Iranian Journal of Plant Protection Science
Vol 50, No 2, Autumn & Winter 2019-2020 (289-300)
DOI: 10.22059/ijpps.2020.285107.1006898

دانش گیاهپزشکی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۸ (ص ۳۰۰-۲۸۹)

بر هم‌کنش تغذیه‌ای بین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز و فلفل *Capsicum annum* L. و اثرات آن بر پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer)، در شرایط گلخانه

مصطفی حسنوند[۱]، جهانشیر شاکرمی[۲*] و مژگان مردانی طلایی[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دکتری حشره‌شناسی، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/٤/۲٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۵)

چکیده

شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* (Sulzer)، حشره‌ای چندخوار می‌باشد که در شرایط گلخانه و مزرعه به تعداد زیادی از گیاهان خسارت می‌زند. در این تحقیق، تأثیر پنج تیمار قارچ- ریشه آرباسکولار (AMF) شامل *Glomus caledonium*، *G. etanicatum*، *G. geosporum*، *G. intradicese* و *G. mosseae* به همراه شاهد بر میزان فنل کل گیاه فلفل‌دلمه‌ای و همچنین تأثیر آن‌ها بر پارامترهای زیستی شتهٔ *M. persicae* بررسی شد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان فنل کل در گیاه آلوده به شته در تیمارهای *G. mosseae* و *G. intradicese* (به‌ترتیب ٦٨٦/١ و ٦٦٤/٣ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد (٤١٠/٨ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد. کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین طول عمر شتهٔ سبز هلو به‌ترتیب در تیمار *G. mosseae* (١٦/٠٠ روز) و شاهد (٢٢/٣٥ روز) مشاهده شد. مقدار نرخ خالص تولید مثل (R_0) از ٣٧/٥٤ تا ٥٣/٣٤ ماده به ازای هر فرد متغیر بود که کم‌ترین و بیشترین مقدار آن به‌ترتیب در تیمارهای *G. mosseae* و شاهد به دست آمد. همچنین، کم‌ترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) شتهٔ سبز هلو در تیمار *G. mosseae* (به‌ترتیب ٠/٢٨٦٧ و ١/٣٣٢٠ بر روز) ثبت شد. نتایج این بررسی نشان داد که تیمار *G. mosseae* رشد جمعیت شتهٔ *M. persicae* را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. بنابراین، این تیمار می‌تواند در گیاه فلفل‌دلمه‌ای مقاومت القایی را نسبت به این شته ایجاد کند که می‌تواند در برنامهٔ IPM این آفت مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: برهم‌کنش گیاه- شته، جدول زندگی، قارچ- ریشه آرباسکولار (AMF)، مقاومت القایی.

Nutrition interaction between different mycorrhizal species and bell pepper, *Capsicum annum* L., and its effects on biological parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), under greenhouse conditions

Mostafa Hassanvand[1], Jahanshir Shakarami[2*] and Mozhgan Mardani-Talaee[3]
1, 2, 3. M. Sc. Student, Associate Professor and Former Ph.D. Student of Entomology, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(Received: Jul. 19, 2019 - Accepted: Jan. 25, 2020)

ABSTRACT

The green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), is a polyphagous insect that can cause damage on a lot of crops in the field and greenhouse conditions. In this research, the effect of five treatments of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) including *Glomus caledonium*, *G. etanicatum*, *G. geosporum*, *G. intradicese* and *G. mosseae* together with control treatment on total amount of phenol content in bell pepper and also their impact on biological parameters of *M. persicae* were investigated. Based on the results, the highest amount of the total phenolic compound in the plant infested with aphid was observed on *G. mosseae* and *G. intradicese* (686.1 and 664.3 mg/mL, respectively) and the lowest amount was on control (410.8 mg/mL). The shortest and longest adult longevity of the green peach aphid were observed on *G. mosseae* (16.00 days) and control (22.35 days), respectively. The net reproductive rate (R_0) varied from 37.54 to 53.34 offspring/individual, with the lowest and highest values obtained on *G. mosseae* and control, respectively. Also, the lowest intrinsic rate of increase (r) and finite rate of increase (λ) of the aphid were recorded on *G. mosseae* treatment (0.2867 and 1.3320 day^{-1}, resp.) compared to other treatments. The results of this study showed that *G. mosseae* treatment significantly reduced the population growth of *M. persicae*. Therefore, *G. mosseae* can be used to produce induced resistance in bell pepper to this aphid, which can be useful in the IPM program of this pest.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), induced resistance, life table, plant-aphid interactions.

* Corresponding author E-mail: shakarami.j@lu.ac.ir

مقدمه

فلفل‌دلمه‌ای، *Capsicum annum* L.، گیاهی یک ساله و متعلق به تیرهٔ بادمجانیان است که خواص دارویی بسیار ارزشمندی داشته و در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله بیماری‌های قلبی، فشار خون بالا، چاقی، دیابت و افزایش اشتها کاربرد دارد (Sanatombi & Sharma, 2007). فلفل‌دلمه‌ای نیز مانند سایر محصولات کشاورزی، در معرض حملهٔ آفات و بیماری‌های مختلفی قرار دارد که موجب کاهش کیفیت و کمیت این محصول می‌شود. یکی از آفات عمدهٔ آن شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* Sulzer، می‌باشد. در اثر تغذیهٔ شته به دلیل پیچیدگی برگ‌ها، نکروزه‌شدن آن‌ها و کاهش رشد گیاهان میزبان، کیفیت محصول نیز کاهش می‌یابد (Capinera, 2001). این آفت علاوه بر خسارت مستقیم، توانایی بالایی نیز در انتقال بیماری‌های ویروسی بسیار خطرناک از جمله ویروس موزائیک خیار[1] (CMV)، ویروس خالدار[2] (Pep MoV) و ویروس وای سیب‌زمینی[3] (PVY) دارد و بدین ترتیب به روش غیر مستقیم نیز به محصول خسارت می‌زند (Frantz et al., 2004). در حال حاضر، روش متداول کنترل شتهٔ سبز هلو استفاده از حشره‌کش‌ها است، ولی سمپاشی‌های مکرر باعث بروز آلودگی‌های زیست محیطی، از بین رفتن دشمنان طبیعی و دیگر موجودات غیر هدف و همچنین ایجاد بیوتیپ (زیست‌جور) مقاوم به آفت‌کش‌ها می‌شود (Bolandandam et al., 2004). بنابراین، به منظور کاهش مصرف سموم، یافتن روش‌های جایگزین کنترل شیمیایی این آفت ضروری است. امروزه ایجاد مقاومت در گیاهان میزبان در مدیریت تلفیقی آفات یک مؤلفه مهم است که موجب کاهش مصرف حشره‌کش‌های شیمیایی می‌گردد (Herron et al., 2000).

