کنترل بیولوژیک آفات و بیماری‌های گیاهی
دورهٔ ۶، شمارهٔ ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶ (۱۳۸-۱۲۷)
DOI: 10.22059/jbioc.2017.219430.176

اثر ورمی‌کمپوست و *Glomus versiform* بر کنترل قارچ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* در گیاه گوجه‌فرنگی

۱. فرناز فکرت*؛ ۲. ذبیح‌الله اعظمی ساردوئی؛ ۳. الهام ملائی‌مقبلی؛ ٤. اسحاق مقبلی‌هنزایی
۱ و ۲. مربی و استادیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت
۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده، کشاورزی دانشگاه تبریز
٤. دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۱٦ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۱/۱۱)

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی اثر ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریز *Glomus versiform* جهت کنترل *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* در گیاه گوجه‌فرنگی انجام شد. بذور گوجه‌فرنگی در بسترهای حاوی: خاک استریل (شاهد)، قارچ (G) *G. versiform*، ورمی‌کمپوست (V)، ترکیب *Glomus* + ورمی‌ک‌مپوست (V+G) در جعبه نشا کشت شدند. پنج هفته بعد ریشه‌های گیاه در سوسپانسیون اسپور قارچ *F. oxysporum* و شاهد آب، خیسانده و به گلدان منتقل شدند. در پایان آزمایش، نشانه‌های بیماری‌زایی، شاخص‌های رشدی، بهبود جذب عناصر ماکرو، میزان کلروفیل برگ‌ها و درصد کلنیزه شدن ریشه‌ها ارزیابی شد. نتایج نشان داد استفاده از ترکیب (V+G) مؤثرتر از کاربرد هرکدام به‌تنهایی بود. تیمار گیاهان آلوده به پاتوژن با ترکیب مذکور وقوع زردی برگ‌ها را به‌طور معنی‌داری تا ۱۷/۳ درصد کاهش داد و در مقابل تیمار شاهد آلوده ٦۸/٦ درصد ارزیابی شد. همچنین با توجه به نتایج کلنیزه شدن ریشه‌ها توسط قارچ *G. versiform*، تیمار V+G+F- با افزایش ۲۳ درصدی بهبود یافت. در حالت آلودگی با قارچ *F. oxysporum* کمترین مقدار کلروفیل در تیمار شاهد ۱۲ (عدد SPAD) تخمین زده شد درحالی‌که در تیمار V+G به مقدار ۳۰ افزایش یافت. همچنین بیشترین میزان جذب عناصر N، P، K در تیمار گیاه با V+G حاصل شد. بر اساس یافته‌های این مطالعه، کاربرد (V+G) در کنترل بیماری فوزاریومی گوجه‌فرنگی علاوه بر بهبود رشد و سلامت گیاه، در کنترل بیمارگر مذکور قابل توصیه می‌باشد.

کلیدواژگان: قارچ‌های میکوریز، کودهای آلی، فوزاریوم، کنترل.

Effect of Vermicompost and *Glomus versiform* on control of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* on tomato plant

Farnaz Fekrat[1*], Zabihollah Azami-Sardooei[2], Elham Molaie Moghbeli[3] and Ecehagh Moghbeli Hanzai[4]
1, 2. Instructor and Assistant Professor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran
3. Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
4. Ph.D. Student in Horticulture Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Received: Nov. 6, 2016 - Accepted: Mar. 31, 2017)

ABSTRACT

An experiment was conducted to determine the effect of Vermicompost and *Glomus versiform*, on tomato plant infected by of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. Tomato seeds were sown in growth bed including: sterile soil (control), *G. versiform* (G), Vermicompost (V), Vermicompost + *Glomus* (V+G). Five weeks later, the plant roots were dipped to *F. oxysporum* spore suspension as well as water and then transplanted. At the end of experiment, symptoms of disease (yellowing), morphological parameters, improvement of elements uptake, leaf chlorophyll and percentage of root colonization were assessed. Results showed that treatments with combination of G and V were more effective on the above criteria than treating plants with single inoculations. Infected Plants by pathogen are treated with G+V significantly reduced yellowing incidence of leaves by17.30% and infected control treatment, 68.6% was estimated. Also regarding to the percentage of root colonization result, the effectiveness of dual application (V+G+F-) was proved by 23% increase. In the case of contamination by *F. oxysporum* fungi, the lowest amounts of chlorophyll were estimated in the control treatments with 12 (SPAD value), while it was increased in the (V+G) treatment (30). The highest uptake of N, P, K was recorded in V+G treatment. Based on these results, the application of combined treatments including G+V against this pathogen was found to ameliorate tomato plant growth and health, so they could be recommended for this disease.

Keywords: Control, *Fusarium*, Mycorrhizal Fungi, organic manures.

* Corresponding author E-mail: f_k1271@yahoo.com

تازه‌های تحقیق

استفاده از تلفیق عوامل بیولوژیک همچون قارچ *Glomus versiform* و ورمی‌کمپوست در مهار بیماری فوزاریوم گوجه‌فرنگی *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* به میزان قابل قبولی موفق‌تر از کاربرد تنهای هرکدام عمل کرد به‌طوری‌که با کاربرد ترکیبی، نشانه‌های بیماریزایی به‌طور چشمگیری کاهش یافت و میزان کلروفیل، جذب عناصر، شاخص رشدی و کلنیزه شدن ریشه بهبود یافت. لذا می‌توان با تولید نشاء گیاه گوجه‌فرنگی در بستر حاوی ترکیب ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریز و انتقال به مزرعه علاوه بر کاهش میزان خسارت عوامل بیماری‌زا همچون فوزاریوم که یکی از پاتوژن‌های سخت کنترل است، تحمل و مقاومت گیاه در برابر این بیماری را افزایش داد.

مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از محصولات مهم کشاورزی در سبد غذایی انسان می‌باشد. این گیاه توسط پاتوژن‌هایی ازجمله قارچ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* عامل بیماری پژمردگی فوزاریومی موردحمله قرار می‌گیرد. همچنین این بیمارگر خاکزاد، به علت دارا بودن خصوصیاتی از قبیل برخورداری از انتشار گسترده، بقای طولانی‌مدت در خاک، داشتن نژادهای فیزیولوژیک خاص و ایجاد خسارت قابل‌ملاحظه، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های گوجه‌فرنگی محسوب می‌شود (Agrius 2004). به‌طورکلی مدیریت و کنترل عوامل بیماری‌زای خاکزاد بسیار مشکل است و از طرفی مبارزه شیمیایی علیه این عوامل علاوه بر پرهزینه بودن، عدم تعادل در جمعیت میکروبی و تأثیر سوء بر فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، باعث افزایش نژادهای مقاوم می‌شود. لذا استفاده از ارقام مقاوم و روش‌های کنترل بیولوژیک بیمارگرهای خاکزاد از مقرون به‌صرفه‌ترین روش‌های مدیریتی سازگار با محیط زیست می‌باشد (Jetiyanon & Kloepper 2002). قارچ‌های همزیست باریشه گیاهان یکی از میکروارگانیسم‌های طبیعی موجود در خاک هستند که می‌توانند نقش مهمی در کنترل بیولوژیک داشته باشند که در این بین بر روی قارچ‌های همزیست میکوریز آربوسکولار AMFs، مطالعات زیادی انجام‌شده است. این قارچ‌ها ضمن استقرار درون بافت ریشه و تولید آربوسکول درون سلول‌های پوست داخلی آن، شبکه‌هایی از ریسه‌های ظریف در ریشه‌های میزبان تولید می‌کنند. این قارچ‌ها به‌واسطه کمک به گیاهان در افزایش جذب آب و مواد معدنی، جذب عناصر غیرمتحرک در خاک به‌ویژه فسفر، تأثیر فراوانی در رشد و بالا بردن مقاومت گیاه در برابر تنش‌ها دارند (Gaur & Adholeya 2004, Garsia-Garido & Ocampo 2002, Lindeman 1994). محققین استفاده از AMF را به‌عنوان یک عامل کنترل بیولوژیک بالقوه در برابر پاتوژن‌های گیاهی موجود در خاک همچون *Pythium*، *Phythophthora*، *Fusarium*، *Verticillium*، *Rhizoctonia* و *Sclerotium* پیشنهاد کرده‌اند (Hao *et al*. 2005). البته ممکن است قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نسبت به عوامل بیمارگر عکس‌العمل خاصی نداشته باشند و فرایند حفاظت به‌صورت غیرمستقیم باشد (Harrier & Watson 2004). این قارچ‌ها علاوه بر کنترل بیمارگر در توسعه و رشد گیاهان مؤثر شناخته شده‌اند (Garsia-Garido & Ocampo 2002). گزارش‌شده است که کارآمدی قارچ میکوریز به فاکتورهایی همچون عوامل زنده و غیرزنده مانند دما، رطوبت، تغییرات فیزیکی و شیمیایی ایجادشده در خاک، ژنوتیپ گیاه و قارچ، زمان مایه‌زنی، میزان زادمایه بیماری، قدرت تهاجم آن و میکروفلور خاک بستگی دارد (Singh *et al*. 2000). از مهم‌ترین این فاکتورها، عکس‌العمل قارچ میکوریز به میکروارگانیسم‌های موجود در منطقه ریزوسفر ریشه می‌باشد که به دنبال آن تکثیر و تشکیل این قارچ‌ها می‌تواند باعث تغییر در فیزیولوژی گیاه، ساختار فیزیکی ریزوسفر و مواد غذایی خاک شود (Bowen & Rovira 1999). بنابراین کلنیزه شدن ریشه توسط قارچ‌های میکوریز به‌شدت تحت تأثیر میکروارگانیسم‌های منطقه ریشه (Gryndler 2000) و به‌طورکلی طبیعت خاک بوده و نتیجتاً مؤثر در کاهش وقوع بیماری می‌باشند (Baby & Manibhushanrao 1996). البته بایستی در نظر داشت که در برخی موارد قارچ میکوریز بر کنترل پاتوژن بی‌تأثیر می‌باشد (Bååth & Hayman 1984) و بسته به نوع پاتوژن و دیگر فاکتورها موجود، تأثیر منفی بر روی

مقاومت گیاه دارد (Druge & Schonbeck 1992, Shaul *et al.* 1999). از دیگر راه‌های مؤثر در کاهش خسارت پاتوژن‌های گیاهی و افزایش مقاومت گیاه، استفاده از روش‌های زراعی مانند تقویت گیاه با تغذیه مناسب است. امروزه در بین کودهای ارگانیک، کاربرد مؤثر ورمی‌کمپوست موردتوجه قرارگرفته است. ورمی‌کمپوست دارای قابلیت‌های زیادی است ازجمله باعث افزایش اکسیداسیون و قابلیت احیا و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود و همچنین این ترکیب دارای اسید هیومیک و هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مثل اکسین، جیبرلین و سیتوکینین می‌باشد که موارد مذکور درنتیجه فعالیت میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها و کرم‌های خاکی تولید می‌شوند (Atiyeh *et al.* 2002). بر اساس یافته‌های محققین، از آن‌جایی که قارچ میکوریز ممکن است تحت تأثیر عوامل میکروبی منطقه ریزوسفر ریشه، فعالیت و عملکرد یکدیگر را افزایش یا کاهش دهند (Janisiewicz & Bors 1995, Raaijmakers *et al.* 1995). لذا اضافه کردن کود زیستی ورمی‌کمپوست که دربرگیرنده جمعیت بالای میکروبی و غنی از مواد غذایی است، احتمالاً میزان کلنیزه شدن قارچ میکوریز در ریشه را تغییر و کارایی متفاوتی از خود در کنترل بیماری نشان می‌دهد.

لذا در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی پتانسیل قارچ میکوریز *G. versiform*، به‌صورت ترکیبی با کود زیستی ورمی‌کمپوست و مقایسه کاربرد تنهای آن‌ها در میزان کنترل بیماری پژمردگی آوندی فوزاریومی گوجه‌فرنگی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و پنج تکرار انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و تکثیر زادمایه قارچ میکوریز

زادمایه قارچ میکوریز از کلکسیون گروه خاکشناسی دانشگاه تبریز تهیه شد و به روش گلدانی با میزبان سورگوم تکثیر گردید (Auge *et al.* 2003). ابتدا بذور سورگوم با هیپوکلریت سدیم ده درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی و پس از سه بار آبشویی با آب مقطر سترون، در بین دستمال‌کاغذی استریل‌شده قرار داده شدند تا بذرها جوانه بزنند. زادمایه قارچ *G. versiform* به نسبت ۳۰ گرم با یک کیلوگرم خاک لومی شنی استریل شده مخلوط و سپس بذور سورگوم در گلدان دو کیلوگرمی کاشته شد. گلدان‌ها به مدت چهار ماه در شرایط گلخانه‌ای با دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند. در طول این دوره آبیاری گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه و با روش وزنی و نیاز غذایی گیاهان با محلول غذایی هوگلند با نصف غلظت فسفر انجام شد (Hoagland & Arnon 1950). در پایان دوره، بخش هوایی قطع، سپس ریشه‌های سورگوم خشک، خرد و با خاک گلدان مخلوط شدند و به‌عنوان زادمایه قارچ میکوریز مورداستفاده قرار گرفتند. به‌منظور شمارش جمعیت اسپورهای قارچ میکوریز در خاک از روش شستشو با الک و شناورسازی در محلول ساکاروز ۵۰ درصد استفاده شد (Dalpé 1993).

