما از عوامل مهم کنترل زیستی بیمارگرهای گیاهی می‌باشند. اما پتانسیل گونه‌های تریکودرما در مدیریت آفات گیاهی ناشناخته باقی مانده است. در این مطالعه تاثیر قارچ *Trichoderma harzianum* TR6 روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته سیاه باقلا *Aphis fabae* در مقایسه با شاهد مورد بررسی قرار گرفت. گیاهان باقلا و جمعیت شته سیاه باقلا در شرایط دمایی ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵ ± ۵۰٪ و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی در اتاقک رشد پرورش داده شدند. سپس مقدار پنج میلی‌لیتر از سوسپانسیون اسپور قارچ با غلظت ۱×۱۰^{۶} در هر میلی لیتر به ناحیه ریزوسفر بوته‌های باقلا به وسیله سرنگ استریل اضافه شد. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار گیاه باقلا با قارچ نسبت به شاهد اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های زیستی شته سیاه باقلا داشت. طولانی‌ترین مدت زمان رشد و نمو (۲۰/۳۶ روز) و کم‌ترین میزان پوره‌زایی در تیمار *T. harzianum* TR6 به دست آمد. بین تیمار قارچ و شاهد از نظر نرخ ذاتی افزایش جمعیت تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید ($P \leq ۰/۵$)، به‌طوری‌که بیش ترین میزان این آماره روی تیمار شاهد (۰/۰۱ ± ۰/۴۲روز$^{-۱}$) و کم‌ترین آن روی تیمار قارچ *T. harzianum* TR6 (۰/۰۱ ± ۰/۱۶ روز$^{-۱}$) مشاهده شد. امید به زندگی پوره‌های شته سیاه باقلا که روی گیاه باقلا تیمار شده با قارچ پرورش یافته‌اند به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد کم‌تر بود. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اظهار داشت تیمار گیاهان باقلا با قارچ تریکودرما می‌تواند در کاهش جمعیت شته سیاه باقلا موثر باشد.

کلمات کلیدی: آفت، باقلا، جدول زندگی، شته، مقاومت القایی

Effect of bean plant treatment with *Trichoderma harzianum* TR6 on the biology of bean aphid *Aphis fabae*

Received: 18 Sep 2020 Revised: 25 Oct 2020 Accepted: 28 Nov 2020

Solmaz Azimi✉, Saedeh Shahin, Alireza Alizadeh

Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Shaid Madani Azarbaijan, Tabriz, Iran ✉s_azimi2007@yahoo.com

Abstract

Trichoderma species are important biocontrol agents of plant pathogens. However, potential of *Trichoderma* species in insect pest management, remain poorly understood. In this study, the effect of *T. harzianum* TR6 on the life table parameters of black bean aphid, *Aphis fabae*, was evaluated under glasshouse conditions and compared to control. The *Vicia faba* and black bean aphid were reared in a growth chamber at 25 ± 2 ^{0}C, %50 ± 5 RH and a photoperiod of 14 L : 10 D hours. Then, five ml of fungal spore suspension (with concentration of 1×10^{6} ml^{-1}) was added into the rhizosphere soil of sown mugs using a sterile syringe. The results obtained in this study revealed that *T. harzianum* significantly affected the biological properties of black bean aphid in comparison with the control. Treatment with *T. harzianum* resulted in the highest developmental time (20.36 days) and the lowest fertility rate in black bean aphid. There was significant differences in terms of inherent rate of population increase ($P \leq 0.5$) compared to the control. The highest rate was occurred in control treatment (0.42 ± 0.01 day^{-1}) and the lowest in treatment with *T. harzianum* (0.16 ± 0.01 day^{-1}). The life expectancy of black bean aphids, which were grown on *T. harzianum* treated soil, was significantly lower than the control. According to the results, it can be concluded that treatment of faba bean plant with *T. harzianum* can be effective in reducing the population of the aphids of the bean.

Keywords: Aphid, Bean plant, Induced resistance, Life table, Pest

مقدمه

شته سیاه باقلا *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae) یکی از مهمترین آفات گیاهی است و بیش از ۲۰۰ گونه گیاهی میزبان دارد. این گونه باعث خسارت به گیاهان متعلق به دو خانواده Chenopodiaceae و Fabaceae می‌شود (Khanjani 2004). علاوه بر خسارت مستقیم، شته‌ها به علت انتقال بیماری‌های ویروسی به گیاهان حائز اهمیت هستند و ناقل بیش از ۵۰ نوع ویروس بیماری‌زای گیاهی می‌باشند (Razmjou *et al*. 2012). کنترل شته‌ها بیشتر مبتنی بر استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی است. سموم شیمیایی که در کنترل شته‌ها استفاده می‌شوند باعث آلودگی‌های زیست محیطی و اثرات مخرب بر سایر موجودات زنده می‌شوند (Hasanshahi *et al*. 2016). گذشته از اثرات ناخوشایند آفت‌کش‌ها بر موجودات غیر هدف، مقاومت روز افزون شته‌ها به سموم شیمیایی و هزینه‌های بالای کنترل شیمیایی، لزوم شناسایی روش‌های موثر کنترل جمعیت شته‌ها را در قالب برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مشخص می‌کند (Mojahed *et al*. 2013). افزایش مقاومت گیاهان در برابر آسیب‌های ناشی از تغذیه حشرات آفت، می‌تواند به عنوان یک جایگزین غیرسنتی و دوست‌دار محیط زیست در این عرصه مورد بهره برداری قرار گیرد (Murphy *et al*. 2000). تغذیه صحیح گیاهان اثر چشمگیری در کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها داشته است و به عنوان یکی از عوامل افزایش دهنده مقاومت گیاهان در برابر آفات مورد توجه قرار گرفته است (Mahato *et al*. 2018). منابع زیادی تایید می‌کنند که بهبود تغذیه گیاهی با افزودن کودها، علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، می‌تواند اثر منفی روی جمعیت حشرات آفت داشته باشد (Razmjou *et al*. 2012). اثرات مضر استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، تحقیقات را متوجه استفاده از کودهایی با منشا زیستی کرده است، چنانچه در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. موارد زیادی از پژوهش‌ها اثبات می‌کند، کودها منجر به تولید و فعال شدن برخی موادی می‌شوند که گیاه را برای تغذیه آفت نامطلوب می‌کند (Sarfraz *et al*. 2007). کاهش کیفیت گیاه برای حشرات گیاه‌خوار به واسطه تغییر در مقدار و تعادل عناصر غذایی نظیر نیتروژن، کربن، فسفر و متابولیت‌های ثانویه صورت می‌پذیرد که به طور مستقیم نشو و نما و بقای حشرات گیاه‌خوار را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Mahato *et al*. 2018). به طور کلی بهبود رشد گیاه و بالارفتن مقاومت گیاه در برابر بیماری‌ها و آفات، استفاده از میکروارگانیسم‌های خاک‌زی را به عنوان کودهایی با منشا زیستی افزایش داده است (Hatef *et al*. 2020).

در این رابطه میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی از جمله قارچ‌ها نه تنها سبب بهبود تغذیه گیاهان و بالارفتن تحمل آن‌ها در برابر استرس‌های محیطی می‌شوند، بلکه باعث القاء مقاومت سیستمیک در بافت‌های گیاهی علیه بیمارگرها و حشرات گیاه‌خوار نیز می‌گردند (Kempster *et al*. 2002). در طول چند سال اخیر چندین مولفه باکتریایی و قارچی شناسایی شدند که در شروع مقاومت گیاهان نقش اساسی داشتند در واقع فعال شدن مقاومت باعث افزایش حساسیت سلول‌های گیاهی به هورمون‌های گیاهی پیام‌رسان می‌شوند که باعث پاسخ سریع‌تر و بهتر گیاه در مقابل عامل مهاجم می‌گردد (Boughton *et al*. 2017). تحقیقات اخیر در زمینه استفاده از ریزوباکتری‌ها و قارچ‌ها به عنوان کودهای زیستی نشان داده است که آنزیم‌ها و مولکول‌های دفاعی که در گیاهان در اثر القای مقاومت تولید می‌شوند، اثرات بازدارنده متفاوتی روی رشد و نمو آفات دارند و سبب مقاومت گیاهان در برابر آفات می‌شوند (Fahimi *et al*. 2014; Stout *et al*. 2006). تاکنون تعدادی زیادی از گونه‌های قارچی نظیر *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin، *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin به عنوان قارچ‌های پاتوژن حشرات معرفی شده‌اند (Greenfield *et al*. 2016). در سالیان اخیر نیز به نقش قارچ‌های اندوفیت گیاهی در مقاومت گیاهان در برابر انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی نظیر آفات حشره‌ای، بیمارگرهای گیاهی، شوری، خشکی و ... پی برده شده است (Russo *et al*. 2015). قارچ‌های اندوفیت میکروارگانیسم‌هایی هستند که در داخل بافت‌های گیاهی زندگی می‌کنند ولی هیچ‌گونه علایم ظاهری بیماری در گیاهان ایجاد نمی‌کنند (Salimi *et al*. 2019). حضور قارچ‌های اندوفیت گیاهی در بافت‌های گیاهان نشان دهنده یک ارتباط همزیستی سودمند برای هر دو جزء گیاه-میکروارگانیسم می‌باشد. این عوامل علاوه بر افزایش مقاومت در برابر انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی با افزایش قابلیت جذب مواد غذایی در گیاهان باعث افزایش رشد و عملکرد آن‌ها نیز می‌شوند (Salimi *et al*. 2019; Lopez & Sword 2015). اخیرا طی

تحقیقاتی امکان مایه‌زنی مصنوعی گیاهان با استفاده از قارچ‌های پاتوژن حشرات به منظور بررسی احتمال استقرار آن‌ها در گیاهان به عنوان اندوفیت گیاهی بررسی شده است (Qayyum *et al.* 2015; Greenfield *et al.* 2016). این پژوهش‌ها در مواردی منجر به موفقیت‌های امیدبخشی شده‌اند. به عنوان مثال استقرار قارچ‌های پاتوژن حشرات نظیر *B. bassiana* در گیاهان به عنوان اندوفیت گیاهی، نه تنها باعث حفاظت گیاهان در برابر آفات می‌شود (Biswas *et al.* 2013)، بلکه مقاومت آن‌ها را در مقابل انواع بیمارگرهای گیاهی و نماتدهای انگل گیاهی افزایش داده و همچنین باعث افزایش رشد گیاهان شده است (Jaber & Araj 2017). این نتایج چشم‌انداز روشنی را در رابطه با امکان استقرار انواع پاتوژن‌های حشرات به عنوان اندوفیت در گیاهان ترسیم نموده است. با این حال مشکلات مربوط به مستقرسازی این میکروارگانیسم ها در گیاهان و اخذ پاسخ مشابه در همه خانواده‌های گیاهی از محدودیت‌های این راهبرد می‌باشد که مستلزم انجام پژوهش‌های زیاد در این زمینه است.

