بررسی اثرات متقابل دو قارچ میکوریز آربوسکولار (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) و نماتود ریشه‌گرهی (*Meloidogyne javanica*) در گوجه‌فرنگی*

STUDY ON INTERACTION BETWEEN TWO ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (*Glomus mosseae* AND *Glomus intraradices*) AND ROOT-KNOT NEMATODE (*Meloidogyne javanica*) IN TOMATO

فاطمه سهرابی[1**]، علی‌اکبر فدایی تهرانی[1]، یونس رضایی دانش[2] و عبدالحسین جمالی زواره[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۴/۷)

چکیده

در این بررسی برای ارزیابی اثرات متقابل دو قارچ میکوریز آربوسکولار و نماتود ریشه‌گرهی در گوجه‌فرنگی از دو قارچ *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* و یک گونه نماتود *Meloidogyne javanica* استفاده شد. پس از تکثیر قارچ‌های مذکور روی شبدر سفید و تکثیر و شناسایی نماتود، آزمایشی با ۶ تیمار و ۹ تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. برای مطالعه اثر قارچ‌ها روی بیماری‌زایی و خسارت نماتود از شاخص‌های رشدی گیاه (ارتفاع اندام‌های هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه) و شاخص‌های رشد و نموی نماتود (تعداد گال و توده تخم روی هر گیاه، تعداد تخم در هر توده تخم، تعداد نوزاد سن دوم در خاک و فاکتور تولیدمثل *Rf=Pf/Pi*)، و برای ارزیابی اثر نماتود روی قارچ‌های میکوریز از پارامترهای رشد و نموی قارچ (تعداد اسپور و درصد کلنیزاسیون ریشه) استفاده شد. نتایج نشان داد که قارچ‌های میکوریز باعث افزایش رشد بخش‌های مختلف گیاه می‌شوند. نتایج به‌دست آمده از تجزیه آماری شاخص‌های رشد و نموی گیاه و نماتود در تیمارهای مختلف نشان داد که تأثیر قارچ‌ها روی کاهش خسارت نماتود بیش از اثر افزایشی روی رشد گیاه است. بین دو قارچ از این نظر تفاوت معنی‌داری دیده نشد. علی‌رغم کاهش شاخص‌های قارچی (تعداد اسپور در خاک و میزان کلنیزاسیون ریشه) در اثر حضور نماتود، تجزیه و تحلیل آماری شاخص‌های مذکور مؤید وجود تفاوت معنی‌دار بین آنها، در حضور و عدم حضور نماتود نبود.

واژه‌های کلیدی: نماتود ریشه‌گرهی، گوجه‌فرنگی، اثرات متقابل، همزیستی

*: بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نگارنده اول، ارایه شده به دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

**: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ma_fadaei@yahoo.com

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد و استادیاران بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار بیماری‌شناسی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

مقدمه

گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) گیاهی یک ساله از تیره بادمجانیان (Solanaceae) است. این گیاه که بومی آمریکای مرکزی و ساحل غربی آمریکای جنوبی می‌باشد دارای سطح زیر کشت بالایی در جهان می‌باشد (Richard & Emilio 2005). عوامل مختلفی باعث کاهش عملکرد گوجه‌فرنگی در مناطق مختلف تحت کشت این محصول می‌شوند. نماتودها از عوامل بیماری‌زای مهمی هستند که خسارت زیادی به تولیدات کشاورزی وارد می‌سازند. نماتودهای ریشه‌گرهی (*Meloidogyne* spp.) از مخرب‌ترین نماتودهای انگل گیاهان مختلف به‌ویژه گوجه‌فرنگی به شمار می‌روند (Chen & Robert 2003). روش‌های مختلفی برای کنترل این نماتودها استفاده می‌شود ولی در اغلب موارد کنترل آنها به دلیل دامنه میزبانی گسترده، کوتاه بودن چرخه زندگی و میزان بالای تولید مثل، با مشکلات زیادی مواجه می‌شود(Trudgill & Block 2001). برای غلبه بر این مشکلات، به خصوص آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آفت‌کش‌ها، محققان برای دست‌یابی به راه‌های مناسب‌تر کنترل، در سال‌های اخیر تحقیقات خود را متوجه استفاده از عوامل کنترل زیستی جهت مدیریت نماتودها کرده‌اند (Sharon *et al*. 2001).