تهیه نشای گوجه‌فرنگی

بذر گوجه‌فرنگی رقم اف کا محلی اصفهان پس از ضدعفونی سطحی با هیپوکلریت سدیم، در روی چهار نوع بستر کاشت آلی و معدنی به شرح زیر کشت شدند: ۱- خاک + پرلایت استریل شده به نسبت ۱/۱ به‌عنوان شاهد (بستر کاشت پایه)، ۲- اضافه کردن *G. versiform* به بستر کاشت پایه به نسبت یک به ده ۳- بستر کاشت پایه حاوی ۲۵ درصد حجمی ورمی‌کمپوست، ۴- اضافه کردن ترکیب *Glomus* و ورمی‌کمپوست به بستر کاشت پایه. در ادامه نهال‌های گوجه‌فرنگی به مدت پنج هفته در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شدند و قبل از انتقال نشا برای اطمینان از کلنیزه شدن و استقرار قارچ میکوریز در سلول‌های ریشه گوجه‌فرنگی، به‌طور تصادفی چند ریشه از تیمارهای دارای *G. versiform* رنگ‌آمیزی و درصد کلنیزه شدن اندازه‌گیری شد.

تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه

در پایان آزمایش نیز میزان درصد کلنیزاسیون ریشه‌های گوجه‌فرنگی تعیین شد. برای رنگ‌آمیزی ریشه‌ها از روش فیلیپس و هایمن باکمی تغییرات استفاده شد (Phillips & Hayman 1970). بدین منظور ریشه شسته شده با آب به قطعات یک سانتی‌متری خرد شدند و

سپس به مدت یک ساعت در لوله‌های آزمایش حاوی ۱۰ درصد KOH به روش بن‌ماری در ۹۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند تا عملیات رنگ‌بری انجام شود. پس از گذشت این مدت، ریشه‌ها آبشویی شدند و بعد از اسیدی کردن با HCL یک درصد به مدت سه دقیقه، بدون شستشو در داخل محلول ۰/۰۱ درصد لاکتوگلیسرول اسید فوشین به مدت یک ساعت قرار گرفتند. برای ارزیابی میزان کلنیزاسیون تعداد ۱۰ عدد ریشه‌ی یک سانتی‌متری را درون پتری مدرج قرار داده و با استفاده از بینوکولار، اندام قارچی بررسی، تشخیص و شمارش گردید. برای محاسبه درصد کلنیزاسیون از روش کورمانیک و ماک گرو استفاده شد (Kormanik & Mac-Graw 1982).

تهیه مایه تلقیح قارچ بیمارگر *F. oxysporum*

بدین‌منظور ابتدا جدایه قارچ *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* آلوده‌کننده گیاه گوجه‌فرنگی (گرفته‌شده از دانشگاه تبریز)، در محیط کشت PDA تکثیر شد. بعد از رشد اولیه، جدایه‌ها به مدت ۶-۸ روز در تناوب نوری ۱۲:۱۲ ساعت روشنایی و تاریکی و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا جوانه‌زنی اسپور قارچ تحریک شود. برای تهیه سوسپانسیون اسپور، ابتدا ده میلی‌لیتر آب مقطر استریل بر روی محیط مذکور ریخته و با لبه اسکالپل، میسلیوم‌های حاوی اسپورها از محیط کشت خراشیده شد و داخل آب غوطه‌ور گردید. ریسه‌ها با کمک پارچه ململ جداسازی و با استفاده از لام هماسیتومتر، سوسپانسیون و تراکم اسپورهای قارچی جهت آلوده‌سازی با غلظت 10^5 اسپور در هر میلی‌لیتر، تهیه شد.

روش آلوده سازی گیاه با قارچ بیمارگر *F. oxysporum*

قبل از انتقال نشای گوجه‌فرنگی به گلدان اصلی، ریشه گیاهچه‌های هم‌اندازه را به مدت ۱۰ دقیقه درون سوسپانسیون قارچ *F. oxysporum* با غلظت 10^5 اسپور غوطه‌ور نموده و از آب مقطر سترون به‌عنوان شاهد غیر آلوده استفاده شد. سپس در کف گلدان اصلی به‌طور مساوی شن نخودی (جهت بهبود انجام زهکشی) ریخته شد. نشاها در گلدان ۱/۵ کیلویی و با همان ترکیب بستر جعبه نشا ذکرشده در بالا، کشت و به مدت ۷۰ روز در شرایط گلخانه‌ای نگهداری شدند. در این مدت آبیاری از طریق زیرگلدانی انجام شد و تمامی گلدان‌ها با محلول غذایی هوگلند با نصف غلظت فسفر تغذیه شدند.

بررسی و اندازه‌گیری درصد زردی برگ‌های گیاهان آلوده به پژمردگی فوزاریومی

در این بخش از آزمایش ۷۰ روز پس از زمان آلوده سازی گیاهان با پاتوژن و جهت اندازه‌گیری شاخص مذکور، به علائم زردی برگ‌ها نمرات صفر تا ۴ داده شد. بدین‌صورت که برای بوته‌های بدون نشانه بیماریزایی=صفر، <۲۵٪ =۱، ۵۰-۲۶٪=۲، ۷۵-۵۱٪ =۳ و ۱۰۰-۷۶٪=۴ برای علائم زردی و پژمردگی شدید در نظر گرفته شد (Bora *et al*. 2004).

اندازه‌گیری عناصر گیاه گوجه‌فرنگی

هفتاد روز پس از انتقال نشاها، از برگ‌های جوان و تکامل‌یافته نمونه‌برداری شد. نمونه‌های برگ ابتدا با آب معمولی و سپس با آب مقطر شسته شدند و بعد در دمای ۶۵-۵۵ درجه سلسیوس خشک، توزین گردیدند. به‌منظور اندازه‌گیری میزان عناصر، نمونه‌های خشک‌شده کاملاً پودر و از الک ۵ میلی‌متری عبور داده شد. برای اندازه‌گیری عناصر نیتروژن و پتاسیم، از روش هضم تر استفاده شد. در این روش مواد گیاهی خشک و الک شده در مجاورت با اسیدسولفوریک آب خود را ازدست‌داده و بیشترین قسمت مواد آلی در حرارت نسبتاً بالا اکسیده گردید. عمل هضم باوجود آب‌اکسیژنه در دمای زیاد کامل شد. درنهایت، عصاره به‌دست‌آمده جهت اندازه‌گیری استفاده گردید. میزان عناصر ازت با استفاده از دستگاه کجلدال، فسفر به روش رنگ‌سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV/VIS مدل Instruments+T80 PG و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر برای هر گیاه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی

بدین‌منظور در مراحل گلدهی و همچنین در پایان آزمایش ارتفاع بوته‌ها با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری شدند. قطر ساقه نیز با استفاده از کولیس در سه‌نقطه پایین، وسط و

انتهای بوته‌ها اندازه‌گیری و میانگین سه قسمت ثبت گردید. در پایان آزمایش نیز وزن‌تر و خشک ساقه و ریشه با کمک ترازو توزین و مورد آنالیز آماری قرار گرفت.