در این میان سویه‌های مختلف گونه *Trichoderma harzianum* Rifai، به علت ظرفیت بالای تولید مثل، تحمل و مقاومت بالا در برابر تنش‌های محیطی و عوامل بیماری‌زا بسیار مورد توجه قرار گرفته است، چنانچه تاثیر مثبت گونه‌های مختلف تریکودرما بر رشد و جذب عناصر غذایی در گوجه فرنگی تحت تنش کم آبی اثبات شده است (Khoshmanzar *et al.* 2019). تنش‌های محیطی به علت تضعیف گیاهان از مولفه‌های مهم کاهش مقاومت گیاهان در برابر آفت به شمار می‌روند، که به نظر می‌رسد مشکل تنش‌های محیطی با کاربرد قارچ تریکودرما تا حدودی مرتفع گردد. قارچ‌های جنس تریکودرما در اکثر زیستگاه‌ها وجود داشته و از دامنه متنوعی از بسترهای طبیعی و مصنوعی جداسازی شده‌اند که بیانگر توانمندی و سازگاری زیاد این قارچ‌ها با شرایط اکولوژیکی مختلف می‌باشد (Friedl & Druzhinina 2012). در حال حاضر، سموم و کودهای زیستی متنوعی در بازار موجود است که اکثر آن‌ها بر پایه قارچ سویه‌های مختلف قارچ تریکودرما ساخته شده‌اند (Tang *et al.* 2020). اما پژوهشگران مشاهده کردند جدایه‌های بومی در مقایسه با جدایه‌های تجاری موجود در بازار، از توانایی بالای کنترل زیستی برخوردار هستند، در پژوهشی اثبات شد که جدایه *T. harzianum* Tr5 (جدایه محلی) ریزوسفر گیاه گندم، قابلیت اندوفیت شدن در داخل بافت گیاه گندم را دارا است که این قابلیت بسیار مهمی در راستای مدیریت بیمارگرها و آفات می‌تواند باشد (Narmani *et al.* 2019). همچنین پدیده مایکوپارازیتیسم در مورد هیف‌های *Trichoderma* پس از از برخورد با میسیلیوم‌های *Fusarium graminearum* Schwabe فقط در تعامل با جدایه محلی *T. harzianum* Tr5 مشاهد گردید که با تولید اندام‌های پنجه‌ای شکل روی ریسه بیمارگر و از طریق حلقه زدن دور هیف‌های *F. graminearum* از آن تغذیه می‌کند (Narmani *et al.* 2017).

فعال نمودن مکانیسم‌های دفاعی گیاه علیه حشرات آفت جذاب و دشوار است. متاسفانه اغلب تحقیقاتی که تاکنون در مورد نقش قارچ‌ها در القای مقاومت در گیاهان صورت گرفته است، به توانایی این عوامل در مقابله با بیمارگرهای گیاهی پرداخته است (Coppola *et al.* 2017) و تحقیقات اندکی در مورد القای مقاومت علیه آفات انجام شده است. در حالی که فهم چگونگی ارتباط بین آفات و میکروب‌های مفید خاک‌زی به عنوان کودهای زیستی در اکوسیستم کشاورزی و مدیریت تلفیقی آفات نقش مهمی دارد. در این راستا، در تحقیق حاضر تاثیر قارچ *T. harzianum* TR6 روی فراسنجه‌های جدول زندگی شته سیاه باقلا *Aphis fabae* در مقایسه با شاهد مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه باقلا

بذرهای باقلا، رقم تبریز (قراملک) از دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز تهیه شد. بذور به مدت ۲۷ ساعت در آب مقطر خیسانده شد. دو عدد بذر در داخل گلدان‌های پلاستیکی شفاف به قطر هشت سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر که حاوی بستره کشت سترون، پیت ماس خالص بود به فاصله‌ی سه سانتی متر از سطح خاک کشت شد. کشت‌ها تحت شرایط دمایی ۱ ± ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵۰ تا ۵۵٪ و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، با دوره آبیاری دو روز در میان نگهداری شدند.

پرورش شته سیاه باقلا

به منظور تشکیل کلنی شته سیاه باقلا، شته‌ها از روی گیاهان یونجه در محوطه دانشگاه شهید مدنی آذربایجان در اواخر

اردیبهشت‌ماه جمع‌آوری شدند. برای این منظور شاخه‌های مورد نظر با قیچی باغبانی بریده و با ظرف‌های مخصوص که درب‌های آن‌ها با تور پوشیده شده بود به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از اطمینان از صحت شناسایی گونه (تایید تشخیص رده‌بندی در موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی)، شته‌ها روی بوته‌های باقلا در مرحله رویشی چهار تا شش برگی پرورش داده شدند. کلنی شته-های رهاسازی شده روی باقلای کاشته شده در گلدان‌ها در داخل قفسه‌های چوبی (ابعاد ۱۰۰ × ۶۰ × ۷۰ سانتی‌متر) با دیواره توری (ارگانزا) روی گیاهان باقلا تحت شرایط دمایی ۲ ± ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵ ± ۶۰٪ و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی نگهداری شدند. پس از حداقل سه نسل پرورش جمعیت شته روی گیاه باقلا آزمایشات مربوط به بررسی جدول زندگی شته سیاه باقلا انجام شد.

کشت قارچ Trichoderma harzianum TR6

جدایه قارچ *T. harzianum* TR6 از کلکسیون قارچ‌شناسی دانشگاه تهران تهیه شد. این جدایه محلی طی تحقیقات قبلی از ریزوسفر خیار جداسازی شده بود (Alizadeh *et al*. 2013). به منظور تهیه پرگنه، قارچ روی محیط غذایی (Potato Dexterose Agar, PDA) در داخل هود میکروبیولوژیکی سترون کشت شد. کشت‌ها به مدت ۱۵ روز در داخل انکوباتور نگهداری شدند.

تهیه سوسپانسیون قارچ Trichoderma harzianum TR6

به منظور تهیه سوسپانسیون قارچ *Trichoderma harzianum* TR6، این جدایه در محیط کشت PDA به مدت ۱۵ روز در دمای ۲۴ درجه سلسیوس در داخل انکوباتور کشت داده شد. با اضافه کردن آب مقطر سترون به پرگنه‌های قارچی سوسپانسیون اسپوری قارچ تهیه شد. با استفاده از لام گلبول شمار (Hemocytometer)تعداد اسپورها در واحد حجم برآورد گردید. در نهایت سوسپانسیون قارچ با غلظت 10^6 اسپور در هر میلی‌لیتر تهیه شد (Alizadeh *et al*. 2013). پنج میلی‌لیتر از سوسپانسیون اسپور قارچ در مرحله دوبرگی به پای بوته‌های باقلا (اطراف ریزوسفر) تزریق شد.

مطالعه اثر تیمار قارچ Trichoderma harzianum TR6 بر فراسنجه‌های زیستی شته سیاه باقلا

برای بررسی فراسنجه‌های زیستی در حدود ۲۰۰ قفس برگی (۱۰۰ عدد به ازای هر تیمار با قارچ و شاهد و ۵۰ گیاه همسن از هر تیمار انتخاب شد و ۲ قفس برگی روی هر گیاه نصب شد) تهیه شد. قفس‌های برگی به قطر چهار سانتی‌متر تهیه شدند و دو طرف قفس سوراخی ایجاد و توسط توری ارگانزا پوشانده شد. برای هر تیمار حدود صد عدد حشره ماده انتخاب شدند. به شته‌ها اجازه داده شد که ۲۴ ساعت پوره‌زایی نمایند و بعد از ۲۴ ساعت همه پوره‌ها و فرد ماده به جز یک فرد پوره، حذف شد و بازدیدهای روزانه از قفس‌های برگی به طور ۲۴ ساعت ثبت شد. در نهایت پس از ظهور فرد ماده، تعداد پوره‌های گذاشته شده به طور روزانه ثبت شد و سپس به وسیله قلم مو حذف می‌شدند تا با پوره‌های گذاشته شده روز بعدی اشتباه گرفته نشود. این کار تا آخرین عمر ماده انجام شد. از نتایج به دست آماده در تحلیل فراسنجه‌های زیستی استفاده شد.