ریز جانداران متنوعی نماتودهای ریشه‌گرهی را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش جمعیت آنها می‌گردند. قارچ‌های میکوریز از جمله عواملی هستند که سبب کاهش چندین بیماری گیاهی شده (Hooker *et al*. 1994; Linderman 2000; Barea *et al*. 2002) و به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم می‌توانند روی جمعیت نماتود ریشه‌گرهی اثر بگذارند. قارچ‌های میکوریز در طبیعت در تأمین نیازهای آبی و تغذیه‌ای گیاهان نقش مؤثری دارند و با افزایش جذب فسفر، آب و مواد معدنی سبب افزایش رشد و سلامتی گیاه می‌گردند (Ibijbijen *et al*. 1996; Rai 2001). برخی از این قارچ‌ها می‌توانند گیاهان را در برابر سطوح سمی فلزات سنگین حفاظت نموده و در تثبیت جامعهٔ گیاهی نیز تأثیرات مثبتی داشته باشند (Peterson *et al*. 2004). ضمناً مقاومت‌های گیاهی در اثر این دسته از قارچ‌ها نیز گزارش شده است (Elsen *et al*. 2008). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار امروزه در شاخه‌ای جداگانه به نام Glomeromycota طبقه‌بندی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین جنس‌های این گروه *Glomus* می‌باشد (Schubler *et al*. 2002). علت اصلی مهم بودن تحقیق و بررسی درباره قارچ‌های میکوریز نقش مثبتی است که این نوع همزیستی در اقتصاد کشاورزی ایفا می‌کند (Abbot & Robson 1991).

تحقیقات زیادی پیرامون اثر قارچ‌های میکوریز روی بیمارگرهای گیاهی انجام شده است (Varma 2008). بررسی‌های انجام شده در مورد روابط این عوامل همزیستی با نماتودهای انگل گیاهی خصوصاً نماتودهای ریشه‌گرهی باعث روشن شدن اهمیت آنها به‌عنوان همزیست‌های نماتود در مدیریت آنها شده است. برای مثال نتایج مطالعات *استروبل و همکاران*(Stroble *et al*. 1981) نشان‌دهنده افزایش رشد درختان هلوی آلوده به *M. incognita* در حضور دو قارچ *Gigaspora margarita* و *Glomus etunicatum* در شرایط گلخانه‌ای در مقایسه با شاهد بوده است. افزایش رشد گیاه کتان و کاهش خسارت نماتود ریشه‌گرهی *M. incognita* نیز به دلیل حضور قارچ میکوریز *Glomus* بوده است (Saleh and Sikora 1988). *جایزم و همکاران* کاهش جمعیت نماتود *M. incognita* در موز را به حضور قارچ میکوریز نسبت دادند (Jaizme *et al*. 1997).

هابت و همکاران با بررسی اثر سه گونه قارچ میکوریز *G.intraradices*، *G. mosseae* و *G. aggregatum* در کنترل نماتود پارازیت گیاهی *M. incognita* در شبدر سفید در شرایط گلخانه‌ای نشان دادند که کاهش آلودگی و خسارت نماتود از طریق کاهش تعداد گال، تعداد توده تخم و جمعیت نوزاد سن دوم در خاک بوده است (Habte *et al.* 1999). مطالعه روابط متقابل قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus coronatum* و سویه غیربیماری‌زای *Fusarium oxysporum* F0162 در کنترل نماتود *M. incognita* در گیاه گوجه‌فرنگی نشان‌دهنده تحریک رشد گیاه توسط قارچ‌های مذکور و کاهش آلودگی توسط نماتود ریشه‌گرهی بوده است (Diedhiou *et al.* 2003). افزایش رشد، جذب فسفر و عملکرد گوجه‌فرنگی و هم‌چنین کاهش تعداد گال در گیاهان مایه‌زنی شده با نماتود ریشه‌گرهی و قارچ *Glomus* نسبت به تیمارهای مایه‌زنی شده با نماتود بدون حضور قارچ میکوریز به تأثیر مثبت قارچ میکوریز نسبت داده شده است (Shreenivas *et al.* 2006).