اندازه‌گیری مقدار کلروفیل برگ

مقدار کلروفیل کل برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر مدل SPAD-502-Minolta-Japan مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری این صفت در این آزمایش پس از رشد کامل برگ‌ها و رسیدن گیاه به مرحله گلدهی میزان کلروفیل موجود در برگ‌ها اندازه‌گیری شد. بدین هدف در هر گیاه ۱۰ برگ جوان بالغ کاملاً توسعه‌یافته انتخاب و بعد مقدار کلروفیل از قسمت‌های میانی پهنک‌برگ اندازه‌گیری شد. میانگین این داده‌ها به‌عنوان داده نهایی توسط دستگاه مذکور ارائه شد.

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های حاصل، میانگین دو آزمایش با پنج تکرار می‌باشند. رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل (Excel) و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر ورمی‌کمپوست و *G. versiform* بر نشانه‌های بیماریزایی قارچ *F. oxysporum*

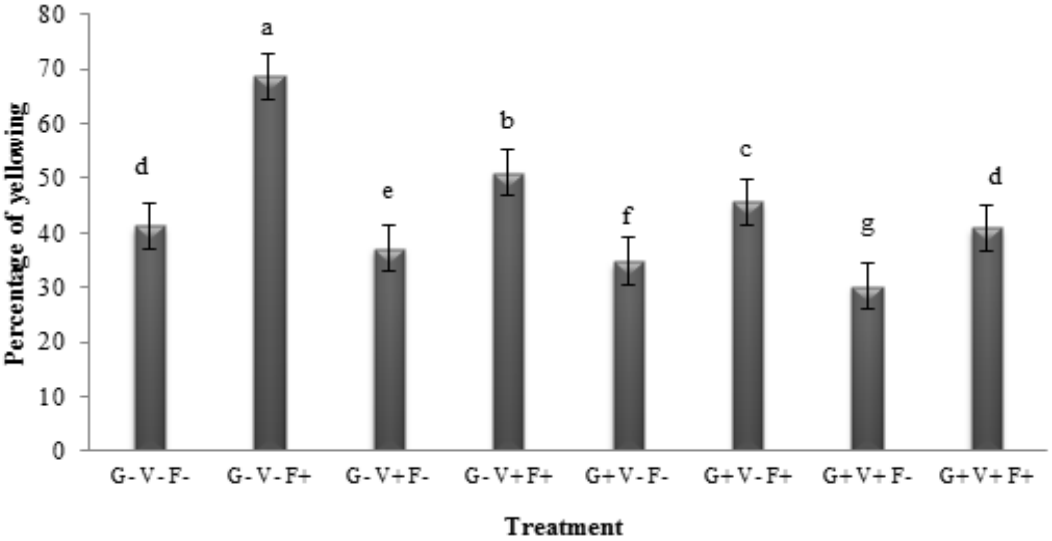
بدین‌منظور پس از گذشت ۷۰ روز از زمان آلودگی با قارچ *F. oxysporum* شاخص زردی و بیماریزایی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سه‌جانبه (میکوریز، ورمی‌کمپوست و فوزاریوم) بر شاخص زردی ازنظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. در همین راستا، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین نشانه‌های بیماری و شاخص زردی در تیمار شاهد مثبت (G- V- F+) و کمترین آن در تیمار تلقیح شده با *G. versiform* به همراه ورمی‌کمپوست (G+ V+ F-) مشاهده شد. در بین گیاهان آلوده به قارچ *F. oxysporum*، بیشترین زردی بعد از شاهد مثبت (G- V- F+) به‌ترتیب در گیاهان تیمار شده با ورمی‌کمپوست، *G. versiform* و مخلوط این دو باهم حاصل شد. نتایج نهایی نشان می‌دهد که ترکیب *G. versiform* به همراه ورمی‌کمپوست قادر به کاهش زردی برگ‌ها و نشانه‌های بیماری می‌باشد (شکل ۱).

بر اساس پژوهش‌های انجام‌گرفته تاکنون، قارچ‌های AMFs به‌واسطه کمک به افزایش جذب آب و مواد معدنی گیاهان، باعث بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش‌ها می‌شوند (Gaur & Adholeya 2004). در این تحقیق در بین گیاهان آلوده به قارچ *F. oxysporum*، تیمار کردن گیاهان با ترکیب ورمی‌کمپوست و *G. versiform* بهترین نتیجه را در کاهش زردی نشان داد که به نظر می‌رسد استقرار موفقیت‌آمیز قارچ میکوریز بر روی ریشه گیاه میزبان باعث کاهش خسارت پاتوژن شده است (Garsia-Garido & Ocampo 2002). ممکن است قارچ‌های میکوریز از طریق شبکه‌های میسلیومی گسترده در داخل بافت خاک و تشکیل هیف‌ها برای مقابله با میکروارگانیسم‌های دیگر موجود در خاک، نقش ایفا کنند (Ozgonen *et al.* 1999). یافته مهم مطالعه کنونی این است که کاربرد قارچ *G. versiform* به همراه کود ورمی‌کمپوست در شرایط آلودگی محیط با قارچ بیمارگر *F. oxysporum* توانست درصد زردی برگ‌ها را کاهش دهد به‌طوری‌که در این شاخص تفاوت معنی‌داری با شاهد غیر آلوده مشاهده نشد. در همین راستا محققین نشان دادند که آنتاگونیست‌های میکروبی موجود در منطقه اطراف ریشه با مشارکت قارچ *Glomus*، علاوه بر بهبود رشد و سلامت گیاه، توانایی بیشتری در پیشگیری و مهار بیماری دارند (Azc´on-Aguilar & Barea 1996). به‌احتمال زیاد اثرات AMFs بر روی پاتوژن‌ها به‌طور غیرمستقیم به دلیل بهبود تغذیه و یا تغییر در فیزیولوژی میزبان اتفاق می‌افتد (Dehne 1982) و همچنین تحمل گیاه در برابر حمله پاتوژن بیشتر می‌شود (Vaast *et al.* 1998). نتایج مطالعه کنونی با تحقیقات سیرفوجی و همکاران در کاربرد مخلوط *Glomus* و ورمی‌کمپوست در کنترل مؤثرتر نماتد مولد گره ریشه بر روی گیاه گوجه‌فرنگی مطابقت دارد (Serfoji *et al.* 2010). هرچند در این مطالعه کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تنهایی نیز در کاهش خسارت قارچ F. oxysporum مؤثر بود. محققین استفاده از کود ورمی‌کمپوست را جهت محافظت در مقابل پاتوژن‌ها (Singh *et al.* 2004, Zaller *et al.* 2007) و علف‌های هرز (Clive Edwards

et al. 2010) پیشنهاد کردند. در برخی موارد با کاربرد ورمی‌کمپوست ایجاد مکانیسم القای مقاومت در گیاه در برابر قارچ‌ها و نماتدها نیز گزارش‌شده است (Arancon *et al*. 2002).