تجزیه داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات جمع آوری شده، جدول زندگی همه ۱۰۰ پوره اولیه با جدول زندگی ویژه سن-مرحله، دو جنسی تجزیه شد (Chi & Liu 1985). میانگین‌ها و خطاهای استاندارد فراسنجه‌های جمعیت با استفاده از مدل بوت استرپ محاسبه و برای تجزیه داده‌ها از برنامه کامپیوتری TWOSEX-MSChart نسخه ۲۰۱۸ استفاده شد و پارامترهای اصلی جدول زندگی نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ خالص تولید مثل، میانگین مدت زمان نسل، نرخ متناهی افزایش جمعیت و نرخ ناخالص تولید مثل محاسبه شد. از برنامه SigmaPlot 12 برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

طبق بررسی‌های انجام شده میانگین مراحل مختلف زندگی شته با تفکیک در جدول ۱ نشان داده شده است. تجزیه داده‌ها نشان داد که طول دوره پوره‌گی (پیش از بلوغ) برای حشرات ماده روی گیاهان باقلای تیمار شده با قارچ *T. harzianum* TR6،

۰/۱۷ ± ۸/۳۶ روز محاسبه شد که در مقایسه با تیمار شاهد (۰/۰۷ ± ۵/۶۳ روز) طول این دوره بیش‌تر بود.

طول عمر حشرات کامل (ماده) در تیمار قارچ *T. harzianum* TR6، ۰/۱۵ ± ۱۱/۷۶روز ثبت شد که در مقایسه با شاهد (۰/۱۸ ± ۱۳/۴۹ روز) کوتاه‌تر بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که طول عمر حشرات کامل در سطح احتمال ۵ ٪ با هم اختلاف معنی-داری داشتند (جدول ۱).

میانگین طول کل زندگی نشان داد که طول این دوره با تغذیه از گیاهان باقلایی که با قارچ *T. harzianum* TR6 تیمار شده‌اند، (۰/۲ ± ۲۰/۳۶روز) در مقایسه با تیمار شاهد بیش‌تر است (جدول ۱). افزایش طول دوره پوره‌گی و کوتاه بودن طول عمر ماده‌ها می‌تواند بیانگر نامناسب بودن غذای مصرفی باشد. تغذیه نامناسب اگرچه بلافاصله منجر به از بین رفتن حشره نمی-شود اما حداقل در طول دوره پورگی حشرات اثر دارد (Legrand & Barbosa 2000). هم‌چنین کوتاه بودن طول عمر افراد ماده و کاهش میزان پوره‌زایی از عوامل مهمی است که منجر به کاهش انبوهی جمعیت آفت می‌شود.

فراسنجه‌های مربوط به تولید مثل

نتایج مربوط به فراسنجه‌های تولید مثلی افراد ماده به صورت جداگانه در جدول ۲ آورده شده است. در بررسی رشد جمعیت‌ها، تعیین زمان و سن شروع تخم‌ریزی اهمیت زیادی داشته و می‌تواند بر رشد جمعیت تأثیر به سزایی داشته باشد. تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته است، برخی دوره پیش از تخم‌ریزی حشره بالغ (Total preoviposition perio; APOP) را به عنوان مدت زمان بین خروج حشره ماده و اولین تخم‌ریزی می‌دانند (Amir-Maafi & Chi 2006). برخی دیگر این مدت زمان را از مرحله تخم تا اولین تخم‌ریزی حشره ماده در نظر گرفته‌اند (Chi & Liu 1985). طول کل دوره قبل از پوره‌زایی (Adult preoviposition period; TPOP)، دوره پیش از پوره‌زایی حشره بالغ (APOP) طول دوره پوره‌زایی و تعداد کل پوره‌های زاییده شده به ازای هر ماده، درجدول ۲ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل از این بررسی میانگین طول کل دوره قبل از پوره‌زایی (TPOP) حشرات بالغ پرورش یافته روی گیاه باقلای تیمار شده با قارچ *T. harzianum* TR6، ۰/۱۵ ± ۱۲/۳۹ روز محاسبه شده است که در مقایسه با شاهد (۰/۰۷ ± ۶/۹۱ روز)، طولانی‌تر بود. هم‌چنین دوره پیش از پوره‌زایی حشره بالغ (APOP) در تیمار قارچ *T. harzianum* TR6 (۰/۰۶ ± ۰/۶۳روز) در مقایسه با شاهد (۰/۰۴ ± ۰/۲۸روز)، به طور معنی‌داری طولانی‌تر بوده است. فراسنجه-های ذکر شده در سطح احتمال ۵٪ در دو تیمار قارچ و شاهد با هم اختلاف معنی‌دار داشته‌اند. میانگین پوره‌های گذاشته شده روزانه به ازای هر ماده در تیمار قارچ *T. harzianum* TR6 ۰/۱۵ ± ۷/۹۸ عدد محاسبه شده است که در مقایسه با شاهد ۰/۰۸ ± ۱۴/۰۱ عدد، کم‌تر بوده است.

طول دوره بلوغ و تعداد تخم‌های گذاشته شده توسط افراد ماده در تیمار قارچ *T. harzianum* TR6، در مقایسه با شاهد کم-تر بود. احتمالا دلیل آن می‌تواند دلالت بر تراکم بالای متابولیت-های ثانویه در باقلای تیمار شده با قارچ *T. harzianum* TR6 باشد.

تا به امروز در مورد اثر قارچ تریکودرما روی فراسنجه‌های شته باقلا تحقیقاتی انجام نشده است. اما به نظر می‌رسد، زمانی که کیفیت غذا برای آفت مناسب نباشد، آفت انرژی که باید صرف تولید مثل کند صرف زنده‌مانی می‌کند که در نتیجه میزان تولید مثل پایین می‌آید. در تحقیق مشابه که انجام شد، پژوهشگران نشان دادند گیاهان خیاری که با باکتری *Pseudomonas fluorescens* Migula تیمار شده بودند به طور معنی‌داری سبب افزایش طول دوره پوره‌گی و کاهش پوره‌زایی شته پنبه *Aphis gossypii* Glover شدند. همچنین با بررسی‌های بیوشیمیایی که روی گیاه خیار تیمار شده با استرین PF169 باکتری *P. fluorescens* انجام دادند، ثابت کردند که این باکتری باعث القای مقاومت گیاه خیار در برابر شته پنبه می‌شود (Fahimi *et al.* 2014).

فراسنجه‌های رشد جمعیت

نرخ ذاتی افزایش جمعیت rm شته سیاه باقلا با تغذیه از گیاهان باقلای تیمارشده با قارچ *T. harzianum* TR6 ± ۰/۰۱ ۰/۱۷روز$^{-1}$ برآورد شده و نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین در مقایسه با شاهد نشان داد که نرخ ذاتی افزایش جمعیت شته سیاه باقلا تحت تاثیر گیاه میزبان تغذیه کرده، قرار داشته است و بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار

وجود دارد. نرخ ذاتی افزایش جمعیت، نرخ رشد سرانه جمعیت بوده و به عنوان یک فراسنجه مقایسه‌ای برای مشخص کردن اثر تیمارهای مختلف از نظر کیفیت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی گیاه میزبان روی ظرفیت تولیدمثلی حشره استفاده می‌شود (Southwood *et al*. 2000). از این فراسنجه می‌توان به عنوان ملاکی برای انتخاب بهترین تیمار و پیشگویی موفقیت مقاومت القایی گیاهان استفاده کرد (Omrani-Dizaji 2012).

جدول ۱. فراسنجه‌های زیستی (میانگین ± SE) شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه باقلای تیمار شده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6 و شاهد.

Table 1. Life history traits (Mean ± SE) of *Aphis fabae* reared on treated bean plant by *Trichoderma harzianum* TR6 and control.

treatment	Development time (day)	Adult longevity (day)	Total developmental time (day)
Control	5.36 ± 0.07 [b]	13.49 ± 0.18 [a]	18.09 ± 0.16 [b]
Trichoderma harzianum	8.36 ± 0.17 [a]	11.76 ± 0.15 [b]	20.36 ± 0.20 [a]

The means followed by different letters in the columns, are significantly different based on paired bootstraps (100 000 bootstraps $P < 0.05$).

جدول ۲. فراسنجه‌های تولیدمثلی (میانگین ± SE) حشرات کامل شته سیاه باقلا با تغذیه از گیاه باقلای تیمار شده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6 و شاهد.

Table 2. Reproduction parameters (Mean ± SE) of *Aphis fabae* reared on treated bean plant by *Trichoderma harzianum* TR6 and control.

treatment	TPOP	APOP	offspring per day
Control	6.91 ± 0.07 [b]	0.28 ± 0.04 [b]	14.01 ± 0.08 [a]
Trichoderma harzianum	12.39 ± 0.15 [a]	0.63 ± 0.06 [a]	6.89 ± 0.15 [b]

The means followed by different letters in the columns, are significantly different based on paired bootstraps (100 000 bootstraps $P < 0.05$).

نرخ متناهی افزایش جمعیت λ شته سیاه باقلای پرورش یافته روی گیاه تیمار شده با قارچ ۰/۰۱ ± ۱/۱۹ روز$^{-1}$ برآورد شد که در مقایسه با شاهد (۰/۰۲ ± ۱/۵۳روز$^{-1}$) در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد. فراسنجه‌های جدول زندگی این حشره از جمله زادآوری پایین، طولانی بودن دوره پیش از بلوغ و عمر کوتاه ماده‌ها روی تیمار قارچ می‌تواند در پایین بودن نرخ ذاتی افزایش جمعیت و نرخ متناهی افزایش جمعیت موثر باشد (جدول ۳-۳).