مقاومت القایی عبارت است از تقویت سامانه‌های دفاعی گیاهان میزبان در برابر آفت مورد نظر، که در نتیجه واکنش گیاه به محرک‌های شیمیایی یا فیزیکی ایجاد می‌شود (Kogan & Paxton, 1983). این واکنش‌های القایی در کنترل یک آفت زمانی مفید خواهند بود که موجب افزایش حساسیت گیاهان نسبت به سایر حشرات گیاه‌خوار، عوامل بیمارگر و شرایط غیر زنده نشوند (Agrawal & Sherriffs, 2001). براساس نتایج مطالعات Harun & Chung (2017) مشخص شد که میکروارگانیسم‌های مفید خاک از قبیل قارچ- ریشه آرباسکولار[4] (AMF) و باکتری‌های محرک رشد گیاه[5] (PGPR) در شرایط مزرعه می‌توانند با تنظیم سیگنال‌های اتیلن و اسید سالیسیلیک منجر به بیان ژن، بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه، پروتئین‌های دفاعی گیاهان، ترکیبات فرار و افزایش رشد گیاه و همچنین تغییر مکانیسم‌های مولکولی گیاهان شده و موجبات افزایش مقاومت سیستمیک گیاهان در برابر حشرات برگ‌خوار و مکنده را فراهم آورند. قارچ- ریشه آرباسکولار (AMF) رایج‌ترین نوع هم‌زیستی میکوریزی است که بین ریشهٔ گیاه میزبان و قارچ‌های میکوریزی وجود دارد (Jeffries et al., 2003). در این هم‌زیستی، قارچ‌ها تغذیهٔ گیاه میزبان را بهبود می‌بخشند و در مقابل از کربوهیدرات‌های حاصل از فتوسنتز آن‌ها استفاده می‌کنند. این قارچ‌های هم‌زیست علاوه بر افزایش جذب عناصر غذایی با بهبود روابط آبی گیاه، سبب تولید هورمون‌های رشد گیاهی مانند اکسین و سیتوکینین نیز شده و مقاومت گیاهان به عوامل بیماری‌زا و حشرات آفت را افزایش می‌دهند (Peterson et al., 2004; Whipps, 2004). مطالعات متعددی در راستای ایجاد مقاومت در گیاهان نسبت به آفات مختلف انجام شده است. در مطالعهٔ Guerrieri et al. (2004) مشخص شد که تیمار گیاه گوجه‌فرنگی با قارچ *Glomus mosseae* (Nicolson & Gerd) به‌طور قابل توجهی سبب کاهش جمعیت شتهٔ سیب زمینی، *Macrosiphum euphorbiae* Thomas، می‌شود. همچنین، در مطالعات دیگری نشان داده شد که برهم‌کنش گیاه با قارچ‌های میکوریز علاوه بر افزایش عملکرد گیاه، سبب کاهش جمعیت حشرات با

1. Cucumber Mosaic Virus
2. Pepple Mottle Virus
3. Potato Virus Y
4. Arbuscular Mycorrhizal Fungi
5. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

قطعات دهانی جونده که از ریشهٔ گیاه تغذیه می‌کنند نیز می‌شوند (Gange, 2006). مطالعات انجام گرفته توسط Fontana et al. (2009) روی گیاه بارهنگ، *Plantago major* L.، نشان داد که قارچ میکوریز سبب افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند سسکوترپن‌ها شده و سبب کاهش معنی‌دار نرخ رشد جمعیت کرم برگ‌خوار پنبه، *Spodoptera littoralis* (Boisd.)، می‌شود. قارچ‌های هم‌زیست ریشه در گیاهان سبب تغییر در کیفیت گیاه (دفاعی یا مواد مغذی) شده که این تغییرات نشو و نما و تولید مثل حشرات گیاه‌خوار را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند (Hoffmann et al., 2011; Pozo et al., 2013; Bennett et al., 2016). بنابراین، با توجه به یافته‌های به نسبت محدودی که در زمینهٔ القای مقاومت به‌وسیلهٔ گونه‌های مختلف میکوریز وجود دارد، مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی امکان القای مقاومت توسط گونه‌های مختلف میکوریز نسبت به شتهٔ سبز هلو، *M. persicae*، روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای، *C. annum* و تأثیر میکوریزهای مختلف بر میزان فنل کل گیاه میزبان و پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو در شرایط گلخانه‌ای انجام شده است.

مواد و روش‌ها

پرورش گیاه میزبان

در این تحقیق، بذر گیاه فلفل‌دلمه‌ای رقم کالیفرنیاواندرز از شرکت کشت فلات تهیه شد. خاک مورد نیاز برای اجرای پژوهش از مزارع محوطهٔ دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان جمع‌آوری و با استفاده از دستگاه اتوکلاو (فشار ۱/۵ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجهٔ سلیسوس) سترون شد. پس از ضدعفونی، مقداری از خاک به‌صورت تصادفی به‌عنوان نمونه برای آزمایش تجزیهٔ خاک در نظر گرفته شد که حاوی ۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر، ۰/۱۶۰ درصد پتاسیم، ۱/۱۵ درصد کلسیم، ۰/۰۸۷ درصد نیتروژن، ۰/۰۱۸ درصد سدیم و ۰/۰۸۴ درصد منیزیم بود. اسیدیتهٔ آن برابر ۷/۵۵ و هدایت الکتریکی ویژه آن ۰/۸۹۱ دسی‌سیمینز بر متر (ds/m) بود. یک عدد بذر گیاه میزبان در داخل گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۰ و قطر دهانهٔ ۱۵ سانتی‌متر در مخلوطی از خاک زراعی معمولی و ماسه (به نسبت ۲ به ۱) در شرایط گلخانه با ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، دمای ۳±۲۷ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۵۵ درصد کاشته شد.

پرورش شتهٔ سبز هلو (*M. persicae*)

شتهٔ سبز هلو مورد نیاز از کلونی موجود در گروه گیاهپزشکی دانشگاه لرستان تهیه و روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای پرورش داده شد. تکثیر شته به مدت دو ماه در گلخانه مطابق شرایط فوق انجام گرفت.

آزمایش‌های گلخانه‌ای

این پژوهش در گلخانهٔ گروه گیاهپزشکی دانشگاه لرستان با پنج تیمار و یک شاهد (۵۰ تکرار به ازای هر تیمار) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل قارچ‌های *G. mosseae*، *G. intradicese*، *G. caledonium*، *G. geosporum*، *G. etanicatum* و شاهد بود. میکوریزهای مختلف از شرکت دانش‌بنیان زیست فناور توران تهیه شد. برای اجرای پژوهش، در وسط گلدان با ابعاد ذکر شده با ایجاد چاله‌ای مقدار ۵۰ گرم از هر میکوریز به ازای هر بذر به صورت جداگانه قرار گرفته و پس از ریختن نیم سانتی‌متر خاک روی میکوریز، یک عدد بذر در درون چاله کاشته شد. پس از رشد گیاه میزبان، در مرحله چهار تا شش برگی ۰/۵ گرم از کود سوپر میکرو کامل (شامل عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، کلسیم، مس، منگنز، منیزیم و بروملیبدن) را در ۴۵۰ میلی-لیتر آب حل کرده و با استفاده از سرنگ، به ازای هر بوتهٔ فلفل‌دلمه‌ای سه میلی‌لیتر از محلول به خاک اضافه شد. هنگامی‌که بوته‌های فلفل‌دلمه‌ای به مرحلهٔ ۸ تا ۱۰ برگی رسیدند، آزمایش‌های زیستی شتهٔ سبز هلو آغاز شد.

مطالعهٔ پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو (*M. persicae*)

در این آزمایش، تأثیر تیمارهای مختلف و شاهد روی پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو در شرایط گلخانه‌ای ذکر شده در مباحث پیشین مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این آزمایش، ۵۰ عدد شته مادهٔ بی‌بال به

ازای هر تیمار به‌طور تصادفی از کلنی پرورش انتخاب شده و به صورت جداگانه و با کمک قلم‌موی ظریف در سطح زیرین برگ‌هایی که درون قفس‌های برگی (پتری شش‌سانتی‌متری با دو سوراخ پوشانده شده با توری برای تهویه) قرار گرفته بودند، منتقل شدند. به شته‌ها ۲۴ ساعت فرصت داده شد تا پوره‌زایی کنند. سپس، شتهٔ ماده و تمامی پوره‌ها به جز یک پوره از روی درون دیسک‌های برگی حذف شده و زنده‌مانی پوره به‌همراه طول مراحل مختلف زیستی آن به‌طور روزانه ثبت شد. پس از ظهور شتهٔ بالغ، تولید مثل و مرگ و میر هر شتهٔ کامل بکرزا به طور روزانه ثبت شد. این کار تا زمان مرگ آخرین شتهٔ بالغ ادامه یافت.