اثر بستر کشت بر شاخص‌های رشدی گیاه

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بستر کشت بر شاخص‌های رشدی گیاه اثر معنی‌داری داشته است و بهترین تأثیر در بالا بردن رشد گیاه، در بستر کشت تیمار شده با ترکیب *G. versiform* و ورمی‌کمپوست ارزیابی گردید. همچنین مقایسه میانگین داده‌های شاخص رشدی بستر کشت‌های یکسان در دو سطح آلوده و غیر آلوده به قارچ *F. oxysporum* اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۱).



شکل ۱. مقایسه اثرات (G) *Glomus versiform*، ورمی‌کمپوست (V) و (F) *Fusarium oxysporum* بر شاخص زردی. (+ و – به ترتیب وجود و عدم وجود را نشان می‌دهد). حروف غیرمشترک در بالای هر ستون نشان‌دهنده معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 1. Comparison of the effect of *Glomus versiform* (G), Vermicompost (V) and *Fusarium oxysporum* (F) on yellowing index (+ and – mean the presence or absence). Non common letters at the top of each column are represented significant treatments at P< 0.01.

جدول ۱. مقایسه میانگین اثر بستر کشت (G *Glomus versiform*) و ورمی‌کمپوست (V) بر شاخص‌های رشدی گوجه‌فرنگی در شرایط آلوده و غیر آلوده به قارچ (F) *Fusarium oxysporum*

Table 1. Mean comparison of influence of growth bed including *Glomus versiform* (G) and Vermicompost (V) on tomato development parameters in case of infection and non-infection by *Fusarium oxysporum* (F)

Treatment	Fresh weight (gr)		Dry weight (gr)		Root length	Diameter (cm)		Plant height (cm)	
Growth bed	Shoot	Root	Shoot	Root	(cm)	Secondary	Primary	Secondary	Primary
Control (+F)	11 e	1.5 f	1.6 e	0.85f	12.5 f	0.37 f	0.32 e	14 e	8.5 f
+G+F	64 c	19 cd	14.3 c	3.5 d	30 d	0.62 cd	0.62 bc	41.5 c	24.5 c
+V+F	49 d	16 d	13.7 c	3.3 d	29 d	0.52 de	0.57 c	36 d	13 e
+G+V+F	78 b	21 bc	17.2 b	4.6 b	36 b	0.77 b	0.75 ab	45 b	28 b
Control (-F)	45 d	10 e	9 d	1.7 e	19 e	0.5 e	0.42 d	34 d	15 e
+G	81 b	23 b	17.3 b	4.1 c	36 b	0.75 b	0.57 c	46 b	30 b
+V	62 c	21 bc	16.2 b	4 c	34 c	0.67 bc	0.52 cd	42.5 bc	19 d
+G+V	90 a	25 a	30 a	5.4 a	43.2 a	1.1 a	0.8 a	51.2 a	46 a

واژه‌های Primary و Secondary به معنی اندازه‌گیری پس از ۲۵ و ۷۰ روز بعد از زمان آلودگی با قارچ *Fusarium oxysporum* است.

حروف غیرمشابه نشانه معنی‌دار بودن تیمارها در سطح P<۰/۰۱ است.

Primary and secondary mean 25 and 70 days after infection with *Fusarium oxysporum*. Non common letters mean significant treatments at P < 0.01.

تحقیقات انجام‌گرفته بیانگر این است که قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا می‌توانند جذب عناصر غذایی و درنتیجه رشد و وزن گیاه میزبان را افزایش دهند (Jeffries 2003). در پژوهشی، *G. mosseae* توانست وزن اندام هوایی و ریشهِ گوجه‌فرنگی و بادمجان آلوده به *Verticillium dahliae* را نسبت به شاهد آلوده افزایش دهد (Karagiannidis *et al*. 2002). سهرابی و همکاران گزارش نمودند که کاربرد قارچ میکوریز بر افزایش وزن اندام هوایی و ارتفاع ساقه گیاه نخودفرنگی آلوده به قارچ *Fusarium* مؤثر بوده است (Sohrabi *et al*. 2015). در این آزمایش کاربرد تلفیقی V+G عملکرد بهتری نسبت به کاربرد هرکدام به‌تنهایی در افزایش پارامترهای رشدی از خود نشان داده است. محققین اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست به همراه میکوریز در خاک، باعث بهبود بخشیدن شرایط خاک، فراهم کردن عناصر غذایی موردنیاز گیاه و به دنبال آن افزایش رشد، پیکره رویشی و تولید بیوماس (Anwar *et al*. 2005) و افزایش عملکرد کل محصول می‌شود (Singh *et al*. 2008, Azarmi *et al*. 2009). ورمی‌کمپوست قادر به کنترل اثرات منفی پاتوژن بر وزن‌تر و خشک اندام هوایی در گیاه توت‌فرنگی شد (Arancon *et al*. 2004). در این آزمایش طول ساقه و ریشه و نیز حجم ریشه گوجه‌فرنگی با کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت. مطالعات نشان می‌دهد که در ورمی‌کمپوست، هورمون‌های گیاهی سیتوکینین و اکسین وجود دارد و منجر به افزایش طول ساقه، ریشه و همچنین تولید انبوه ریشه‌ها می‌شوند (Selvaraj 2011). بعضی از محققان گزارش کردند وجود هورمون جیبرلین که در ورمی‌کمپوست به ثبت رسیده است باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Tomati *et al*. 1988). بررسی‌های صورت گرفته نشان داده است که اثرهای مطلوب ورمی‌کمپوست به دلیل تغییر شرایط فیزیکی، شیمیایی و خصوصیات میکروبی و بیولوژیکی محیط بستر کشت (Atiyeh *et al*. 2000) و همچنین تنظیم pH و ظرفیت معنی‌دار نگهداری آب در محیط کشت می‌باشد (Mcginnis *et al*. 2003). افزایش رشد گوجه‌فرنگی حتی در شرایط جایگزینی با میزان حداقل ورمی‌کمپوست (۵ درصد)، می‌تواند ناشی از عوامل فیزیکی و تغذیه‌ای مانند تنظیم‌کننده‌های رشد ایجادشده به‌وسیله ورمی‌کمپوست باشد (Atiyeh *et al*. 2002). زیرا تنظیم‌کننده‌های رشد در غلظت‌های کم و تحت شرایط دسترسی کامل به عناصر غذایی، فعال هستند (Atiyeh *et al*. 2000). تمامی یافته‌های مذکور با نتایج این پژوهش کاملاً سازگار است.