مقایسه میانگین‌ها بر اساس نرخ خالص تولیدمثل R_0 نشان داد که نرخ خالص تولیدمثل شته سیاه باقلا روی گیاه باقلای تیمار شده با قارچ و شاهد به ترتیب ۰/۰۲ ± ۱۷/۸۲ و ۰/۰۶ ± ۶۹/۸۹ (ماده بر ماده بر نسل) تخم به ازای فرد بود که در سطح احتمال ۵٪ با هم تفاوت معنی‌داری داشتند. در این آزمایش رقم گیاه و همه شرایط یکسان است و فقط گیاهان با قارچ تیمار شده‌اند پس می‌توان گفت که تنها عامل تفاوت در فراسنجه‌های محاسبه شده، تیمار گیاهان با قارچ است (جدول ۳).

براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میانگین مدت زمان یک نسل T یا به بیان دیگر مدت زمان لازم برای R_0 برابر شدن جمعیت بین دو تیمار قارچ *T. harzianum* TR6 و شاهد در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳).

با وجود برخی اختلافات در نتایج به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که گیاه باقلای تیمار شده با ترکیب قارچ میزبان مناسبی برای شته سیاه باقلا نیست. با توجه به نتایج فراسنجه‌های جدول زندگی شته سیاه باقلا در تیمارهای مختلف می‌توان نتیجه گرفت قارچ در مقایسه با شاهد بهترین عملکرد را در کاهش جمعیت شته سیاه باقلا داشته است. هر چند بدون انجام بررسی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه و شته سیاه باقلا هر گونه اظهار نظر در مورد عملکرد قارچ به تنهایی صحیح نمی‌باشد.

فراسنجه‌های جدول زندگی شته سیاه باقلا که در این پژوهش به دست آمد در محدوده‌ای بود که توسط محققین پیشین نیز برآورد شده بود. در مطالعه‌ای جهت ایجاد مقاومت القایی در گیاه باقلا نسبت به شته سیاه باقلا فقط از کود ورمی کمپوست استفاده شد و میانگین پوره‌زایی روزانه شته سیاه باقلا به ازای هر ماده از ۷/۹ تا ۱۷ پوره در هر روز ثبت شد که دامنه این اعداد با نتایج تحقیق حاضر در گیاه شاهد باقلا مطابقت دارد (Goszczyński *et al*. 2002). اما در بررسی منابع شواهدی دال بر استفاده از قارچ *T. harzianum* TR6 در بررسی منابع وجود ندارد.

جدول ۳. فراسنجه‌های جدول زندگی (میانگین ± SE) شته سیاه باقلا پرورش یافته روی با تغذیه از گیاه باقلای تیمار شده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6 و شاهد.

Table 3. Life table parameters (Mean ± SE) of *Aphis fabae* reared on treated bean plant by *Trichoderma harzianum* TR6 and control.

Parameter	*Trichoderma harzianum*	Control
GRR	21.94 ± 0.03^{b}	73.62 ± 0.06^{a}
T	16.68 ± 0.12^{a}	9.91 ± 0.14^{b}
R_0	17.82 ± 0.02^{b}	69.68 ± 0.06^{a}
r	0.17 ± 0.01^{b}	0.42 ± 0.01^{a}
λ	1.19 ± 0.01^{b}	1.53 ± 0.02^{a}

The means followed by different letters in the rows are significantly different based on paired bootstraps (100 000 bootstraps $P < 0.05$).

امید به زندگی

در بررسی حاضر، امید به زندگی شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه باقلا تیمار شده با *T. harzianum* TR6 در مراحل پوره (پیش از بلوغ) و حشره کامل ماده به ترتیب ۲۰/۳۶ و ۱۱/۳۷ روز به دست آمد (شکل ۱). هم‌چنین تحقیق حاضر نشان داد امید به زندگی پوره و حشره کامل روی گیاه شاهد به ترتیب ۱۸/۰۹و ۱۴/۱۲روز بود (شکل ۱).

امید به زندگی کم‌تر حشره کامل ماده در تیمار قارچ را می‌توان به کوتاه‌تر بودن عمر حشرات کامل نسبت داد. این نتیجه نشان می‌دهد که تغذیه از گیاهان تیمار شده با قارچ روی امید به زندگی حشرات کامل بیش‌تر از پوره‌ها تاثیرگذار بوده است. امید به زندگی پایین در حشرات کامل به طور مستقیم در مدت زمان پوره‌زایی حشرات کامل ماده تاثیر می‌گذارد و همین بیش‌ترین تاثیر را روی تغییرات جمعیتی و کاهش انبوهی جمعیت آفت می‌گذارد.

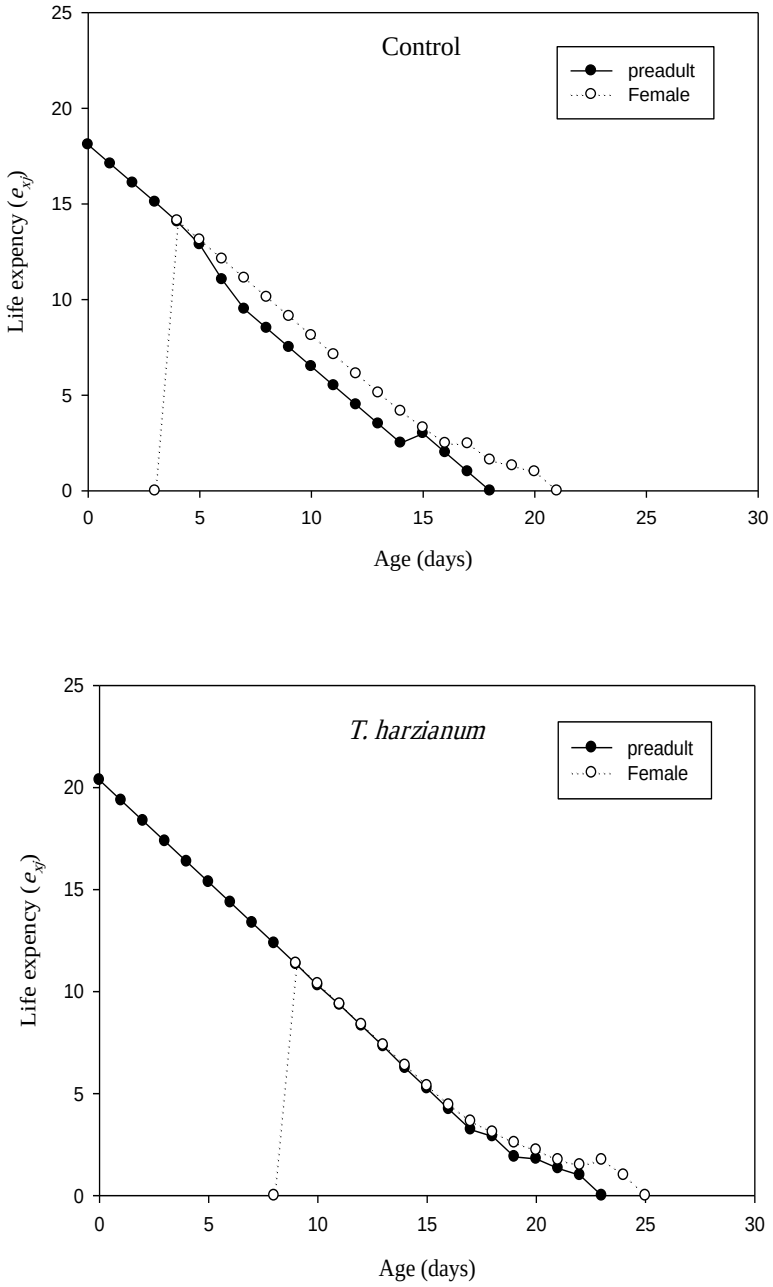
در تحقیقات مشابه امید به زندگی شته جالیز در زمان تولد در سطوح صفر تا ۳۰٪ ورمی‌کمپوست به ترتیب ۱۸/۲۲، ۱۴/۶۱، ۱۱/۸۷ و ۱۱/۳۷ روز محاسبه شد. کم‌ترین امید به زندگی در تیمار ۳۰٪ ورمی‌کمپوست می‌باشد که نشان دهنده شدت تاثیر منفی این تیمار روی شته جالیز در مقایسه با تیمارهای دیگر است (Kasaei Faradonbeh *et al*. 2015). همچنین Omrani-Dizaji (2012)، امید به زندگی شته سیاه باقلا را در زمان تولد در سطوح مختلف صفر تا ۳۰٪ ورمی کمپوست به ترتیب ۲۰/۳۷، ۱۶/۰۹، ۱۸/۱۴ و ۱۴/۷۵ روز و در زمان ظهور حشرات کامل به ترتیب ۱۶/۶۴، ۱۴/۷۷، ۱۲/۵۸ و ۱۲/۱ روز محاسبه شد.

ارزش تولیدمثلی و باروری ویژه سنی- مرحله‌ای

ارزش تولیدمثلی سنی- مرحله‌ای V_{xj} تعداد نتاجی است که انتظار می‌رود توسط یک فرد در سن x و در مرحله j تولید شود به عبارت دیگر سهم یک فرد در سن و مرحله در جمعیت بعدی را به صورت کمی نشان می‌دهد.