زکی و همکاران با آزمایش‌های گلخانه‌ای تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار *Glomus mosseae* و *Gigaspora margarita* را در کاهش رشد و تکثیر نماتود *M. incognita* و هم‌چنین افزایش رشد گیاه گوجه‌فرنگی و کاهش تعداد گال و رشد و تکثیر نماتود مؤثر دانستند (Zaki *et al.* 2007). در آزمایشات با قارچ میکوریز آربوسکولار *G. intraradices* و قارچ همستیز *Paecilomyces lilacinus* جهت کنترل نماتود *M. incognita* درگوجه‌فرنگی نیز نتایج مشابهی به‌دست آمده است (Rumbos *et al.* 2009). بررسی امکان وجود آثار متقابل بین دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار با نماتود ریشه‌گرهی و چگونگی بروز آثار آنها روی بیماری‌زایی نماتود و یا کاهش خسارت گوجه‌فرنگی از اهداف اصلی این تحقیق هستند.

روش بررسی

شناسایی و تهیه مایه تلقیح نماتود ریشه‌گرهی

به منظور تهیه مایه تلقیح نماتود، تعدادی نمونه خاک و ریشه از مزارع آلوده گوجه‌فرنگی استان اصفهان و چهار محال و بختیاری جمع‌آوری گردید. در آزمایشگاه با مشاهده ریشه‌های شسته شده در زیر میکروسکوپ، تک توده تخم‌هایی از گال‌های ریشه انتخاب و جهت تکثیر و تهیه جمعیت خالص نماتود در نزدیکی ریشه نشاهای گوجه‌فرنگی ۲ تا ۴ برگی رقم حساس روتگرز (Rutgers) قرار داده شدند. نماتودهای ماده تولیدکننده توده‌های تخم مذکور با سوزن از گال‌ها خارج و جهت شناسایی از انتهای بدن آنها برش تهیه گردید. نشاهای تلقیح شده به مدت ۶۰ روز در شرایط مساعد گلخانه (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) برای تکثیر نماتود نگهداری شدند. از این گیاهان در تکثیرهای بعدی نیز استفاده شد. از انتهای بدن نماتودهای ماده بالغ مجدداً برش تهیه و الگوی شبکه کوتیکولی انتهای بدن جهت شناسایی مورد بررسی قرار گرفت (Taylor & Netscher 1974). از سایر مشخصات ریخت‌شناسی و ریخت‌سنجی این ماده‌ها و نیز مشخصات مذکور در نوزادان سن دوم (J_2) برای تکمیل شناسایی استفاده گردید.

تهیه مایه تلقیح قارچ‌های میکوریز آربوسکولار

در این تحقیق از دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus mosseae* (Nicol. & Gerd) Gerdemann & Trapp و *Glomus intraradices* Shenck & Smith (اهدایی از دانشگاه ارومیه) استفاده گردید. جهت تهیه مایه