مطالعهٔ پارامترهای رشد جمعیت شتهٔ سبز هلو (*M. persicae*)

به منظور تعیین پارامترهای رشد جمعیت پایدار شتهٔ سبز هلو از روش جدول زندگی دو جنسی (Chi, 2018) استفاده شد. جدول زندگی دو جنسی برای جنس ماده با درنظرگرفتن طول دوره‌های رشدی متغیر بین افراد مورد مطالعه و پارامترهای مختلف زیستی شامل نرخ بقای ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (S_{xj})؛ نرخ بقای ویژهٔ سنی (l_x)؛ باروری ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj})؛ باروری ویژهٔ سنی (m_x) و زادآوری ویژهٔ سنی ($l_x m_x$) محاسبه شد (Chi & Liu, 1985; Chi, 1988). سپس، داده‌های به دست‌آمده در تیمارهای مختلف مورد مطالعه با استفاده از روش جدول زندگی دو جنسی ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی و نرم‌افزار TWOSEX-MSChart تجزیه شد (Chi, 2018). جهت تکراردار کردن داده‌های پارامترهای رشد جمعیت از روش بوت‌استرپ با تکرار ۴۰۰۰۰ استفاده شد. معنی‌دار بودن اختلاف میان میانگین‌ها با استفاده از روش Paired Bootastrap در سطح احتمال پنج درصد مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار سیگماپلات نسخهٔ ۱۲/۵ استفاده شد.

اندازه‌گیری فنل کل

میزان ترکیبات فنلی موجود در عصارهٔ گیاه سالم در مرحلهٔ ۸ تا ۱۰ برگی و گیاه آلوده به شته پس از ۷۲ ساعت آلودگی براساس روش Slinkard & Singleton (1997) (با اندکی تغییر) و با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو اندازه‌گیری شد. بدین‌ترتیب که مقدار ۰/۱ میلی‌لیتر از عصارهٔ گیاهی سانتریفیوژ شده درون تیوب ریخته شده و ۱/۵ میلی‌لیتر فولین- سیوکالتیو ده برابر رقیق‌شده به عصارهٔ گیاه اضافه شد. سپس، ۱/۴ میلی‌لیتر کربنات سدیم به آن افزوده شد. در پایان، میزان جذب رنگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. این آزمایش‌ها در چهار تکرار انجام شد. سپس، به‌منظور رسم منحنی استاندارد و معادلهٔ رگرسیون، ترکیب فنلی اسید گالیک به‌عنوان معیار مقایسه‌ای مواد فنلی مورد استفاده قرار گرفت. محلول استاندارد در مقادیر صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۸۰و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شده و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر میزان جذب رنگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. بین مقدار اسید گالیک به‌عنوان استاندارد و جذب رنگ، ارتباط خطی وجود داشته و از معادلهٔ رگرسیون زیر استفاده شد:

$$Y= 0.0024\ X+0.0063$$

قبل از تجزیهٔ داده‌های میزان فنل کل، نرمال‌بودن آن‌ها با استفاده از آزمون کلموگوروف- اسمیرنوف (Kolmogorov- Smirnov) بررسی شد. نتایج حاصل با استفاده از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و نسخهٔ ۱۶ نرم‌افزار آماری MINITAB تجزیه شد. در صورت مشاهدهٔ اختلاف معنی‌دار میان واریانس تیمارها، گروه‌بندی میانگین با استفاده از آزمون توکی (HSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت. نمودارها با استفاده از برنامهٔ Excel ترسیم شد.

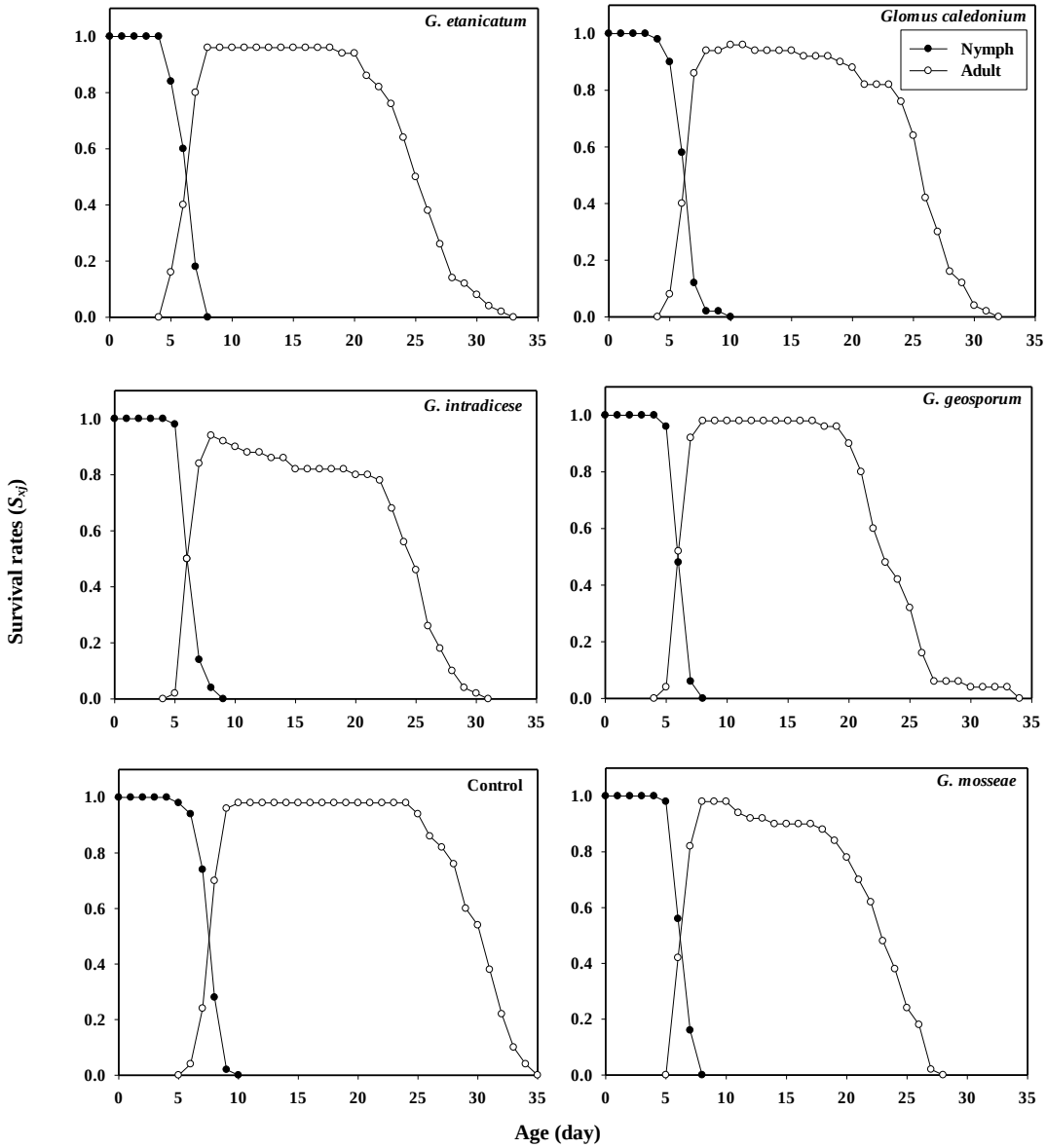
نتایج

تأثیر تیمارهای مختلف میکوریز روی نرخ بقای ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (S_{xj})، باروری ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj})، باروری ویژهٔ سنی (m_x) و زادآوری ویژهٔ سنی ($l_x m_x$) شتهٔ سبز هلو