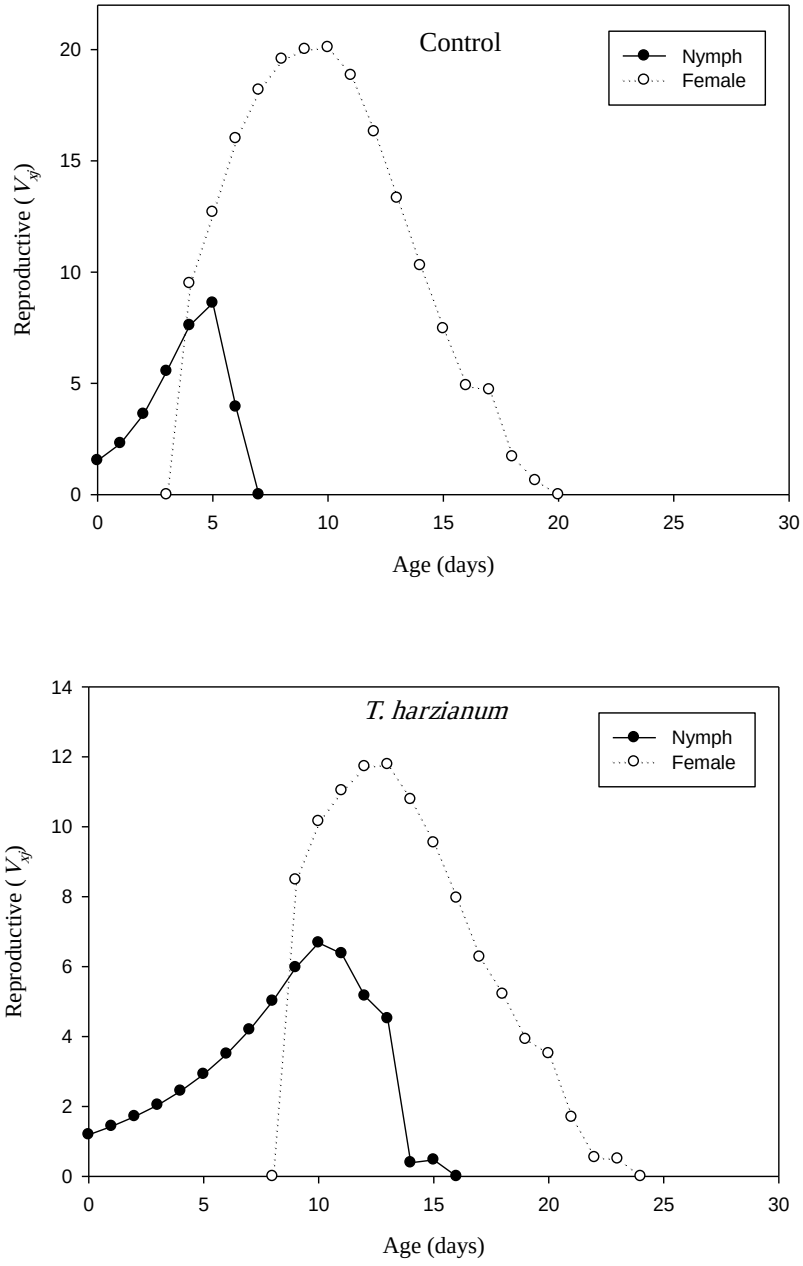
مقادیر به دست آمده از این بررسی برای ارزش تولیدمثلی نشان می‌دهد که افراد ماده پرورش یافته روی باقلا شاهد در روز ۱۰ با تولید ۲۰/۱ پوره بیش‌ترین مشارکت را در نسل آینده داشتند. بیش‌ترین پوره تولید شده مربوط به تیمار قارچ *T. harzianum* TR6 در روز ۱۳ با تعداد ۱۱/۸۷ پوره ثبت شد. با بهره‌گیری از این فراسنجه می‌توان در هر مرحله آینده جمعیت شته سیاه باقلا را پیش‌بینی کرد (شکل ۲).

شروع زود هنگام پوره‌زایی حاکی از کوتاه بودن طول دوره پوره‌گی است که این دوره در تیمار شاهد از همه تیمارها کوتاه‌تر است. کوتاه بودن طول دوره پوره‌گی باعث افزایش انبوهی جمعیت در کوتاه مدت می‌شود.



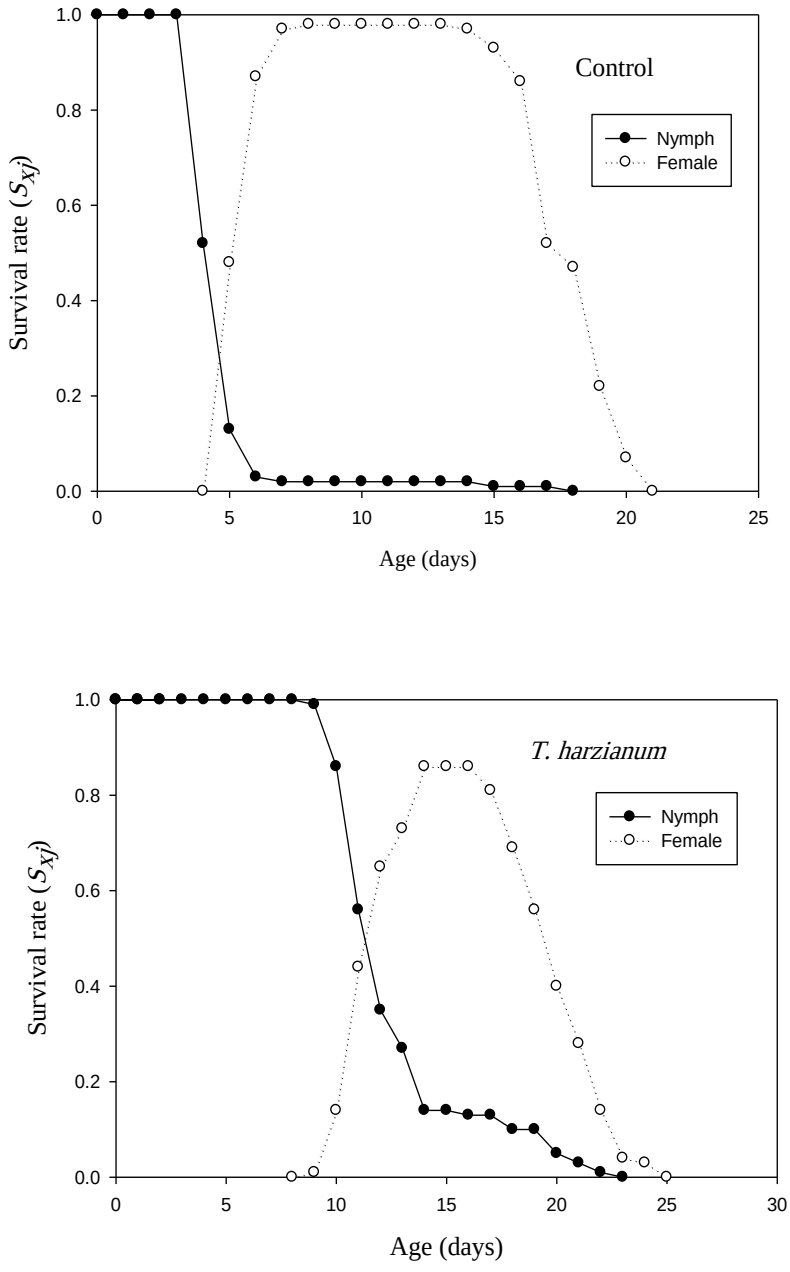
شکل ۱. امید به زندگی سنی مرحله‌ای شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه شاهد باقلا و گیاه باقلا تیمارشده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6.

Figure 1. The life expectancy (e_{xj}) of *Aphis fabae* reared on treated and untreated bean plant by *Trichoderma harzianum* TR6.



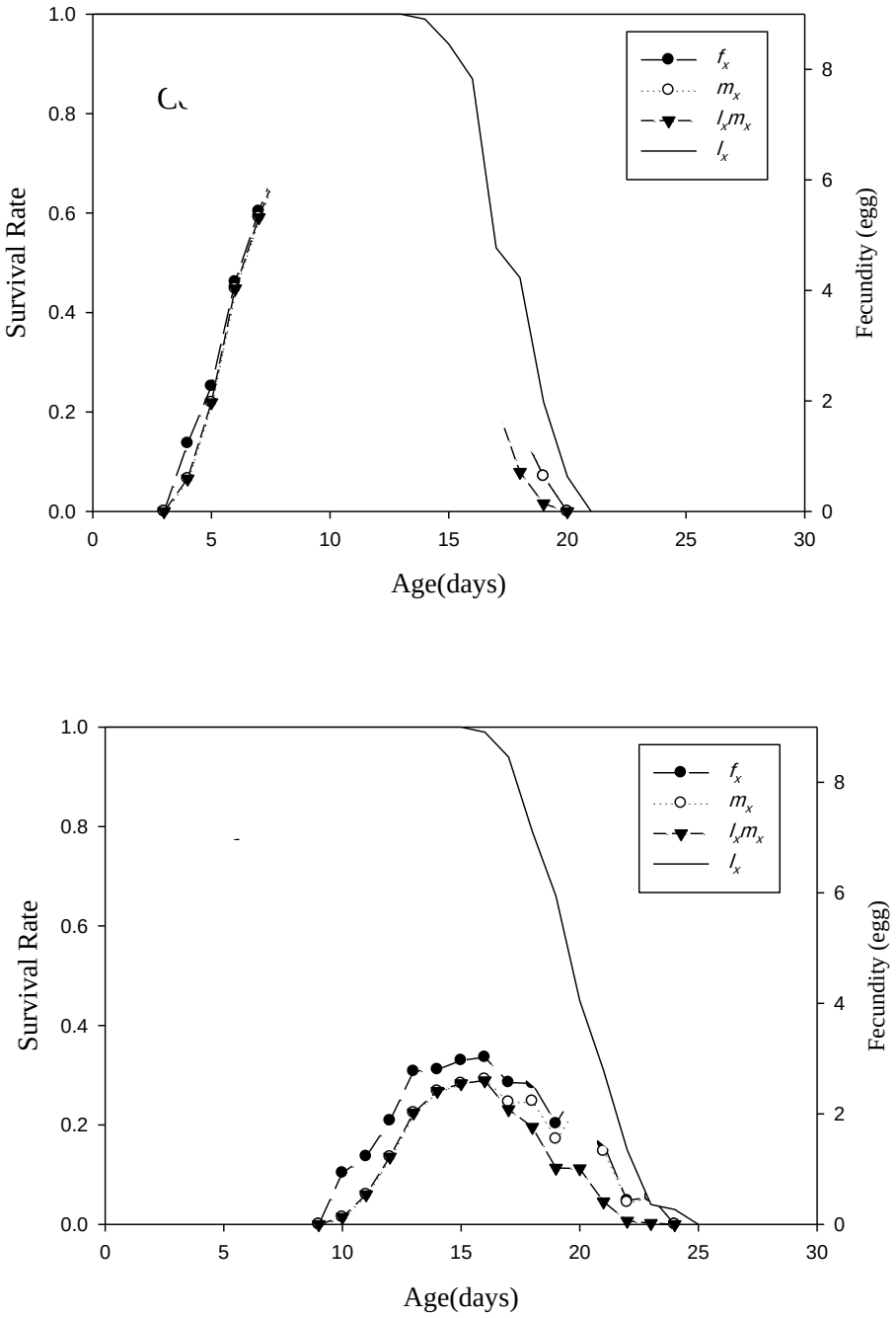
شکل ۲. ارزش تولیدمثلی سنی مرحله‌ای شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه باقلا شاهد و گیاه باقلا تیمارشده با قارچ *Trichoderma harzianum* .TR6