تلقیح قارچ‌های مذکور از روش کشت گلدانی تله (Trap Culture) با استفاده از شبدرسفید (*Trifolium subterraneum*) به‌عنوان گیاه تله استفاده شد (Roserwarne *et al.* 1997). بدین ترتیب که ابتدا بذرهای ضدعفونی شده با هیپوکلریت سدیم ۱۰٪ تجاری به مدت ۲ دقیقه در تشتک‌های سترون مرطوب کشت شدند. دو روز بعد از تندش، بذرهای مذکور به گلدان‌های حاوی مایه تلقیح قارچ میکوریز خالص به نسبت ۱۵٪ در ماسه سترون منتقل و جهت تکثیر به مدت ۴ ماه در شرایط مطلوب گلخانه (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۳۰٪) نگهداری شدند. طی این مدت از محلول‌های غذایی مکمل بدون فسفر هوگلند (محلول نیترات کلسیم، نیترات پتاسیم، سولفات منیزیم، Fe EDTA و عناصر میکرو) جهت تغذیه گیاهان استفاده شد (رضایی دانش و همکاران، ۱۳۸۶). قبل از برداشت مایه تلقیح، به منظور ایجاد تنش برای تحریک قارچ به اسپورزایی بیشتر، بخش‌های هوایی و سبز گیاهان قطع و گلدان‌ها به مدت یک ماه در شرایط خشک نگهداری شدند (Menge *et al.* 1984). به منظور اطمینان از خلوص قارچ‌ها و کلنیزه شدن ریشه‌ها، رنگ‌آمیزی ریشه‌ها انجام (Phillips & Hayman 1970) و بررسی میکروسکوپی جهت مشاهده اندام‌های مختلف قارچ (وزیکول، آربوسکول و اسپور) صورت گرفت. هم‌چنین برای برآورد میزان تولید اسپور، جداسازی اسپور به روش شستشو توسط الک و سانتریفوژ در محلول سوکروز ۵۵٪ انجام شد (Jenkins 1964).

بررسی آثار متقابل قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و نماتود ریشه‌گرهی در گوجه‌فرنگی

به منظور بررسی آثار قارچ‌های میکوریز روی جمعیت نماتود ریشه‌گرهی و میزان خسارت آن روی گوجه‌فرنگی آزمایشی با ۶ تیمار و ۹ تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتور قارچ میکوریز با ۳ سطح (بدون قارچ میکوریز، گونه قارچی *G. mosseae* و گونه قارچی *G. intraradices*) و فاکتور نماتود ریشه‌گرهی (*M. javanica*) با ۲ سطح (جمعیت صفر و ۵۰۰۰ تخم و نوزاد در کیلوگرم بستر گیاه) فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش بودند. ابتدا بذر گوجه‌فرنگی رقم فلات درون ماسه سترون کشت گردید (از محلول غذایی هوگلند برای تأمین مواد غذایی استفاده شد). سپس نشاهای یکنواخت ۴ برگی به گلدان‌های حاوی حدود یک و نیم کیلو ماسه سترون منتقل گردید. ۱۵٪ بستر تیمارهای حاوی قارچ‌های میکوریز را مایه تلقیح (۲۵-۲۰ اسپور در هر گرم) تشکیل می‌داد. پس از گذشت ۴ هفته و اطمینان از کلنیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ، جمعیت ۵۰۰۰ تخم و نوزاد سن دوم نماتود به تیمارها اضافه گردید (Hussey & Barker 1973).

گلدان‌ها در گلخانه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۳۰٪ به مدت ۶۰ روز نگهداری شدند. برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاهان از محلول غذایی (هوگلند) بدون فسفر همراه با آب آبیاری استفاده شد. در پایان شاخص‌های رشد و نموی گیاه (متوسط ارتفاع اندام‌های هوایی، طول ریشه، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه) و شاخص رشد و نموی نماتود (متوسط تعداد گال و توده تخم در ریشه گیاه، تعداد تخم در هر توده تخم و تعداد نوزاد سن دوم در خاک) اندازه‌گیری و به کمک نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. برای بررسی آثار نماتود روی قارچ‌های میکوریز نیز، پارامترهای رشد و نموی قارچ‌های میکوریز همچون تعداد اسپور و درصد کلنیزاسیون ریشه طبق روش استاندارد

(Trouvelot *et al.* 1986) محاسبه و به کمک نرم‌افزار آماری تجزیه و تحلیل شد. مقایسه میانگین تیمارها در تمام حالات توسط آزمون LSD صورت گرفت.