نرخ بقای ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (S_{xj}) شتهٔ سبز هلو برای هر یک از تیمارهای مختلف میکوریز در شکل ۱

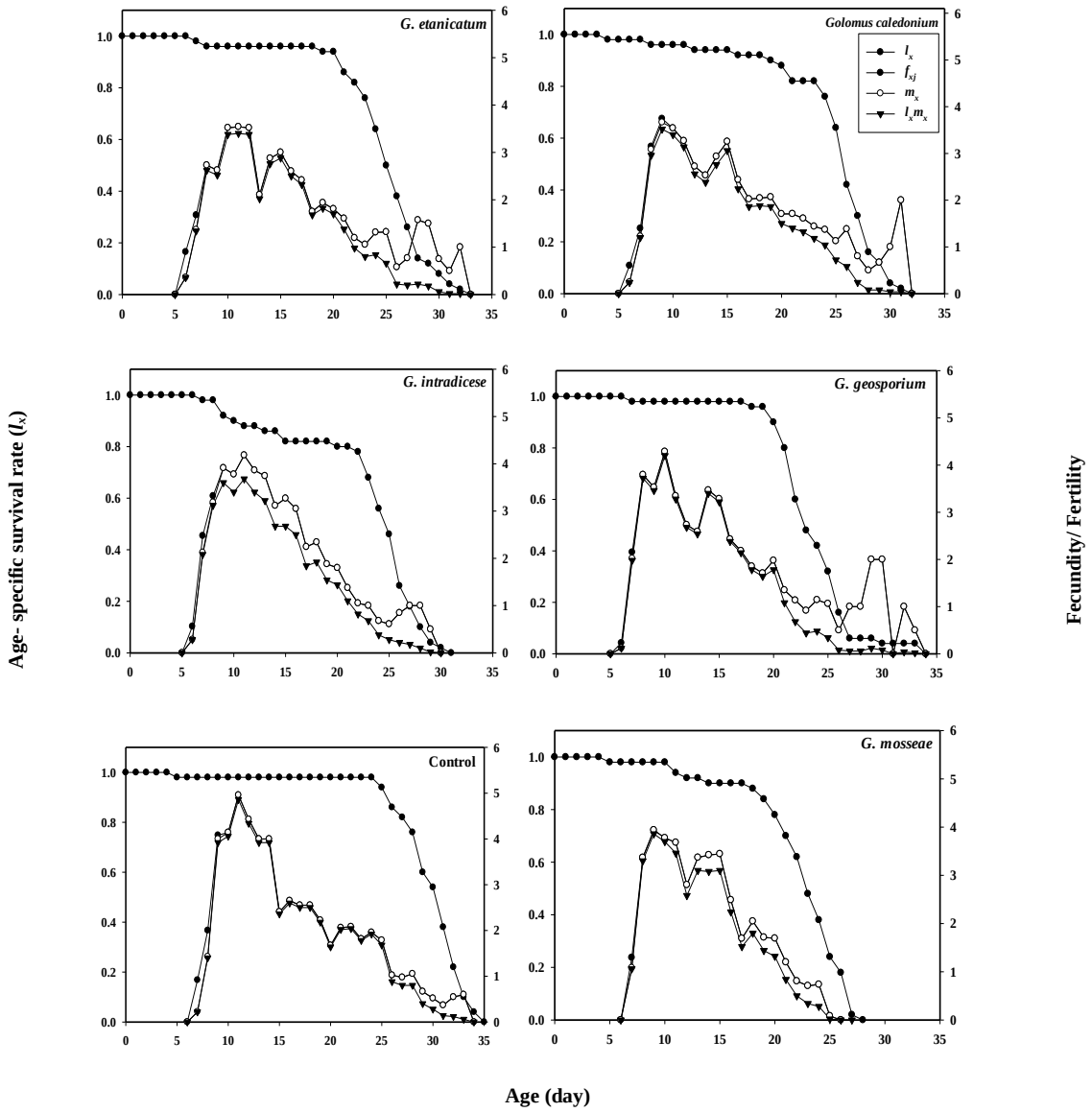
نشان داده شده است. بیشترین مقدار این پارامتر در افراد مادهٔ بالغ در تیمار شاهد، *G. geosporum* و *G. mosseae* (۰/۹۸ درصد) و کم‌ترین میزان آن در تیمار *G. intradicese* (۰/۹۴ درصد) مشاهده شد.

بیشترین میزان باروری ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj}) شتهٔ سبز هلو در تیمارهای *G. etanicatum*، *G. caledonium*، *G. mosseae*، *G. intradicese*، *G. geosporum* و شاهد به ترتیب برابر با ۳/۵۲، ۳/۷۴، ۳/۹۴، ۴/۱۸، ۴/۲۸ و ۴/۹۶ پوره بود که در روزهای ۱۱، ۹، ۹، ۱۱، ۱۰ و ۱۱ مشاهده شد. نرخ زادآوری ویژهٔ سنی (l_xm_x) شتهٔ سبز هلو در تیمارهای مختلف مورد مطالعه در شکل ۲ ارایه شده است. حداکثر تعداد پورهٔ متولد شده در هر روز ۳/۴۰، ۳/۵۲، ۳/۶۸، ۳/۸۶، ۴/۲۰ و ۴/۸۶ پوره/ ماده/ روز و به‌ترتیب در روزهای ۱۱، ۹، ۱۱، ۹، ۱۰ و ۱۱ در تیمارهای *G. etanicatum*، *G. caledonium*، *G. intradicese*، *G. mosseae*، *G. geosporum* و شاهد به دست آمد (شکل ۲).



شکل ۱. نرخ بقای ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (S_{xj}) شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae*، پرورش‌یافته در تیمارهای مختلف میکوریز در شرایط گلخانه

Figure 1. Age-stage specific survival rates (S_{xj}) of the green peach aphid, *Myzus persicae* reared on different mycorrhiza treatments under the greenhouse conditions



شکل ۲. بقای ویژهٔ سنی (l_x)، باروری ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj})، باروری ویژهٔ سنی (m_x) و زادآوری ویژهٔ سنی (l_xm_x) شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* پرورش‌یافته در تیمارهای مختلف میکوریز در شرایط گلخانه

Figure 2. Age-specific survival rate (l_x), age-stage specific fecundity (f_{xj}), age-specific fecundity (m_x) and age-specific maternity (l_xm_x) of the green peach aphid, *Myzus persicae* reared on different mycorrhiza treatments under the greenhouse conditions

تأثیر تیمارهای مختلف میکوریز بر طول مراحل مختلف زیستی شتهٔ سبز هلو

بین دورهٔ نشو و نمای پوره‌گی شتهٔ سبز هلو روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمار شده با میکوریزهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵، df= ۵ و ۲۸۶، F=۱۱۷۸/۸۶؛ جدول ۱). طولانی‌ترین دورهٔ نشو و نمای پوره‌گی این شته در تیمار شاهد (۸/۰۲ روز) بود، ولی از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سایر تیمارها مشاهده نشد. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین طول عمر شته‌های بالغ روی تیمارهای مختلف میکوریز مشاهده شد (P<۰/۰۵، df=۵ و ۲۸۶، F=۷۲۷/۲۵). کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین طول عمر افراد بالغ شته به‌ترتیب روی گیاه فلفل تیمارشده با *G. mosseae* (۱۶/۰۰ روز) و شاهد (۲۲/۳۵ روز) ثبت شد. همچنین، کوتاه‌ترین و طولانی‌ترین دورهٔ زیستی شتهٔ سبز هلو به ترتیب روی فلفل تیمار شده با قارچ میکوریز *G. mosseae* (۲۲/۳۸

روز) و شاهد (۲۹/۸۶ روز) مشاهده شد (P<۰/۰۵، ۲۹۴ و df=۵، F=۷۴۲/۸۳).