میزان جذب عناصر N-P-K در گیاه گوجه‌فرنگی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بستر کشت بر درصد عناصر جذب‌شده در گیاه اثر معنی‌داری دارد و بیشترین میزان عناصر از تیمار خاک با اضافه کردن پرلایت + میکوریز + ورمی‌کمپوست و کمترین آن از تیمار کنترل (خاک) به دست آمد (جدول ۲). در این آزمایش، مقدار عناصر جذب‌شده در گیاه گوجه‌فرنگی به ترتیب در گیاهان تیمار شده با V+G به‌صورت مخلوط و همچنین G و V به‌تنهایی به ثبت رسیده است. در همزیستی قارچ میکوریز با ریشه گیاه در یک پوشش گیاهی خیلی وسیع، AMFs جذب نواحی سطحی ریشه را از طریق شناسایی خاک به‌وسیله میسلیوم خارجی افزایش می‌دهد و بدین‌وسیله جذب آب و مواد غذایی در گیاه میزبان افزایش می‌یابد (Kapoor *et al*. 2008, Smith & Read 2008). افزایش محصول در گیاهان دارای میکوریز ممکن است از طریق بهبود جذب عناصر غذایی کم‌تحرک در محلول خاک نظیر فسفر، روی و مس و یا تسریع در جذب و انتقال آب در گیاهان باشد (Sheng *et al*. 2008).

جدول ۲. میانگین غلظت عناصر N-P-K جذب‌شده در گیاه گوجه‌فرنگی در بستر کشت‌های متفاوت شامل: خاک، *Glomus versiform* و ورمی‌کمپوست

Table 2. Mean comparison between element uptakes including: N-P-K in tomato plant in different growth bed including Soil (S), *Glomus versiform* (G) and Vermicompost (V)

Growth bed	% P	% K	% N
S	0.24 d	0.53 d	3.20 d
S + G	0.35 b	0.84 b	4.81 b
S + V	0.28 c	0.72 c	4.12 c
S + G + V	0.39 a	0.92 a	5.05 a

حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد است.

Non common letters mean significant treatments at P<0.01.

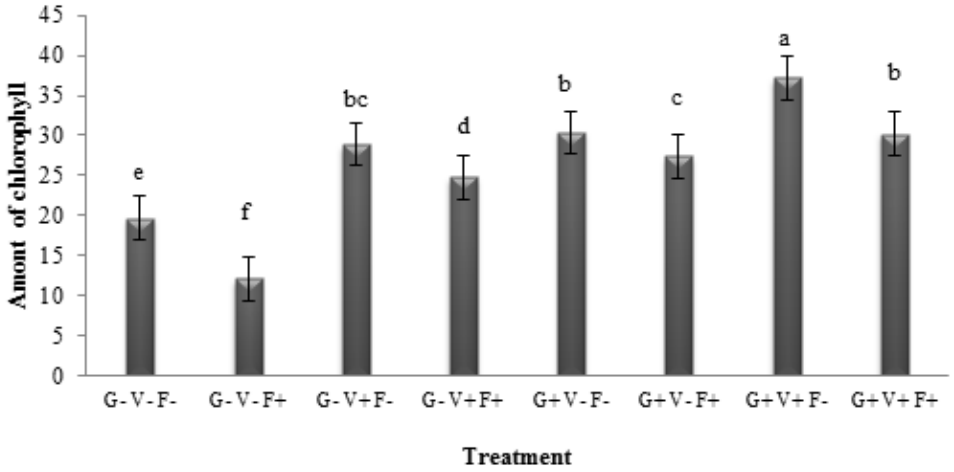
ارزیابی شاخص کلروفیل

کاربرد ترکیبات مذکور در بهبود میزان کلروفیل روی گیاه گوجه‌فرنگی مؤثر بود. ازنظر آماری مقایسه میانگین داده‌های اثرات سه‌جانبه، نشان داد بیشترین شاخص میزان کلروفیل در تیمار تلقیح شده با ترکیب میکوریز و ورمی‌کمپوست بدون آلودگی با قارچ *F. oxysporum* (G+ V+ F-) و کمترین آن در تیمار شاهد آلوده به قارچ *F. oxysporum* (G - V- F+) مشاهده‌شده است. هرچند که کاربرد تنهای *G. versiform* و ورمی‌کمپوست نیز نسبت به شاهد آلوده و غیر آلوده در میزان عدد کلروفیل برگ (قرائت‌شده با دستگاه SPAD) اختلاف معنی‌داری نشان دادند (شکل ۲).

به‌عبارت دیگر در این آزمایش کاربرد ورمی‌کمپوست و *G. versiform* در افزایش میزان کلروفیل مؤثر بود. نتایج پژوهش‌های قارچ‌های همزیست میکوریز حاکی از افزایش سطح هورمون‌های گیاهی است (Edriss 1984). با افزایش این هورمون‌ها، به‌ویژه سیتوکینین، نرخ فتوسنتز از طریق عواملی همچون باز شدن روزنه‌ها، تأثیر بر انتقال یون‌ها و تنظیم مقدار کلروفیل در گیاه بیشتر می‌شود (Johnson 1984, Tomati *et al*. 1988). مطالعات مربوط به کودهای زیستی نیز مشخص نموده است که با کاربرد این کودها تعداد برگ، فتوسنتز و تولید کربوهیدرات در گیاه افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال ورمی‌کمپوست غنی از عناصر معدنی و هورمون‌های رشد گیاهی ازجمله اکسین است که با ساختار فیزیکوشیمیایی خود قادر است اثرات مثبتی بر سیستم فتوسنتزی گیاه گوجه‌فرنگی داشته باشد (Kumar *et al*. 2010). همچنین گزارش‌شده است که ورمی‌کمپوست با تأمین مواد مغذی مانند فسفر برای گیاهان میزبان می‌تواند با افزایش سطح فتوسنتزی برگ، آسیب‌های ناشی از نماتد را جبران نماید (Gutierrez-Boem & Thomas 1998) که تمامی این یافته‌ها با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد.

ارزیابی درصد کلنیزاسیون ریشه توسط *G. versiform*

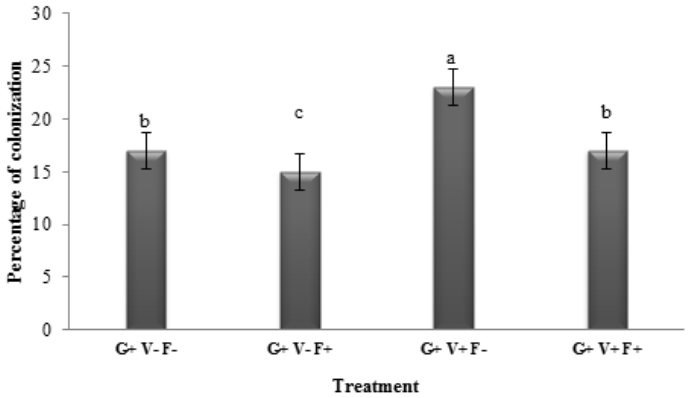
قبل از انتقال نشا برای اطمینان از کلنیزه شدن و استقرار قارچ میکوریز در سلول‌های ریشه گوجه‌فرنگی، به‌طور تصادفی چند ریشه از تیمارهای *Glomus* دار رنگ‌آمیزی و میزان کلنیزاسیون بررسی و تخمین زده شد. همچنین در پایان آزمایش ریشه‌های گیاهان گوجه‌فرنگی تیمار شده با *G. versiform*، رنگ‌آمیزی شد و درصد کلنیزه شدن قارچ مذکور در ریشه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین درصد کلنیزاسیون در بستر کاشت حاوی مخلوط *G. versiform* و ورمی‌کمپوست، در گیاه غیر آلوده به قارچ *F. oxysporum* (G+ V+ F-) و کمترین مقدار در گیاه آلوده به قارچ *F. oxysporum* با بستر حاوی *G. versiform* (G+ V- F+) مشاهده شد.