نتایج و بحث

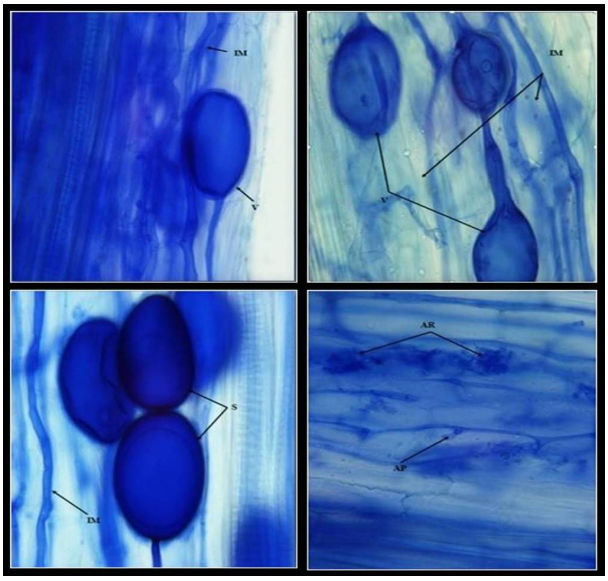
شناسایی نماتود

با مشاهده الگوی شبکه کوتیکولی انتهای بدن نماتود ماده و مقایسه آن با شرح گونه‌های مختلف جنس *Meloidogyne*، گونه نماتود *M. javanica* تشخیص داده شد. بررسی میکروسکوپی نمونه ریشه‌های شبدر اندام‌های مختلف قارچ‌های میکوریز شامل اسپور، وزیکول، آربوسکول، هیف‌های درون ریشه‌ای و اپرسوریوم در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده گردید که حاکی از کلنیزاسیون ریشه‌ها و تکثیر مناسب گونه‌های قارچی به‌عنوان مایه تلقیح بود (شکل ۱).

تأثیر دو قارچ میکوریز آربوسکولار روی گیاه و بیماری‌زایی نماتود ریشه‌گرهی

تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و نموی گیاهان تیمارهای مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در بین آنها بود. ولی این اختلاف بین تیمارهای مختلف و شاخص‌های مختلف یکسان نبود. بدین صورت که با وجود معنی‌دار شدن ارتفاع گیاهان تیمارهای مختلف، تفاوت میانگین رشد بین گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز نسبت به شاهد (بدون میکوریز) معنی‌دار نبود. گیاهان مایه‌زنی شده با نماتود با کمترین میانگین رشد، با شاهد (بدون نماتود) اختلاف معنی‌دار نشان دادند. ولی حضور قارچ میکوریز باعث به حداقل رسیدن میزان کاهش رشد در اثر نماتود گردید. میانگین ارتفاع گیاهان تلقیح شده با هر دو عامل (قارچ میکوریز و نماتود) اگر چه با شاهد (بدون میکوریز و نماتود) تفاوت معنی‌دار نداشت ولی در مقایسه با وجود هر یک از این عوامل به تنهایی، تفاوت معنی‌دار نشان دادند. به عبارت دیگر حضور قارچ‌های میکوریز باعث کاهش خسارت نماتود شده بود. بین دو گونه قارچ از این نظر اختلافی دیده نشد (جدول۲). این نتایج ضمن مطابقت با نتایج دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه، مؤید این موضوع می‌باشد که احتمالاً بیشترین تأثیر مثبت قارچ روی نماتود مربوط به رقابت مستقیم آن است (Carling *et al*. 1989; Waceke *et al*. 2001; Castillo *et al*. 2006; Rumbos *et al.* 2009).

نتایج تجزیه واریانس طول ریشه نیز تقریباً روندی مشابه با مقایسات ارتفاع گیاهان نشان داد. مقایسه میانگین طول ریشه تیمارهای مختلف نشان‌دهنده توسعه بیشتر ریشه در تیمارهای کلنیزه شده با قارچ‌های میکوریز نسبت به تیمارهای دیگر بود. به‌طوری‌که با وجود کاهش معنی‌دار رشد ریشه در اثر وجود نماتود در مقایسه با شاهد، تفاوت معنی‌داری بین طول ریشه گیاهان تیمار شده با نماتود در حضور قارچ‌های میکوریز با گیاهان شاهد مشاهده نشد. به‌عبارت دیگر حضور قارچ میکوریز مانع کاهش رشد توسط نماتود شده بود، به‌طوری‌که میانگین طول ریشه در تیمارها در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده با نماتود بدون حضور قارچ‌های میکوریز تفاوت معنی‌دار نشان دادند (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام‌های هوایی نیز مشابه با طول ریشه و ساقه بود. بدین صورت که وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در اثر تلقیح گیاهان با نماتود نسبت به شاهد و تیمارهای میکوریز کاهش معنی‌دار نشان داد و با نتایج تحقیقات قبلی مطابقت داشت (Shreenivasa *et al*. 2006; Habte *et al.* 1999)