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بین دورهٔ پوره‌زایی شته در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵، ۲۸۶ و df=۵، F=۵۲۰/۲۲). کوتاه‌ترین طول دورهٔ پوره‌زایی در تیمار *G. mosseae* (۱۱/۵۱ روز) و طولانی‌ترین دورهٔ آن در تیمار شاهد (۱۵/۶۵ روز) مشاهده شد. همچنین، تفاوت معنی‌داری بین باروری شتهٔ سبز هلو در تیمارهای مختلف مورد مطالعه ثبت شد (P<۰/۰۵، ۲۸۶ و df=۵، F=۵۸۷/۲۷) و کم‌ترین و بیشترین میزان این پارامتر به ترتیب در تیمارهای *G. mosseae* و شاهد (۳۸/۳۱ و ۵۴/۴۳ نتاج به ازای هر فرد ماده) به‌دست آمد (جدول ۱).

تأثیر تیمارهای مختلف میکوریز روی پارامترهای جمعیت شتهٔ سبز هلو

اثر تیمارهای مختلف میکوریز روی پارامترهای جمعیت شتهٔ سبز هلو معنی‌دار بود (جدول ۲). کم‌ترین و بیشترین مقدار نرخ ناخالص تولید مثل (GRR) شتهٔ سبز هلو به‌ترتیب در تیمار *G. mosseae* (۳۷/۵۴ نتاج به ازای هر فرد ماده) و شاهد (۵۶/۷۰ نتاج به ازای هر فرد ماده) ثبت شد (P<۰/۰۵، ۲۹۴ و df=۵، F=۴۱۹/۰۲). بین مقادیر نرخ خالص تولیدمثل (R_0) شتهٔ سبز هلو روی تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵، ۲۹۴ و df=۵، F=۴۴۸/۶۰). مقدار R0 از ۳۷/۵۴ تا ۵۳/۳۴ نتاج به‌ازای هر فرد ماده متغیر بود که کم‌ترین و بیشترین مقدار آن به‌ترتیب در تیمارهای *G. mosseae* و شاهد به‌دست آمد. همچنین، کم‌ترین مقدار نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) و نرخ متناهی افزایش جمعیت (λ) در تیمار *G. mosseae* (به‌ترتیب ۰/۲۸۶۷ و ۱/۳۳۲۰ بر روز) نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد (P<۰/۰۵، ۲۹۴ و df=۵، F=۱۰۰/۰۹، P<۰/۰۵، ۲۹۴ و df=۵، F=۱۰۰/۴۲). تأثیر تیمارهای مختلف روی میانگین طول یک نسل (T) شتهٔ سبز هلو معنی‌داری بود (P< ۰/۰۵ "۲۹۴ و df= ۵ "F=۶۶۷/۴۵). طولانی‌ترین مقدار T در تیمار شاهد (۱۳/۹۰ روز) و کوتاه‌ترین مقدار آن در تیمارهای *G. geosporum* و *G. intradicese* (به‌ترتیب ۱۲/۲۲ و ۱۲/۲۳ روز) ثبت شد.

جدول ۱. میانگین (±خطای معیار) پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمار شده با میکوریزهای مختلف در شرایط گلخانه

Table 1. Mean (± SE) of biological parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* on bell pepper treated with different mycorrhiza under the greenhouse conditions

Treatments	Pre-adult (days)	Adult longevity (days)	Life span (days)	Reproductive period (days)	Fecundity (offspring)
Glomus caledonium	6.67±0.13 [b]	18.73±0.65 [bc]	24.98±0.75 [b]	13.98±0.50 [b]	42.12±1.80 [bc]
G. etanicatum	6.58±0.14 [b]	19.19±0.46 [b]	25.04±0.65 [b]	13.96±0.35 [b]	41.94±1.36 [bc]
G. geosporum	6.49±0.10 [b]	17.57±0.46 [c]	23.72±0.56 [bc]	13.47±0.37 [bc]	42.65±1.38 [b]
G. intradicese	6.60±0.11 [b]	17.06±0.81 [cd]	23.04±0.87 [bc]	12.40±0.63 [cd]	42.88±2.22 [b]
G. mosseae	6.73±0.10 [b]	16.00±0.59 [d]	22.38±0.66 [c]	11.51±0.40 [d]	38.31±1.50 [c]
Control	8.02±0.12 [a]	22.35±0.37 [a]	29.86±0.62 [a]	15.65±0.26 [a]	54.43±1.07 [a]

* میزان خطاهای معیار با استفاده از ۴۰۰۰۰ بوت استرپ تخمین زده شده و با میانگین‌ها در هر ستون با استفاده از آزمون paired bootstrap بر اساس تفاوت‌های CI مقایسه شده است.

* The SEs were estimated using 40,000 bootstraps and means in each column compared by paired bootstrap test based on CI of differences.

جدول ۲. میانگین (±خطای معیار) پارامترهای جمعیت شتهٔ سبز هلو، *Myzus persicae* روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمارشده با میکوریزهای مختلف در شرایط گلخانه

Table 2. Mean (± SE) of population parameters of the green peach aphid, *Myzus persicae* on bell pepper treated with different mycorrhiza under the greenhouse conditions

Treatments	*GRR* (offspring/ individual)	R_0 (offspring/ individual)	*r* (day^{-1})	*λ* (day^{-1})	*T* (day)
Glomus caledonium	50.35±1.80 [b]	41.28±1.95 [b]	0.2912±0.006 [ab]	1.3380±0.008 [ab]	12.78±0.18 [b]
G. etanicatum	49.31±1.62 [b]	40.26±1.75 [b]	0.2885±0.007 [ab]	1.3343±0.008 [ab]	12.82±0.20 [b]
G. geosporum	52.94±2.55 [ab]	41.80±1.60 [b]	0.3054±0.005 [a]	1.3570±0.007 [a]	12.23±0.13 [c]
G. intradicese	50.82±1.30 [b]	41.16±1.44 [b]	0.3043±0.007 [a]	1.3557±0.009 [a]	12.22±0.18 [c]
G. mosseae	42.05±1.07 [c]	37.54±1.66 [c]	0.2867± 0.005 [b]	1.3320±0.006 [b]	12.34± 0.13 [bc]
Control	56.70±1.14 [a]	53.34±1.50 [a]	0.2938±0.005 [ab]	1.3415±0.007 [ab]	13.90±0.19 [a]

* میزان خطاهای معیار با استفاده از ۴۰۰۰۰ بوت استرپ تخمین زده شده و با میانگین‌ها در هر ستون با استفاده از آزمون paired bootstrap بر اساس تفاوت‌های CI مقایسه شده است.

* The SEs were estimated using 40,000 bootstraps and means in each column compared by paired bootstrap test based on CI of differences.