Figure 2. Age-stage reproductive value (v_{xj}) of *Aphis fabae* reared on treated and untreated bean plant by *Trichoderma harzianum* TR6.



شکل ۳. نرخ زنده‌مانی ویژه سنی- مرحله‌ای شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه باقلا شاهد و گیاه باقلا تیمارشده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6.

Figure 3. Age-stage survival rate (S_{xj}) of *Aphis fabae* reared on treated and untreated bean plant by *Trichoderma harzianum* maternity (l_{xmx}) of *Aphis fabae* reared on treated and untreated bean plant by *Trichoderma harzianum*.



شکل ۴. نرخ زنده‌مانی ویزه سنی *lx* و باروری ویژه سنی- مرحله‌ای f_x زادآوری ویژه سنی *mx* و باروری ویژه سنی *lxmx* شته‌های تغذیه کرده روی گیاه باقلا شاهد وگیاه باقلا تیمارشده با قارچ *Trichoderma harzianum* TR6.

Figure 4. Age-specific survival rate of total cohort (*lx*), female age-stage-specific fecundity (f_{xj}), age-specific fecundity of the total population (*mx*) and age-specific.

نرخ زنده‌مانی ویژه سنی- مرحله‌ای

زنده‌مانی ویژه سنی- مرحله‌ای S_{xj} یعنی احتمال اینکه یک تخم گذاشته شده تا سن x و در مرحله j زنده بماند. این فراسنجه برای شته سیاه باقلا در تغذیه از گیاه باقلا با تیمارهای مختلف در شکل‌های ۳ نشان داده شده است. منحنی‌های نرخ زنده‌مانی نشان داد که شته‌های پرورش یافته روی گیاه باقلا تیمار شده با قارچ زنده‌مانی کم‌تری دارد. این اختلاف ناشی از دوره زندگی کوتاه حشرات کامل و درصد مرگ و میر بیش‌تر مراحل پیش از بلوغ است. نرخ زنده‌مانی ویزه سنی l_x و باروری ویژه سنی- مرحله‌ای f_x زادآوری ویژه سنی m_x و باروری ویژه سنی l_xm_x شته‌های تغذیه کرده از تیمارهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، نرخ کاهش نرخ بقا سریع‌تر از تیمار شاهد بود. هم‌چنین با توجه به منحنی زادآوری شته سیاه باقلا مشخص می‌شود که بیش‌ترین میزان پوره‌زایی در تیمار شاهد اتفاق افتاده است.

آفاتی چون شته‌ها به علت رشد سریع جمعیت همواره در برابر سموم آفت‌کش مقاوم می‌شوند و کنترل آن‌ها در گیاهان زراعی با مشکلاتی همراه است، بنابراین جایگزینی یک روش امن می‌تواند هم جمعیت این آفات را کنترل کند و هم از آسیب‌های زیست محیطی سموم شیمیایی بکاهد. در سال‌های اخیر میکروارگانیسم-های خاک‌زی به عنوان عوامل مهم القای مقاومت علیه شته‌ها گزارش شده‌اند، اما در رابطه با اثر قارچ تریکودرما بر شته‌ها به ویژه شته سیاه باقلا پژوهشی صورت نگرفته است. تحقیقات در رابطه با تاثیر میکروارگانیسم‌های خاکزی به طور عمده باکتری‌ها، نشان داده است که این عوامل نه تنها منجر به القای مقاومت گیاهان در برابر بیماری‌ها می‌شوند، بلکه اثرات محافظتی از گیاهان در برابر حشرات گیاه‌خوار دارند. به طورکلی مقاومت القایی با هر نوع منشا، کیفیت گیاهان را تغییر می‌دهد و به طور غیرمستقیم برهمکنش گیاه را با موجودات زنده‌ای را که با گیاهان در ارتباط هستند، مانند آفات و دشمنان طبیعی را تغییر می‌دهد (De Vos *et al*. 2005). این مکانیسم می‌تواند باعث تغییر ترجیح، عملکرد و موفقیت تولیدمثلی حشرات گیاه‌خوار باشد. شواهدی وجود دارد که بیان می‌کند اغلب مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در دفاع گیاه در اثر وجود میکروارگانیسم‌های خاکزی فعال می‌شود و این امر می‌تواند اثر منفی روی گیاه‌خوار داشته باشد (Kessler & Baldwin 2002). شناخت مقاومت القایی در گیاهان که به نوعی استفاده از خود قابلیت‌های طبیعی محیط زیست است، نقش مهمی را در مدیریت انبوهی آفات خواهد داشت. در این میان شناخت میکروارگانیسم‌هایی که مقاومت القایی را ایجاد می‌کنند حائز اهمیت است. چنان‌چه نتایج بررسی‌ها نشان داد، گیاهان خیاری که با باکتری خاکزاد *P. fluorescens* تیمار شده بودند به طور معنی‌داری سبب افزایش طول دوره پوره‌گی و کاهش پوره-زایی شته *A. gossypii* شدند (Fahimi *et al*. 2014). در تحقیق حاضر نیز افزایش طول دوره رشدی شته سیاه باقلا در نتیجه پرورش این حشرات روی گیاه باقلا تیمار شده با قارچ تریکودرما مشاهده شد. محققین در سال ۲۰۰۷ اثر باکتری *P. gladioli* Yabuuchi *et al*. 1993 (Zopf 1885) را روی شته فیلوکسرای مو *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) بررسی کردند، نتایج نشان داد درخت مو تیمار شده با این باکتری باعث کاهش انبوهی جمعیت شته فیلوکسرای مو شد (Adams *et al*. 2007). افزایش طول دوره نشو و نما و کاهش پوره‌زایی در شته از عوامل مهمی است که نشان می‌دهد، گیاهان تیمار شده با میکروارگانیسم‌های خاکزاد منبع غذایی مناسبی برای آفت نیستند.

قارچ *T. harzianum* نیز مانند باکتری‌های خاکزاد، در جذب ریزمغزی‌های خاک به گیاه کمک می‌کنند (Shoresh *et al*. 2010; Harman *et al*. 2004). علاوه بر این ثابت شده است میکروارگانیسم‌های خاکزاد با تغییر در متابولیت‌های ثانویه و تقویت گیاه از نظر فیزیولوژیکی، منجر به مقاوت گیاه در برابر گیاه‌خواران و عوامل بیماری‌زا می‌شود (Pineda *et al*. 2010). در این پژوهش از نرخ ذاتی افزایش رشد به عنوان مهم‌ترین عامل در مقایسه تیمار قارچ تریکودرما با شاهد استفاده شد، زیرا تمام اطلاعات مربوط به بقا، سن و تولید مثل در این پارامتر شرح داده شده است. بنابراین نرخ ذاتی افزایش رشد تا حدودی می‌تواند تاثیرگذاری قارچ تریکودرما را بر کاهش جمعیت شته سیاه باقلا

نشان دهد. مولفه‌های مهمی چون زنده‌مانی مراحل مختلف زیستی، طول دوره نشو و نمو و میزان تولید مثل، بر نرخ ذاتی افزایش رشد جمعیت تاثیر گذارهستند. تغذیه مناسب گیاه با استفاده از کودهای زیستی می‌تواند به عنوان یک وسیله دفاعی در مقابل حشرات گیاه‌خوار عمل کند و باعث کاهش باروری شته‌ها یا افزایش طول مدت نشو و نمای آن‌ها شود (Legrand & Barbosa 2000). نیتروژن از مهم‌ترین منابع تغذیه‌ای برای شته‌ها محسوب می‌شود. وجود مقادیر فراوان نیتروژن موجب تولید اسیدهای آمینه مورد نیاز شته‌ها می‌شود و افزایش باروری شته‌ها در گرو دریافت مقادیر بیشتر نیتروژن است (Alasvand Zarasvand *et al*. 2010). در بسیاری از منابع ذکر شده است که که تریکودرما موجب آزاد سازی آهسته و کاهش سطح نیتروژن در گیاه می‌شود (Battaglia *et al*. 2013). در نتیجه آزاد سازی تدریجی نیتروژن تجمع این عنصر در بدن شته با کندی صورت می‌گیرد که در نتیجه حشره را در رابطه با تولید نسل با مشکل مواجه می‌کند (Gu *et al*. 2013). مهمترین عاملی که در مورد کنترل جمعیت شته‌ها حائز اهمیت است، کاهش نرخ تولید مثل است. نرخ بالای تولید مثل جمعیت شته، منجر به مقابله با مکانیسم‌های گیاهی و خسارت بیشتر بر گیاهان می‌شود (Medeiros *et al*. 2000). در نتیجه کاهش نرخ تولید مثلی منجر به کاهش جمعیت و مقاومت شته سیاه باقلا خواهد شد. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان داد که دامنه فراسنجه‌های به دست آمده از این تحقیق با پژوهش‌های مشابه در رابطه با کاربرد کودهای زیستی مانند ورمی کمپوست تطابق دارد. اگرچه ماهیت و عملکرد تریکودرما با ورمی کمپوست متفاوت است (Omrani-Dizaji 2012).