شکل ۱. اندام‌های قارچی مشاهده شده (*G. mosseae*) پس از رنگ‌آمیزی ریشه‌های شبدر(۴۰۰×). V: وزیکول، IM: هیف‌های درون ریشه‌ای، S: اسپور، AR: آربوسکول، AP: اپرسوریوم

Fig. 1. Observed fungus organs (*G. mosseae*) after stained of clover roots (400x). V: Vesicule, IM: Internal mycellium, S: Spore, AR: Arbuscule, AP: Appressorium.

جدول ۱. مقایسه میانگین شاخص‌های رشدی گوجه‌فرنگی در تیمارهای مختلف مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* و نماتود ریشه‌گرهی *Meloidogyne javanica* و شاهد در شرایط گلخانه

Table 1. Comparison mean of tomato growth indices in different treatments inoculated with mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices)* and root-knot nematode and control treatment (*Meloidogyne javanica)* in greenhouse conditions

تیمار Treatment	طول ساقه (سانتی‌متر) Shoot length (cm)	وزن تر ساقه (گرم) Shoot fresh weight (g)	وزن خشک ساقه (گرم) Shoot dry weight (g)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	وزن تر ریشه (گرم) Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)
Control	39.55 ^{abc}	19.11 ^{ab}	1.82 ^{b}	15.55 ^{abc}	8.28 ^{b}	0.82 ^{b}
G. mosseae	46.11 ^{a}	23.91 ^{a}	2.71 ^{a}	16.44 ^{ab}	10.62 ^{a}	1.16 ^{a}
G. intraradices	43.66 ^{ab}	21.72 ^{ab}	2.27 ^{ab}	18 ^{a}	10.38 ^{ab}	0.96 ^{ab}
G. mosseae+M. javanica	37.77 ^{bc}	18.51 ^{ab}	1.87 ^{b}	12.77 ^{c}	8.75 ^{ab}	0.87 ^{b}
G. intraradices+ M. javanica	36 ^{c}	17.07 ^{b}	1.79 ^{b}	14.11 ^{bc}	8.36 ^{b}	0.74 ^{b}
M. javanica	19.77 ^{d}	9.13 ^{c}	0.93 ^{c}	6.55 ^{d}	3.72 ^{c}	0.36 ^{c}

با استفاده از آزمون LSD میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند، هر تیمار نیز میانگین نه تکرار می‌باشد.

Values followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P=0.01, n= 9)

درحالی‌که نماتود در حضور قارچ‌های میکوریز، با آن‌که باعث کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی شد، ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۱). هر چند نتایج برخی مطالعات مؤید افزایش وزن تازه ریشه در اثر حمله نماتود ریشه‌گرهی به‌دلیل تشکیل گال بوده است (Oyekanmi *et al*. 2007) ولی در این بررسی به‌دلیل این‌که بستر ریشه را ماسه تشکیل می‌داد و مواد غذایی به‌صورت دوره‌ای به آن اضافه می‌شد، حمله نماتود به ریشه باعث تخریب زیاد ریشه و کاهش معنی‌دار وزن آن نسبت به گیاهان شاهد و میکوریزایی شد. کلنیزه شدن ریشه گیاهان با قارچ‌های میکوریز باعث کاهش تخریب ریشه توسط نماتود شد به‌طوری‌که هر چند وزن تر ریشه در تیمارهای نماتود همراه قارچ میکوریز، کمتر از تیمارهای میکوریز به تنهایی بود ولی این اختلاف معنی‌دار نبود. میانگین‌های مربوط به تأثیر دو گونه قارچ نیز تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. این نتایج با تفاوت اندک در مورد وزن خشک ریشه نیز دیده شد. با این اختلاف که تفاوت میانگین وزن خشک ریشه در تیمار با گونه *G. mosseae* با شاهد (بدون میکوریز) معنی‌دار بود. به‌عبارت دیگر قارچ میکوریز با بالا بردن جذب عناصر غذایی و رشد بیشتر، باعث افزایش وزن خشک ریشه شده بود. این نتایج با تحقیقات قبلی مطابقت دارد (Suresh *et al*. 1985).