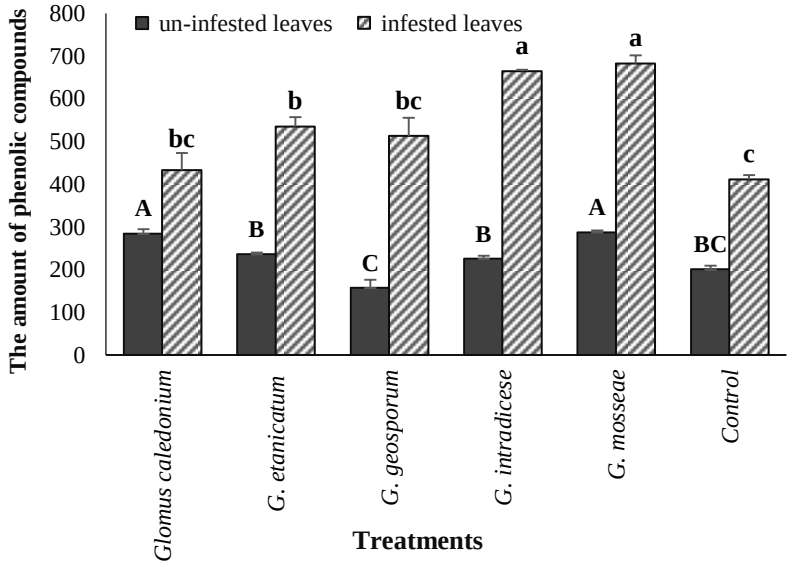
تأثیر تیمارهای مختلف میکوریز بر میزان فنل کل گیاه فلفل‌دلمه‌ای در شرایط قبل و بعد از آلودگی با شتهٔ سبز هلو

بیشترین غلظت فنل کل در گیاهان قبل از آلودگی با شتهٔ سبز هلو در تیمارهای *G. mosseae* و *G. caledonium* (به‌ترتیب ۲۸۷/۶۹ و ۲۸۴/۶۷ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کم‌ترین میزان آن در تیمار *G. geosporum* (۱۵۷/۷۹ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) به‌دست آمد (P<۰/۰۱، ۲۳ و df=۵، F=۲۴/۱۵، شکل ۳). همچنین، بیشترین میزان فنل کل در گیاه آلوده به شتهٔ سبز هلو در تیمارهای *G. mosseae* و *G. intradicese* (به‌ترتیب ۶۸۶/۱ و ۶۶۴/۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و کم‌ترین میزان آن در تیمار شاهد (۴۱۰/۸ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) مشاهده شد (P<۰/۰۱، ۲۳ و df=۵، F=۱۷/۵۶؛ شکل ۳).

بحث

تولید غذای سالم و عاری از مواد شیمیایی به‌ویژه سبزیجات سالم (از جمله فلفل‌دلمه) یکی از خواسته‌های بیشتر مصرف‌کنندگان در جوامع امروزی است. یکی از روش‌های کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی زیان‌آور، استفاده از میزبان‌های گیاهی مقاوم می‌باشد. میکروارگانیسم‌های مفید خاک سبب افزایش مقاومت سیستمیک در گیاهان نسبت به حشرات شده که منجر به تغییر در جمعیت و کاهش نرخ رشد حشرات گیاه‌خوار می‌شوند (Harun & Chung, 2017). تحقیقات مختلف نشان داده است که استفاده از قارچ‌های هم‌زیست با ریشهٔ گیاه باعث بهبود رشد و وضعیت تغذیه‌ای گیاهان شده و می‌تواند تحمل آن‌ها را نسبت به آفات افزایش داده و در نتیجه گیاه می‌تواند خسارت ناشی از تغذیهٔ آفات گیاه‌خوار را جبران نماید (Strauss & Agrawal, 1999; Gehring & Bennett, 2009; Hoffmann et al., 2011). براساس نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر، تیمارهای مختلف قارچ‌های هم‌زیست با ریشه روی پارامترهای زیستی شتهٔ سبز هلو، *M. persicae*، و میزان فنل کل در گیاه فلفل‌دلمه‌ای تأثیرگذار بودند.

با اندازه‌گیری پارامترهای زیستی می‌توان به وجود یا عدم وجود مقاومت آنتی‌بیوز در تیمارهای مورد بررسی پی‌برده و میزان موفقیت اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات را به‌ویژه در سطوح تصمیم‌گیری جهت انتخاب میزبان با توجه به آفات غالب پیشگویی نمود.



شکل ۳. میزان فنل کل در برگ‌های سالم و آلوده گیاه فلفل‌دلمه‌ای در تیمارهای مختلف میکوریز در شرایط گلخانه؛ حروف‌های ناهمسان روی هر ستون نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها است (HSD، سطح احتمال ۵ درصد).

Figure 3. The amount of total phenol in un-infested and infested bell pepper leaves on different mycorrhiza treatments under the greenhouse conditions; means followed by different letters on each column are significantly different (HSD, $P< 0.05$).

مقاومت آنتی‌بیوز ممکن است به دلیل وجود مواد سمی، مواد ضدتغذیه‌ای، ترکیبات کند کنندهٔ رشد، ارزش غذایی پایین غذای خورده شده و متابولیت‌های ثانویهٔ گیاهی اتفاق افتد (Samraj & David, 1988; Smith, 2005). براساس نتایج این تحقیق، تیمار *G. mosseae* به‌دلیل طول عمر افراد بالغ، دورهٔ زیستی و نیز دورهٔ پوره‌زایی نسبتاً کوتاه شته‌های بالغ روی آن، تیمار نسبتاً نامناسبی برای نشو و نمای شتهٔ سبز هلو نسبت به شاهد می‌باشد. بنابراین، قارچ‌های هم‌زیست با ریشهٔ گیاه از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و یا بیوشیمیایی در گیاهان می‌توانند تأثیر منفی قابل توجهی بر خصوصیات زیستی حشرات گیاه‌خوار داشته باشند (Gange, 2006; Hoffmann *et al*., 2011; Pozo *et al*., 2013; Bennett *et al*., 2016).

کیفیت گیاه میزبان عاملی کلیدی می‌باشد که به‌طور مستقیم روی باروری بالقوه و بالفعل حشرات گیاه‌خوار تأثیر می‌گذارد (Awmack & Leather, 2002; Helms & Hunter, 2005; Wakefield *et al*., 2010). بنابر نتایج این بررسی، شته‌های بالغ ظاهر شده روی تیمار *G. mosseae* کم‌ترین میزان زادآوری را در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. این تفاوت در مقادیر زادآوری در بین تیمارها می‌تواند با نوع و مقدار ترکیبات غذایی و یا ترکیبات شیمیایی ثانویه و سایر بازدارنده‌های رشدی موجود در تیمار مورد بررسی مرتبط بوده که می‌تواند از دلایل وجود ساز و کارهای مقاومت آنتی‌بیوز باشد. بر اساس گزارش‌های متعدد، قارچ‌های میکوریز می‌توانند سبب افزایش مقاومت در گیاهان نسبت به آفات و بیماری‌ها شوند که آن‌هم به دلیل وجود ساز و کارهای آنتی‌بیوز در گیاهان میزبان می‌باشد (Cordier *et al*., 1998; Pozo *et al*., 2002; Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). بنابراین، تیمار *G. mosseae* می‌تواند با کلونیزه کردن و افزایش رشد ریشهٔ گیاه فلفل‌دلمه‌ای، میزان ترکیبات شیمیایی ثانویه را افزایش داده و سبب کاهش باروری شتهٔ سبز هلو شود و در نتیجه استفاده از آفت-کش‌های شیمیایی را کاهش دهد.

منحنی نرخ بقای ویژهٔ سنی (l_x) روی همهٔ تیمارها به همراه شاهد الگوی مشابهی را نشان داد. بیشترین بقاء در مرحلهٔ پوره‌گی اتفاق افتاد و سپس به آهستگی تا مرگ آخرین فرد ماده منحنی کاهش یافت. افزایش میزان مرگ و میر در طول دورهٔ زندگی شته می‌تواند به دلیل افزایش ترکیبات ثانویهٔ موجود در برگ‌ها باشد (Eigenbrode & Espelie, 1995). میزان ترکیبات شیمیایی ثانویه موجود در میزبان‌های مختلف گیاهی می‌تواند در میزان باروری روزانه و کل شتهٔ بالغ تأثیرگذار باشد (Hagley & Barber, 1992). همچنین، با دقت در نمودار باروری ویژهٔ سنی- مرحلهٔ رشدی (f_{xj}) و باروری ویژهٔ سنی (m_x) شتهٔ سبز هلو در تیمارهای مختلف گیاه فلفل‌دلمه‌ای در شرایط گلخانه مشخص می‌شود که کم‌ترین سطح زیر منحنی در هر دو پارامتر ذکر شده در تیمار *G. mosseae* و بیشترین سطح آن در تیمار شاهد مشاهده می‌شود. حشرات آفت جمعیت خود را غالباً روی میزبان‌هایی که مطلوبیت بیشتری برای افزایش جمعیت آن‌ها داشته باشند و نیازهای فیزیولوژیک آن‌ها را تأمین کند، افزایش می‌دهند (Bethke *et al*., 1998). بنابراین، میزان مقاومت یک گیاه در مقابل یک آفت گیاه‌خوار، می‌تواند با توجه به تفاوت در فعالیت حشره روی آن میزبان سنجیده شود.