در این بررسی نرخ زنده‌مانی و امید به زندگی کمتری برای پوره‌ها و حشرات کامل شته سیاه باقلا پرورش یافته روی گیاه تیمار شده با قارچ تریکودرما حاصل شد. گیاهان تیمار شده با قارچ تریکودرما در پاسخ به تغذیه شته‌ها، موادی بر پایه فنول‌ها را تولید می‌کنند که منجر به کاهش بقا و تولید مثل این آفات می‌شوند (Coppola *et al*. 2017). قارچ تریکودرما به طور غیرمستقیم با توسعه رشد ریشه، افزایش سطح فتوسنتز باعث بهبود رشد گیاهان می‌شود (Shoresh *et al*. 2010). علاوه بر این ثابت شده است تغییر در متابولیت‌های ثانویه و تقویت گیاه از نظر فیزیولوژیکی، منجر به مقاوت گیاه در برابر گیاه‌خواران و عوامل بیماری‌زا می‌شود (Pineda *et al*. 2010). تغییر در کیفیت گیاهان تحت تیمار تریکودرما به طور غیرمستقیم، بر موجودات زنده‌ای که با گیاهان در ارتباط هستند، مانند آفات و دشمنان طبیعی اثر گذار است (De Vos *et al*. 2005). تریکودرما منجر به افزایش سنتز جاسموئیک اسید، سالسیلیک اسید، هورمون بتاآمینو بوتیریک اسید و متیل سالسیلیک در سطح گیاه می‌شود (Fiorentino *et al*. 2018) منابع زیادی نشان است، افزایش این مواد بیوشیمایی در گیاهان می‌تواند باعث تغییر ترجیح، عملکرد و موفقیت تولیدمثلی حشرات گیاه‌خوار باشد (Lotfi *et al*. 2014). چنانچه در این تحقیق نیز نشان داده شد که فراسنجه‌های زیستی و تولید مثلی شته‌ها تحت تاثیر گیاهان تیمار شده با قارچ تریکودرما قرار گرفتند. مقادیر مربوط به فراسنجه‌های زیستی مانند طول دوره نشو و نمای مراحل مختلف زندگی شته سیاه باقلا در نتیجه تغذیه از گیاه باقلا ی تیمار شده با قارچ تریکودرما در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری داشت. همچنین فراسنجه‌های تولید مثلی مربوط به تیمار قارچی در مقایسه با شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد. شواهدی وجود دارد که بیان می‌کند اغلب مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در دفاع گیاه با وجود قارچ تریکودرما فعال می‌شود، به عنوان مثال تیمار گیاه گوجه فرنگی با قارچ تریکودرما با تحریک گیاه به تولید جاسموئیک اسید منجر به فعال شدن سیستم اصلی مقاومت القایی (Systemic Acquired Resistance) در گیاهان می‌شود، فعال شدن این سیستم نیاز به تجمع مولکول‌های جاسموئیک اسید دارد که در دفاع غیرمستقیم گیاه علیه آفات نقش موثری دارند و این امر می‌تواند اثر منفی روی گیاه‌خوار داشته باشد (Kessler & Baldwin 2002). چنانچه در تحقیقی با محلولپاشی جاسموئیک اسید باعث مقاومت گیاه کلزا علیه شته مومی کلم شدند (Gomes *et al*. 2005) همچنین محلولپاشی گیاه گندم با هورمون بتاآمینو بوتیریک اسید می‌تواند مقاومت به آفت *Sitobion avanea* F. را در گیاه گندم القا کند (Cao *et al*. 2014). در حالی‌که تریکودرما عمل سنتز جاسموئیک اسید و هورمون بتاآمینو بوتیریک اسید را در گیاه تسهیل می‌کند. منابع بسیاری اثبات کرده‌اند که سالسیلیک اسید که در اثر القا میکروارگانیسم‌های خاکزی در گیاه تولید می‌شود از گیاه در برابر آفات و بیماری‌های گیاهی محافظت می‌کند (Mahmoud 2013).

در پژوهشی که در سال‌های اخیر انجام شده، اثر هورمون بتاآمینو بوتیریک اسید را روی شته سبز بررسی کردند، تیمار این

هورمون همراه با آبیاری خاک در گیاه گندم سبب کاهش فراسنجه‌های رشدی و تولید مثلی شته سبز گردید (Akladious 2012). کاهش فراسنجه‌های زیستی شته سیاه باقلا در تحقیق حاضر، منطبق بر نتایج اثر هورمون بتاآمینو بوتیریک اسید بر شته سبز است. این نتایج نشان می‌دهد قارچ تریکودرما مولفه‌های مقاومت در گیاه باقلا که شامل مسیرهای بیوشیمیایی است را فعال کرده است. تحقیقات مرتبط با کنترل جمعیت شته‌ها به نوعی به تاثرات مثبت آنزیم کیتیناز و هورمون‌های مترشحه گیاهی نظیر آنچه پیشتر اشاره شد، پرداخته است. در پژوهش‌های پیشین اثرات مثبت کیتیناز و هورمون‌های گیاهی در کنترل شته سبز هلو و شته سبز گندم اثبات شده است و در مسیر کنترل شته‌ها به دنبال یافتن منابعی بودند تا ترشح این مواد را در گیاه تحریک کند (Gomes *et al*. 2005). در رابطه با جدایه *T. harzianum* TR6. که از ریزوسفر خیار جدا شد پژوهش‌های تکمیلی بیوشیمیایی و مولکولی انجام شده است، بررسی بیان ژن با روش Real time QPCR نشان داد که ژن‌های دفاعی بتا-۱ و۳-گلوکاناز، کیتیناز و فنیل آلانین آمونیالیاز در تیمار تلقیح شده با تریکودرما جدایه TR6 به حالت آماده باش در آمدند. افزایش بیان این عوامل باعث القای مقاومت وابسطه به سالیسیلیک اسید و اسمونیک اسید می شود (Alizadeh *et al*. 2013). افزایش سالسیلیک اسید در بافت گیاهی باعث کاندید شدن قارچ جدایه *T. harzianum* TR6 برای آزمایشات القای مقاومت گیاهان علیه آفات شد. با توجه به فراسنجه‌های به دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که گیاه باقلای تیمار شده با قارچ گزینه خوبی برای کاهش جمعیت شته سیاه باقلا می‌تواند باشد. به طور کلی استفاده از میکروارگانیسم‌های محرک دفاع القایی گیاه در برابر حشرات و بیمارگرها به عنوان یک راهبرد مطلوب در حفاظت گیاهان محسوب می‌شود زیرا هیچ گونه اثر منفی بر محیط زیست و سلامت انسان ندارد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن تلفیق مقاومت القایی با سایر روش‌های حفاظت گیاهان است. با توجه به این‌که شته سیاه باقلا از آفات مهم کشت‌های باقلا و چقندر قند است و کنترل جمعیت آن به دشواری و همران با مقاومت جمعیت است، رواج مقاومت القایی و برهم‌کنش‌های غیرمستقیم در گیاه نشان از اهمیت تحقیق در این زمینه دارد، تحقیقات بیش‌تر در زمینه تحقیقات مولکولی و بیوشیمیایی می‌تواند جنبه-های جدیدی از مقاومت القایی را روشن سازد. امید می‌رود نتایج این بررسی در گسترش روش‌های پایدار و بدون زیان برای محیط زیست و انسان برای مدیریت آفات نقش داشته باشد.

References

Adams P, De-Leij FAAM, Lynch JM, 2007. *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22 mediates growth promotion of crack willow (*Salix fragilis*) saplings in both clean and metal-contaminated soil. *Microbiol Ecology* 54 (2): 306–313.

Alasvand Zarasvand A, Allahyari H, Afyoni Mobarake D, Sabori AR, Zarghami S, *et al.*, 2010. The effect of nitrogen fertilization on biology and intrinsic rate of increase of *Schizaphis graminum* R. (Hom.: Aphididae). *Plant Protection* 32 (2): 67–74 (In Persian with English abstract).

Alizadeh H, Behboudi B, Ahmadzadeh M, Javan-Nikkhah M, Zamioudis Ch, *et al.*, 2013. Induced systemic resistance in cucumber and *Arabidopsis thaliana* by the combination of *Trichoderma harzianum* Tr6 and *Pseudomonas* sp. Ps14. *Biological Control* 65: 14–23.

Akladious S, 2012. Influence of different soaking times with selenium on growth, metabolic activities of wheat seedlings under low temperature stress. *African Journal of Biotechnology* 11 (82): 14792–14804.

Amir-Maafi M, Chi H, 2006. Demography of *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) on two pyralid hosts (Lepidoptera: Pyralidae). *Annals of the Entomological Society of America* 99 (1): 84–90.