اثر قارچ‌های میکوریز *G. mosseae* و *G. intraradices* در کاهش آلودگی گیاه گوجه‌فرنگی آلوده به نماتود

بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریز بر شاخص‌های رشد و نموی نماتود (تعداد گال، توده تخم، تعداد تخم در هر توده تخم، فاکتور تولیدمثل و تعداد نوزاد سن دوم) نشان‌دهنده مؤثر بودن حضور قارچ‌های میکوریز بر شاخص‌های مذکور بود. بدین صورت متوسط تعداد گال در ریشه گیاهان میکوریزایی همراه با نماتود در مقایسه با گیاهان مایه‌زنی شده با نماتود تفاوت معنی‌داری نشان داد. ولی بین دو گونه قارچ از این نظر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این نتایج با مشاهدات *سیکورا و شونبک* و نیز *آتیلانتو و همکاران* (Sikora & Schoenbeck 1975; Atilanto 1981) مطابقت داشت. مقایسه میانگین تعداد تخم در هر توده تخم و تعداد تخم در تیمار نیز نتایج مشابهی نشان داد که با تحقیقات اخیر روی گیاهان دیگر هم‌خوانی داشت (Zhang & Christie 2008; Mahaveer *et al*. 1994; Sundarabu *et al*. 1993). متوسط جمعیت نوزاد سن دوم در بستر تیمارهای میکوریزایی همراه با نماتود نیز با تیمارهای بدون میکوریز اختلاف معنی‌دار نشان دادند (جدول ۲).

اثر نماتود ریشه‌گرهی روی قارچ‌های میکوریز

تجزیه و تحلیل شاخص‌های رشد و نموی قارچ‌های میکوریز در تیمارهای مختلف به‌طورکلی نشان‌دهندهٔ تأثیر کم حضور نماتود ریشه‌گرهی روی کمیت و کیفیت همزیستی گیاه و میکوریز بود. به نحوی که اگر چه تعداد اسپور در فرا ریشه گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ و نماتود بیشتر بود اما این اختلاف اندک و از نظر آماری معنی‌دار نبود. به عبارت دیگر حضور نماتود کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعداد اسپور قارچ‌های میکوریز ایجاد نکرد. *شرینی‌واسا و همکاران* (Shreenivasa *et al.* 2006) نیز در مطالعه اثرات متقابل نماتود ریشه‌گرهی و قارچ‌های میکوریز نتیجه مشابهی گرفته بودند. نتایج به‌دست آمده از مقایسه درصد کلنیزاسیون ریشه توسط دو گونه *G. mosseae* و *G. intraradices* نشان داد با وجود آن‌که میزان کلنیزاسیون ریشه در گیاهان

جدول ۲. مقایسه میانگین شاخص رشد و نموی نماتود ریشه‌گرهی (*Meloidogyne javanica*) در گوجه‌فرنگی‌های مایه‌زنی شده و مایه‌زنی نشده با قارچ‌های‌میکوریز (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) در شرایط گلخانه

Table 2. Comparison mean of gowth and developmental parameters of root- knot nematode (*Meloidogyne javanica)* on tomatoes inoculated and non-inoculated with mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) in greenhouse conditions

تیمار Treatment	تعداد گال در یک گرم ریشه No. gall/1 gr root	تعداد تخم در یک گرم ریشه No. eggs mass/1gr root	تعداد تخم در داخل توده تخم No. eggs/egg mass	تعداد لارو سن ۲ در ۱۰۰ گرم خاک No. J2 n/100gr soil	شاخص تولید مثل Reproductive factor (RF)
M. javanica	58.66 [a]	57.66 [a]	251.33 [a]	257.56 [a]	13.12 [a]
G. mosseae+ M.javanica	30.88 [b]	30.88 [b]	191.44 [b]	164 [b]	12.47 [a]
G. intraradices+ M. javanica	39.33 [b]	39.33 [b]	175.44 [b]	158 [b]	10.09 [a]

RF: نسبت جمعیت نهایی به جمعیت اولیه نماتود $Rf = \frac{Pf}{Pi}$

با استفاده از آزمون LSD میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند، هر تیمار نیز میانگین نه تکرار می‌باشد.