براساس نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق،کم‌ترین میزان پارامترهای نرخ خالص تولید مثل (R_0) و نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) شتهٔ سبز هلو روی گیاه فلفل‌دلمه‌ای تیمار شده با *G. mosseae* نسبت به شاهد مشاهده شد که می‌توان آن را به‌عنوان یک مکانیسم القای مقاومت تلقی نمود. پارامترهای r و R_0 نیز شاخص‌هایی هستند که جهت ارزیابی میزان مقاومت (مقاومت القایی) گیاه نسبت به یک حشرهٔ آفت به‌کار می‌روند (Liu et al., 2004; Ferrero et al., 2007). در نتیجه، تیمار قارچی *G. mosseae* می‌تواند در گیاه فلفل‌دلمه‌ای سبب فعال‌شدن هورمون‌های گیاهی از جمله جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید، آبسسیک اسید و اتیلن شود که این تیمارها نقش مهمی در القای واکنش‌های دفاعی گیاه ایفا می‌نمایند (Glazebrook, 2005; Pieterse *et al*., 2009; Moreira *et al*., 2010). جاسمونیک اسید با دخالت در بیان ژن‌های مختلف، محافظت از RNA و DNA، کنترل سنتز پروتئین و عمل آنزیم‌ها، گیاهان را در

برابر تنش‌های مختلف محیطی مانند عوامل بیماری‌زا و حشرات گیاه‌خوار محافظت نموده و مانع از بین رفتن ترکیبات شیمیایی ثانویه گیاه شده که نقش مهمی در ایجاد مقاومت سیستیمک در گیاهان دارد (Ozawa, 2000; Rudell, 2005; Sabine *et al*., 2012). بنابراین، مقاومت القایی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش نرخ رشد جمعیت شتهٔ سبز هلو داشته باشد.

در گیاهان راهکارهای مناسبی برای مقابله با تهاجم ارگانیسم‌های گیاه‌خوار تکامل یافته است و ترکیبات شیمیایی ثانویه نقش قابل توجهی در دفاع گیاه ایفا می‌نمایند. ترکیبات شیمیایی ثانویه بر اساس مسیر بیوسنتزی به ترکیبات ترپنوئیدی، آلکالوئیدی و فنلی تقسیم‌بندی می‌شوند (Facchini, 2001; Keeling & Bohlmann, 2006; Bernards & Bastrup-Spohr, 2008). ترکیبات فنلی گروه مهمی از ترکیبات شیمیایی ثانویه هستند که در سیتوپلاسم و شبکهٔ آندوپلاسمی گیاه تولید می‌شوند (Tsai *et al*., 2006; Bernards & Bastrup-Spohr, 2008). در تحقیق حاضر، بیشترین میزان ترکیبات فنلی در گیاهان آلوده به شتهٔ سبز هلو روی تیمارهای *G. mosseae* و *G. intradicese* نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد که بیان‌گر تأثیر غیرمستقیم این تیمار روی حشرهٔ آفت می‌باشد. گزارش‌های متعددی در راستای تأثیر قارچ‌های هم‌زیست با ریشهٔ گیاه بر میزان ترکیبات فنلی و فیتوهورمون‌های دفاعی وجود دارد (Fester & Hause, 2005; López-Ráez *et al*., 2010). بنابراین، ترکیبات فنلی در گیاهان میزبان با دارا بودن اثرات ضدتغذیه‌ای سبب کاهش میزان تغذیه و در نتیجه پارامتر *r* می‌شوند (Haukioja *et al*., 2002; Wójcicka, 2010; Mardani-Talaee *et al*., 2016). بر همین اساس، مقاومت گیاه به حشرات گیاه‌خوار به‌طور مستقیم به فیزیولوژی گیاه ارتباط داشته و هر عاملی که فیزیولوژی گیاه را تحت تأثیر خود قرار دهد، به نوبهٔ خود بر میزان مقاومت آفات نسبت به گیاهان نیز اثر گذار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزودن تیمار میکوریز، *G. mosseae* به خاک در مقایسه با شاهد می‌تواند در القای مقاومت آنتی‌بیوز نسبت به شتهٔ سبز هلو به دلیل افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاه و تفاوت‌های فیزیولوژیکی سیستم آنتی‌اکسیدانی شته موثر باشد که سبب کاهش طول عمر افراد بالغ، کاهش باروری و مقادیر پارامترهای GRR، R_0، r و λ می‌شود. بنابراین، این امر می‌تواند به عنوان نکته‌ای مهم و قابل توجهی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی شتهٔ سبز هلو مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

از حمایت‌های مالی گروه گیاهپزشکی دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان جهت انجام این پژوهش، تشکر و قدرانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Agrawal, A. A. & Sherriffs, M. F. (2001). Induced plant resistance and susceptibility to late-season herbivores of wild radish. *Annals of the Entomological Society of America*, 94, 71-75.
2. Awmack, C. S. & Leather, S. R. (2002). Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 817-844.
3. Bennett, A. E., Millar, N. S., Gedrovics, E. & Karley, A. J. (2016). Plant and insect microbial symbionts alter the outcome of plant-herbivore-parasitoid interactions: Implications for invaded, agricultural and natural systems. *Journal of Ecology*, 104, 1734-1744.
4. Bernards, M. A. & Bastrup-Spohr, L. (2008). Phenylpropanoid metabolism induced by wounding and insect herbivory. In: Schaller, A. (Eds.), *Induced plant resistance to herbivory*. (pp. 189-213). New York: Springer.
5. Bethke, J. A., Redak, R. A. & Schuch, U. K. (1998). Melon aphid performance on *Chrysanthemum* as mediated by cultivar and differential levels of fertilization and irrigation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 88, 41-47.
6. Bolandandam, J., Barker, H. & Fenton, B. (2004). Differences in potato leaf roll transmitting ability of individual genotypes of Scottish *Myzus persicae* with different susceptibilities to Lambda-cyhalothrin insecticide. In: Proceedings of *15th International Plant Protection Congress*, 11-16 May., Beijing, China, 221 pp.