Battaglia D, Bossi S, Cascone P, Digilio MC, Prieto JD, *et al.*, 2013. Tomato below ground-above ground interactions: *Trichoderma longibrachiatum* affects the performance of *Macrosiphum euphorbiae* and its natural antagonists. *Molecular Plant–Microbe Interactions* 26: 1249–1256.

Biswas C, Dey P, Satpathy S, Satya P, Mahapatra B, 2013. Endophytic colonization of white jute (*Corchorus capsularis*) plants by different *Beauveria bassiana* strains for managing stem weevil (*Apion corchori*). *Phytoparasitica* 41: 17–21.

Boughton AJ, Hoover K, Felton GW, 2017. Impact of chemical elicitor applications on greenhouse tomato plants and population growth of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomology Experimental Applied* 120 (3): 175–188.

Cao H, Zhang H, Zhao Y, Zhang X, Wang X, *et al.*, 2014. Descephering the mechanism of B-aminobytyric acid induced resistance in waet to the grain aphid sitobion avenae. *PloS one*. 9: e91768.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of Institute of Zoology* 24: 225–240.

Coppola M, Cascone P, Chiusono ML, Colantuono Ch, Lorito M, *et al.*, 2017. *Trichoderma harzianum* enhance tomato indirect defense against aphids. *Insect science* 24 (6):1025–1033.

De Vos M, Van Oosten VR, Van Poecke RMP, Van Pelt JA, Pozo MJ, *et al.*, 2005. Signal signature and transcriptome changes of Arabidopsis during pathogen and insect attack. *Molecular Plant Microbe Interact* 18: 923–937.

Fahimi A, Ashouria A, Ahmadzadeha M, Naveha VH, Asgharzadehb A, *et al.*, 2014. Effect of PGPR on population growth parameters of cotton aphid. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 47(11): 1274–1285.

Felton GW, Bi LJ, Summers CB, Mueller AJ, Duffey SS, 1994. Potential role of lipoxygenases in defense against insect herbivory. *Journal of Chemistry Ecology* 20: 651–666.

Fiorentino N, Ventorino V, Woo SL, Pepe O, De Rosa A, *et al.*, 2018. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield, and nutritional quality of leafy vegetables. *Front Plant Science* 9: 1–15.

Friedl MA, Druzhinina IS, 2012. Taxon-specific metagenomics of *Trichoderma* reveals a narrow community of opportunistic species that regulate each other's development. *Microbiology* 158 (1): 69–83.

Greenfield M, Gómez-Jiménez M, Ortiz V, Vega E, Kramer M, *et al.*, 2016. *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* endophytically colonize cassava roots following soil drench inoculation. *Biological Control* 95: 40–48.

Gomes FB. Moraes C, Santos C, Goussain M, 2005. Resistance induction in wheat plants by silican and aphids. *Science Agriculture.* 2: 651–666.

Goszczyński W, Cichocka E, Leszczyński B, 2002. Beet root damage due to the black bean aphid (*Aphis fabae* Scopli) infestation. *Horticulture* 5 (2): 51–57.

Gu S-H, Wu K-M, Guo Y-Y, 2013. Identification and expression profiling of odorant binding proteins and chemosensory proteins between two wingless morphs and a winged morph of the cotton aphid *Aphis gossypii* Glover. *PLoS one* 8: e73524.

Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M, 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews* 2: 43–56.

Hasanshahi Gh, Abbasipour H, Jahan F, Askarianzadeh A, Karimi J, *et al.*, 2016. Fumigant toxicity and nymph production deterrence effect of three essential oils against two aphid species in the laboratory condition. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 19 (3): 706 – 711.

Hatef H, Zehtab Salmasi S, Arzanlou M, 2020. Effect of some *Trichoderma* and mycorrhizal fungai species on growth properties and grain yield of dill (*Anethum graveolens* L.) under greenhouse conditions. *Agricutural Science and Sustainable Production* 30 (1): 191–209.

Jaber R, Araj E, 2017. Interactions among endophytic fungal entomopathogens the green peach aphid *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae), and the aphid endoparasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Control* 116: 53–61.

Kasaei Faradonbeh S, Hassanpou M, Razmjou J, Golizadeh A, Esmaeilpou B, 2015. Biological and population growth parameters of the melon aphid, *Aphis gossypii* Glover on cucumber plants grown at different vermicompost: soil ratios. *Plant Pests Research* 4 (4): 35–48 (In Persian with English abstract).

Khanjani M, 2004. Field Crop Pest in Iran. Bu-Ali Sina University Publication (In Persian with English Abstract).

Khoshmanzar E, Aliasgharzad N, Arzanlou M, Neyshabouri MR, khoshrou B, 2019. The effect of *Trichoderma* isolates on tomato growth and nutrients uptake under water deficit stress. *Agricutural Science and Sustainable Production*. 29 (2): 107–120 (In Persian with English abstract).

Kempster VN, Scott ES, Davies KA, 2002. Evidence for systemic, cross-resistance in white clover (*Trifolium repens*) and annual medic (*Medicago truncatula*) induced by biological and chemical agents. *Biocontrol Science of Technology* 12 (5): 615–623.

Kessler A, Baldwin IT, 2002. Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Annual Review of Plant Biology* 53: 299–328.

Legrand A, Barbosa P. 2000, Pea aphid (Hom: Aphididae) fecundity, rate of increase and within plant distribution unaffected by plant morphology. *Environmental Entomology* 29: 978–993.

Lopez C, Sword A, 2015. The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). *Biological Control* 89, 53–60.

Lotfi R, Dolati L, Shekari F, 2014. Effect of SA on rapeseed resistance induction against cabbage aphid in greenhouse. *II^{the} Conference on Climate Change and Its Effect on Agriculture and Environmental*, Urmia, Iran. P. 366.

Mahato S, Bhuju S, Shrestha J, 2018. Effect of *Trichoderma* viride as biofertilizer on growth and yield of wheat. *Malaysian Journal of Sustain Agriculture* 2 (2): 1–5.

Mahmoud Mf, 2013. Induced plant resistance as a pest management tactic on piercing sucking insects of sesame crop. *Arthropods* 2:137–149.

Medeiros RS, Ramalho FS, Lemos WP, Zanuncio JC, 2000. Age-dependent fecundity and life fertility tables for *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Het., Pentatomidae). *Journal of Applied Entomology* 124: 319–324.

Mojahed S, Razmjou J, Golizadeh A, Naseri B, 2013. Resistance of wheat cultivars and lines to *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) under laboratory conditions. *Applied Entomology Zoology* 48 (1): 39–45.

Murphy JF, Zehnder GW, Schuster DJ, Sikora EJ, Polston E, *et al.*, 2000. Plant growth-promoting rhizobacterial mediated protection in tomato against Tomato mottle virus. *Plant Diseases* 84 (7): 779–784.

Narmani A, Arzanlou M, Babei Ahari A, 2017. Antagonistic effect of endophytic and commercial *Trichoderma* isolateson *Phaeoacremonium minimum*, the causal agent of leaf stripe disease of grapevine. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 7 (1): 151–169 (In Persian with English abstract).

Narmani A, Arzanlou M, Babai-Ahari A, Mastari–Farahani H, 2019. Biological control of wheat fusarium head blight using antagonistic strains of commercial and local *Trichoderma*, isolated from wheat plant rhizosphere. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 8 (2): 1–20 (In Persian with English abstract).

Omrani -Dizaji, A. 2012. The effect of vermicompost in tritrophic interactions of faba been, the black been aphid, *Aphis fabae* Scopoli and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* (Stephens). MSc. thesis, University of Mohaghegh Ardabili (In Persian with English abstract).

Pineda A, Zheng SJ, Van Loon JJA, Pieterse CMJ, Dicke M. 2010. Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends in Plant Science* 15: 507–514.

Qayyum A, Wakil W, Arif J, Sahi T, Dunlap A, 2015. Infection of *Helicoverpa armigera* by endophytic *Beauveria bassiana* colonizing tomato plants. *Biological Control* 90: 200–207.

Razmjou J, Vorburger C, Mohammadi M, Hassanpour M, 2012. Influence of vermicompost and cucumber cultivar on population growth of *Aphis gossypii* Glover. *Journal of Applied Entomology* 136 (8): 561–640.

Russo L, Pelizza S, Cabello N, Stenglein A, Scorsetti C, 2015. Endophytic colonisation of tobacco, corn, wheat and soybeans by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota, Hypocreales). *Biocontrol Science Technology* 25: 475–480.

Salimi F, Alizadeh A, Mirzadi Gohari A, Javan-Nikkhah M, 2019. Endophytic fungus, *Radulidium subulatum* from *Phragmites australis* in Iran. *Mycologia Iranica* 6 (1): 41–47.

Sarfraz M, Dosdall LM, Keddie BA, 2007. Resistance of some cultivated Brassicaceae to infestations by *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology* 100: 215–224.

Shoresh M, Harman GE, Mastouri F, 2010. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology* 48: 21–43.

Southwood TRE, Henderson PA. 2000. Ecological Methods, Third edition, Blackwell Science. *Oxford* 561.pp.

Stout MJ, Thaler JS, Thomma BP, 2006. Plant mediated interactions between pathogenic microorganisms and herbivorous arthropods. *Annual Review of Entomology* 51: 663– 689.

Tang J, Liu L, Huang X, Li Y, Chen Y, *et al.*, 2020. Proteomic analysis of *Trichoderma* atroviride mycelia stressed by organophosphate pesticide dichlorvos. *Canadian Journal of Microbiology* 56 (2): 121–127.

This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)