شکل ۲. تفاوت میانگین اثر(G) *Glomus versiform*، ورمی‌کمپوست(V) و(F) *Fusarium oxysporum* بر شاخص کلروفیل پس از گذشت ۷۰ روز از زمان آلودگی با بیمارگر نشان داده شده است. (+ و – به ترتیب وجود و عدم وجود را نشان می‌دهد.)

Figure 2. The average differences of efficacy of *Glomus versiform* (G), Vermicompost (V) and *Fusarium oxysporum* (F) on chlorophyll of tomato plant are shown after 70 days from infection by pathogen. (+ and – mean the presence or absence respectively).

نکته قابل‌توجه اینکه درصد کلنیزاسیون ریشه در حضور آلودگی با قارچ *F. oxysporum* کاهش یافت لذا به نظر می‌رسد قارچ *F. oxysporum* علاوه بر اثر تخریبی ریشه، در کاهش کلنیزاسیون نیز نقش مهمی داشته باشد. بنابراین در این مطالعه با افزودن ورمی‌کمپوست و *G. versiform* به‌طور همزمان به خاک، تأثیر مفید ورمی‌کمپوست در بهبود کلنیزاسیون ریشه مشخص گردید (شکل ۳). در همین راستا گزارش‌شده است که قارچ میکوریز در کاربرد ترکیبی با ورمی‌کمپوست ممکن است منابع کربن بیشتری در اختیار داشته باشد و ریشه را بهتر کلنیزه کند (Siddiqui & Akhtar 2008).



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات (G) *Glomus versiform*، ورمی‌کمپوست (V) *Fusarium oxysporum* و (F) بر درصد کلنیزاسیون ریشه. (+ و – به ترتیب وجود و عدم وجود را نشان می‌دهد). حروف غیرمشترک نشان‌دهنده معنی‌داری تیمار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 3. The average differences of efficacy of *Glomus versiform* (G), Vermicompost (V) and *Fusarium oxysporum* (F) on percentege of root colonization are shown. (+ and – mean the presence or absence respectively). Non- common letters mean significant treatments at P<0.01.

نتیجه‌گیری کلی

ازآنجایی‌که استفاده از عوامل بیولوژیک و مهار زیستی به‌تنهایی در مدیریت بیماری‌های گیاهی به میزان قابل قبولی موفق عمل نمی‌کنند لذا در این تحقیق کاربرد تلفیقی و برهم‌کنش قارچ *G. versiform* و ورمی‌کمپوست در گیاه گوجه‌فرنگی در شرایط آلوده و غیر آلوده به قارچ *F. oxysporum* نشان داد که این دو ترکیب تأثیر مثبتی در کنترل بیماری پژمردگی فوزاریومی و کاهش نشانه‌های این بیماری، افزایش شاخص رشدی گیاه و کلروفیل داشته است. همچنین میزان کلنیزه شدن ریشه توسط قارچ *G. versiform* در نبود قارچ *F. oxysporum* افزایش یافت. نتایج این مطالعه با یافته‌های پرین کاملاً مطابقت دارد (Perrin 1990). لذا قارچ‌های AMFs در صورتی ارتباط سودمندی برای گیاه دارند که ریشه‌های گیاهان قبل از تحریک و آلودگی با پاتوژن‌های دیگر، توسط قارچ *Glomus* کلنیزه شوند. البته با افزودن ورمی‌کمپوست به بستر کشت جعبه نشا، درصد کلنیزاسیون تقویت می‌شود و کارایی و عملکرد قارچ *G. versiform* در کنترل قارچ *F. oxysporum* بالا می‌رود. اما برای روشن شدن مکانیسم‌های درگیر در تعامل بین ورمی‌کمپوست، قارچ *Glomus* و عملکرد بیمارگر و نیز ماندگاری و کارایی *Glomus* در شرایط مزرعه، انجام تحقیقات بیشتری موردنیاز است. درمجموع نتایج حاصل از این تحقیق حاکی از ظرفیت بالای مخلوط *G. versiform* و ورمی‌کمپوست، در مهار زیستی *F. oxysporum* و بالا بردن صفات رشدی گیاه است که به لحاظ کاربردی مفید و بسیار امیدوارکننده می‌باشد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب سال ۱۳۹۳ با کد ۷-۹۳-۲۸۲۰ با حمایت مالی دانشگاه جیرفت می‌باشد. بدین‌وسیله نگارندگان مراتب قدردانی خود را از حامیان این طرح ابراز می‌دارند.

REFERENCES

Agrios GN (2005) Plant pathology, 4th edit. Academic Press. India, 635p.

Anwar M, Patra DD, Chand S, Alpesh K, Naqvi AA, Khanuja SPS (2005) Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1737-1746.

Arancon NQ, Edwards CA, Lee S (2002) Management of plant parasitic nematode populations by use of vermicomposts. In: Proceedings Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases, Brighton, Britain. PP. 705-716.

Arancon N.Q, Edwards CA, Bierman P, Welch C, Metzger J.D (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153.

Atiyeh RM, Edwards CA, Subler S, Metzger JD (2000) Earthworm-processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. Compost Science and Utilization 8(3): 215-223.

Atiyeh RM, Lee SS, Edwards CA, Arancon NQ, Metzger J (2002) The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth. Bioresource Technology 84: 7-14.

Auge RM, Moore JL, Cho K, Stutz JC, Sylvia DM, Al-Agley AK, Saxtom AM (2003) Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. Journal of Plant Physiology 160: 1147-1156.

Azarmi R, Torabi MG, Hajieghrari B (2009) The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse. African Journal of Biotechnology 8 (19): 4953-4957.

Azc´on-Aguilar C, Barea J M (1996) Arbuscular mycorrhizas and biological control o soil-borne plant pathogens an overview of the mechanisms involved. Mycorrhiza 6: 457-464.

Bååth E, Hayman DS (1984) No effect of VA mycorrhiza on red core disease of strawberry. Transactions of the British Mycological Society 82: 534-536.

Baby UI, Manibhushanrao K (1996) Fungal antagonists and VA mycorrhizal fungi for biocontrol of *Rhizoctonia solani*, the rice sheath blight pathogen, pp 1-9, *In*: Manibhushanrao K, Mahadevan A, (Ed.), Recent Developments in Biocontrol of Plant Pathogens. Today and Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi. pp 1-9.

Bora T, Ozaktan H, Gore E, Aslan E (2004) Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* by wettable powder formulations of the two strains of *Pseudomonas putida*. Journal of Phytopatholology 152: 471-475.