7. Capinera, J. L. (2001). *Green Peach Aphid, Myzus persicae (Sulzer) (Insecta: Hemiptera: Aphididae).* Entomology and Nematology Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville.
8. Chi, H. (1988). Life table analysis incorporating both sexes and variable development rate among individuals. *Environmental Entomology*, 17, 26-34.
9. Chi, H. (2018). TWOSEX- MSChart: A Computer Program for the Age-stage, Two sex Life Table Analysis. (http://140.120.197.173/Ecology/Download/TWOSEX–MSChart.Zip) (Accessed 12 June 2018).
10. Chi, H. & Liu, H. (1985). Two new methods for the study of insect population ecology. *Bulletin of the Institute Zoology Academia Sinica*, 24, 225-240.
11. Cordier, C., Pozo, M. J., Barea, J. M., Gianinazzi, S. & Gianinazzi-Pearson, V. (1998). Cell defense responses associated with localized and systemic resistance to *Phytophthora parasitica* induced in tomato by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 11, 1017-1028.
12. Eigenbrode, S. D. & Espelie, K. E. (1995). Effects of plant epicuticular lipids on insect herbivores. *Annual Review of Entomology*, 40, 171-194.
13. Facchini, P. J. (2001). Alkaloid biosynthesis in plants: biochemistry, cell biology, molecular regulation, and metabolic engineering applications. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 29-66.
14. Ferrero, M., Moraes, G. J., Kreiter, S., Tixier, M. S. & Knapp, M. (2007). Life tables of the predatory *Phytoseiulus longipes* feeding on *Tetranychus evansi* at four temperatures (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae). *Experimental and Applied Acarology*, 41, 45-53.
15. Fester, T. & Hause, G. (2005). Accumulation of reactive oxygen species in arbuscular mycorrhizal roots. *Mycorrhiza*, 15, 373-379.
16. Fontana, A., Reichelt, M., Hempe, S., Gershenzon, J. & Unsicker, S. B. (2009). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on direct and indirect defense metabolites of *Plantago lanceolata* L. *Journal of Chemical Ecology*, 35, 833-843.
17. Frantz, D. J., Gardner, J., Hoffmann, P. M. & Jahn, M. M. (2004). Greenhouse screening of *Capsicum* accessions for resistance to green peach aphid (*Myzus persicae*). *Horticultural Science*, 39, 1332-1335.
18. Gange, A. C. (2006). Insect-mycorrhizal interactions: patterns, processes, and consequences. In: Ohgushi, T., Craig, T. P. & Price, P. W. (Eds.), *Indirect interaction webs: nontrophic linkages through induced plant traits*. (pp. 124–144). Cambridge University Press, Cambridge.
19. Gehring, C. & Bennett, A. (2009). Mycorrhizal fungal–plant–insect interactions: The importance of a community approach. *Environmental Entomology*, 38, 93-102.
20. Glazebrook, J. (2005). Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 205-227.
21. Guerrieri, E., Lingua, G., Digilio, M. C., Massa, N. & Berta, G. (2004). Do interactions between plant roots and the rhizosphere affect parasitoid behaviour? *Journal of Economic Entomology*, 29, 753-756.
22. Hagley, E. A. C. & Barber, D. R. (1992). Effect of food sources on the longevity and fecundity of *Pholetesor ornigis* (Weed) (Hymenoptera: Braconidae). *Canadian Entomologist*, 124, 341-346.
23. Harun, M. D. & Chung, Y. R. (2017). Induction of systemic resistance against insect herbivores in plants by beneficial soil microbes. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-11.
24. Haukioja, E., Ossipov, V. & Lempa. K. (2002). The interactive effects of leaf maturation and phenolics on consumption and growth of a geanetrid moth. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104, 125-136.
25. Helms, S. E. & Hunter, M. D. (2005). Variation in plant quality and the population dynamics of herbivores, there is nothing average about aphids. *Oecology*, 145, 197-204.
26. Herron, G., Powis, K. & Rophail, J. (2000). Baseline studies and preliminary resistance survey of Australian populations of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hom.: Aphidiae). *Australian Journal of Entomology*, 39, 33–38.
27. Hoffmann, D., Vierheilig, H., Peneder, S. & Schausberger, P. (2011). Mycorrhiza modulates aboveground tri–trophic interactions to the fitness benefit of its host plant. *Ecological Entomology*, 36, 574-581.
28. Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K. & Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37, 116-118.
29. Keeling, C. I. & Bohlmann, J. (2006). Genes, enzymes and chemicals of terpenoid diversity in the constitutive and induced defense of conifers against insects and pathogens. *New Phytologist*, 170, 657-675.

30. Kogan, M. & Paxton, J. (1983). Natural inducers of plant resistance to insects. In: Hedin, P. A. (Eds.), *Plant resistance to insects*. (pp. 153–171). American Chemical Society Symposium. American Chemical Society, Washington, DC. Series 208.
31. Liu, Z., Li, D., Gong, P. Y. & Wu, K. J. (2004). Life table studies of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), on different host plants. *Environmental Entomology*, 33, 1570-1576.
32. López-Ráez, J. A., Flors, V., García, J. M. & Pozo, M. J. (2010). AM symbiosis alters phenolic acid content in tomato roots. *Plant Signaling and Behavior*, 5, 1138-1140.
33. Mardani-Talaee, 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, 1-10.
34. Moreira, X., Sampedro, L. & Zas, R. (2010). Defensive responses of methyl of *Pinus pinaster* seedlings to exogenous application of methyl jasmonate: concentration effect and systemic response. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 94-100.
35. Ozawa, R. (2000). Involvement of jasmonate– and salicylate– elated signaling pathways for the production of specific herbivore–induced volatiles in plants. *Plant and Cell Physiology*, 41, 391–398.
36. Peterson, R. L., Massicottle, H. B. & Melville, L. H. (2004). *Mycorrhizas*; *Anatomy and Cell Biology*. CABI Publishing, United Kingdom.
37. Pieterse, C. M. J., Leon-Reyes, A., Van Der Ent, S. & Van Wees, S. C. M. (2009). Networking by small-molecule hormones in plant immunity. *Nature Chemical Biology*, 5, 308-316.
38. Pozo, M. J. & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 393-398.
39. Pozo, M. J., Cordier, C., Dumas-Gaudot, E., Gianinazzi, S., Barea, J. M. & Azcón–Aguilar, C. (2002). Localized versus systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defense responses to *Phytophthora* infection in tomato plants. *Journal of Experimental Botany*, 53, 525-534.
40. Pozo, M. J., Jung, S. C., Martínez-Medina, A., López–Ráez, J. A., Azcón-Aguilar, C. & Barea, J. M. (2013). Root allies: Arbuscular mycorrhizal fungi help plants to cope with biotic stresses. In: Aroca, R. (Eds.), *Symbiotic endophytes*. (pp. 289–307). Berlin, Germany: Springer.
41. Rudell, D. R. & Fellman, J. (2005). Pre harvest application of methyl jasmonate to ”Funji” apples enhances red coloration and affects fruit size, splitting, and bitter pit incidence. *Horticultural Science*, 40, 1760-1762.
42. Jung, S. C., Martinez-Medina, A., Lopez-Raez, J. A. & Pozo, M. J. (2012). Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. *Journal of Chemical Ecology*, 38, 651-664.
43. Samraj, D. A. & David, B. V. (1988). Life table studies on the spotted bollworm, *Earias vittella* (Fabricious) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton ecosystem. *Journal of the Bombay Natural History Society*, 85, 637-641.
44. Sanatombi, K. & Sharma, G. J. (2007). Micropropagation of *Capsicum annuum* L. using axillary shoot explants. *Scientia Horticulturae*, 113, 96-99.
45. Slinkard, K. & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.
46. Smith, C. M. (2005). *Plant Resistance to Arthropods: Molecular and Conventional Approaches*. Dordrecht, the Netherlands: Springer. 423 pp.
47. Strauss, S. & Agrawal, A. A. (1999). The ecology and evolution of plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 179-185.
48. Tsai, C. J., Harding, S. A., Tschaplinski, T. J., Lindroth, R. L. & Yuan, Y. N. (2006). Genome-wide analysis of the structural genes regulating defense phenylpropanoid metabolism in *Populus*. *New Phytologist*, 172, 47-62.
49. Wakefield, M. E., Bell, H. A. & Gatehouse, A. M. R. (2010). Longevity and fecundity of *Eulophus pennicornis*, an ectoparasitoid of the tomato moth *Lacanobia oleracea*, is affected by nutritional state and diet quality. *Agricultural and Forest Entomology*, 12, 19-27.
50. Whipps, J. M. (2004). Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Canadian Journal of Botany*, 82, 1198-1227.
51. Wójcicka, A. (2010). Cereal phenolic compounds as biopesticides of cereal aphids. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 1337-1343.