Values followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P=0.01, n= 9)

جدول ۳. میانگین تعداد اسپور در خاک و میزان کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های میکوریز در گوجه‌فرنگی‌های مایه‌زنی شده و مایه‌زنی نشده با نماتود ریشه‌گرهی (*M*eloidogyne *javanica*) در شرایط گلخانه

Table 3. Mean of spore numbers in soil and rate of root colonization by mycorrhizal fungi in tomatoes inoculated and non-inoculated with root- knot nematode (*Meloidogyne javanica)* in greenhouse conditions

تیمار Treatment	تعداد اسپور در ۱۰۰ گرم خاک No. spore/100gr soil	درصد کلنیزاسیون Colonization (٪)
G. mosseae	229.88 [a]	69.33 [a]
G. mosseae+M. javanica	204.88 [a]	58 [ab]
G. intraradices	214.22 [a]	66.55 [ab]
G. intraradices+M. javanica	192 [a]	55.22 [b]

با استفاده از آزمون LSD میانگین‌های با حروف مشابه در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند، هر تیمار نیز میانگین نه تکرار می‌باشد.

Values followed by the same letter are not significantly different using LSD test (P=0.01, n= 9)

میکوریزایی مایه‌زنی شده با نماتود کمتر از گیاهان غیر آلوده با نماتود بود ولی این تفاوت معنی‌دار نبود. بین دو گونه قارچ نیز از این نظر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). با توجه به نحوه فعالیت نماتود و قارچ و آثار متقابل آنها در ارتباط با گیاه و نیز نتایج حاصل از این بررسی و نتایج آزمایش‌های مشابه (Bagyaraj *et al*. 1979; Stroble *et al*. 1981; Siddiqui and mahmood 1998; Forge *et al.* 2001; Waceke *et*

(*al*. 2001، قارچ‌های میکوریز آربوسکولار قادر به محدود کردن بیماری‌زایی نماتود ریشه‌گرهی و کاهش خسارت نماتود می‌باشند. بنابراین امکان موفقیت در استفاده از آنها به‌عنوان عوامل کنترل زیستی نماتود ریشه‌گرهی بالا می‌باشد (Sasser and Freckman 1987; Williamson 1998; Varma 2008). بخشی از کاهش خسارت نماتود در اثر حضور قارچ میکوریز را می‌توان به افزایش رشد گیاه به دلیل جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر (Smith & Read 1997; Ozgonen *et al*. 1999) و افزایش فتوسنتز(Auge 2001) نسبت داد. بخش عمده کاهش بیماری‌زایی نماتود روی گیاه می‌تواند به‌دلیل تحریک سیستم دفاعی گیاه توسط قارچ از طریق مکانیسم‌های مختلف باشد. نقش چندین ژن و فرآورده پروتئینی در واکنش دفاعی گیاهان در همزیستی میکوریزایی مشخص شده است (Harrier & Watson 2004). این ژن‌ها در تولید فیتوآلکسین‌ها، بتا ۱و۳ گلوکاناز،کیتیناز و PR پروتئین‌ها نقش دارند افزایش فنیل آلانین و سرین در گیاهان مایه‌زنی شده با میکوریز نیز گزارش شده است (Pozo *et al.* 1999; Ruiz *et al.* 1999; Salzer *et al*. 2000). بخش دیگری از کاهش بیماری‌زایی نماتود می‌تواند مربوط به حفاظت مستقیم ریشه توسط قارچ میکوریز و یا رقابت برای اشغال محل‌های تغذیه و استقرار باشد (Francl 1993; Hol and Cook 2005).

منابع

جهت ملاحظه به صفحات (134- 131) متن انگلیسی مراجعه شود.