Bowen GD, Rovira AD (1999) The rhizosphere and its management to improve plant growth. Advances in Agronomy Journal 66: 1-102

Clive Edwards A. Norman Q. Arancon B. MarcusVasko-Bennett A. Ahmed Askar A. George Keeney A (2010). Effect of aqueous extracts from vermicomposts on attacks by cucumber beetles (*Acalymna vittatum* Fabr.) on cucumbers and tobacco hornworm (*Manduca sexta* L.) on tomatoes. Pedobiologia Journal 53(2): 141-148.

Dalpé Y (1993) Vesicular-arbuscular mycorrhizal, Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton. 287-301.

Dehne HW (1982) Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. Phytopathology 72: 1115-1119.

Druge U, Schonbeck F (1992) Effect of arbuscular mycorrhizal infection on transpiration, photosynthesis and growth on flax (*Linum usitatissimum* L.) in relation to cytokinin levels. Journal of Plant Physiolology 141: 40-48.

Edriss MH, Davis RM, Burger DW (1984) Influence of mycorrhizal fungi on cytokinin production in sour orange, American Society for Horticultural Science 109(4): 587-590.

Garsia-Garido JM, Ocampo JA (2002) Regulation of the plant defense response in arbuscular mycorrhzal symbiosis. Journal of Botany 53: 1373-1386.

Gaur A, Adholeya A (2004) Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Current Science 86: 528-534.

Gryndler M (2000) Interactions of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms, *In*: Kapulnik Y, Douds DD Jr (Eds.), Arbuscular mycorrhizals physiology and function. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, pp 239-262.

Gutierrez-Boem FH, Thomas GW (1998) Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. Plant and Soil 207(1): 87-96.

Hao Z, Christie P, Qin L, Wang C, Li, X (2005) Control of *Fusarium* wilt of cucumber seedlings by inoculation with an arbuscular mycorrhizal fungus. Plant nutrition journal 28: 1961-1974.

Harrier LA, Watson CA (2004) The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. Pest Management Science 60: 149-57.

Hoagland DR, Arnon DI (1950) The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.

Janisiewicz WJ, Bors B (1995) Development of a microbial community of bacterial and yeast antagonists to control wound invading postharvest pathogens of fruits. Applied and Environmental Microbiology 61: 3261-3267.

Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, Turnau K, Barea JM (2003) The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils 37(1): 1-16.

Jetiyanon K, Kloepper JW (2002) Mixtures of plant growth promoting rhizobacteria for induction of systemic resistance against multiple plant diseases. Biological Control 24: 285-291.

Johnson CR (1984) Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil 80(1): 35-42.

Kapoor R, Sharma D, Bhatnagar AK (2008) Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. Scientia Horticulturae 116(3): 227-239.

Karagiannidis N, Bletsos F, Stavropoulos N (2002) Effect of verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and Mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. Science of Horticulture 94: 145-156.

Kormanik PP, Mc-Graw AC (1982) Quantification of vesicular arbuscular mycorrhizae in plant roots, *In:* Schenk NC. (Ed.), Methods and principles of mycorrhizal research. The American Phytopathology Society, St. Paul, Minn. pp. 37-45.

Kumar Chanda G, Kumar Chakraborty GB (2010) The effect of vermicompost and other fertilizer on cultivation of tomato plants, Journal of Horticulture Forestry 3(2): 42-45.

Mcginnis M, Cooke A, Bilderback T, Lorscheider M (2003) Organic fertilizers for basil transplant production. Acta Horticulturea 491: 213-218.

Ozgonen H, Bicici M, Erkılıc A (1999) The effect of salicylic acid and endomycorrhizal fungus *Glomus etunicatum* on plant development of tomatoes and Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 25: 25-29.

Perrin R (1990) Interactions between mycorrhizae and diseases caused by soil-borne fungi. Soil Use Managent 6: 189-195.

Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction Brithish Mycology Society 55: 158-161.

Raaijmakers JM, Van der Sluis I, Koster M, Bakker PAHM, Weisbeek PJ, Schippers B (1995) Utilization of heterologous siderophores and rhizosphere competence of fluorescent *Pseudomonas* spp. Canadian Journal of Microbiology 41: 126-135.

Selvaraj A (2011) Effect of vermicompost tea on the growth and yield of tomato plants and suppression of root knot nematode in the soil. M. Sc. Dissertation, University of California.

Serfoji P, Rajeshkumar S, Selvaraj T (2010) Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato cv. Pusa Rubyby using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. Journal of Agricultural Technology 6(1): 37-45

Shaul Q, Galili S, Volpin H, Ginzberg I, Elad Y, Chet I, Kapulnik Y (1999) Mycorrhiza-induced changes in disease severity and PR protein expression in tobacco leaves. Molecular Plant-Microbe Interactions 12(11): 1000-1007.

Sheng M, Tang M, Chen H, Yang B, Zhang F, Huang Y (2008) Influence of arbuscular mycorrhiza on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. Mycorrhiza 18: 287-296

Siddiqui ZA, Akhtar MS (2008) Effects of organic wastes, *Glomus intraradices* and *Pseudomonas putida* on the growth of tomato and on the reproduction of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Phytoparasitica 36(5): 460-471.

Singh DP, Srivastava JS, Baharur A, Singh UP, Singh SK (2004) Arbuscular mycorrhizal fungi induced biochemical changes in pea (*Pisum sativum*) and their effect on powdery mildew (*Erysiphe pisi*). Journal of Plant Disease Protection 111: 266-272.

Singh R, Adholeya A, Mukerji KG (2000) Mycorrhiza in control of soil-borne pathogens, *In*: Mukerji KG, Chamola BP, Singh J (ed.), Mycorrhizal Biology. Kluwer Academic Publishers, New York. pp. 173-196.

Singh R1, Sharma RR, Kumar S, Gupta RK, Patil RT (2008) Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch). Bioresourse Technology 99(17): 8507-11.

Smith SE, Read DJ (2008) Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, San Diego, London.

Sohrabi M, Mohammadi H, Mohammadi AH (2015) Influence of AM Fungi, *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* on chickpea growth and root-rot disease caused by *Fusarium solani* f. sp. *pisi* under greenhouse conditions. Journal of Agricultural Science and Technology 17: 1919-1929.

Tomati U, Grapppelli A, Galli E (1988) The hormone like effect of earthworm casts on plant growth. Biology and Fertility of Soils 5: 288-294.

Vaast P, Caswell-Chen EP, Zasoski RJ (1998) Influences of a root-lesion nematode, *Pratylenchus coffeae*, and two arbuscular mycorrhizal fungi, *Acaulospora mallea* and *Glomous clarum*, on coffee (*Coffea arabica* L.). Biology and Fertility of Soils 26: 130-135.

Zaller JG (2007) Vermicompost as a substitute for peat in organic potting media: effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Scientia Horticulturae Journal 112: 191-199.