

بررسی اثرات متقابل دو قارچ میکوریز آربوسکولار

(*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*)

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^{**۱}، علی‌اکبر فدایی تهرانی^۱، یونس رضایی دانش^۲ و عبدالحسین جمالی زواره^۱

(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 intraradices* و *Glomus mosseae* 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 به صورت 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 نمو نماتود (تعداد گال و توده تخم روی هر گیاه، تعداد تخم در هر توده تخم، تعداد نوزاد سن دوم در خاک و فاکتور تولیدمثل $Rf=Pi/Pi$)، برای ارزیابی اثر نماتود روی قارچ‌های میکوریز از پارامترهای رشد و نمو قارچ (تعداد اسپور و درصد کلنیزاسیون ریشه) استفاده شد. نتایج نشان داد که قارچ‌های میکوریز باعث افزایش رشد بخش‌های مختلف گیاه می‌شوند. نتایج به دست آمده از تجزیه آماری شاخص‌های رشد و نمو 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، ارائه 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 به‌شمار می‌روند (Chen, Robert & 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 جامعه 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 بیماری‌گرهای 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 هل‌سوی 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). جایزیم و همکاران کاهش جمعیت نماتود *M. incognita* در موز را به حضور قارچ میکوریز نسبت دادند (Jaizme et al. 1997).

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 (J₂) 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

هابت و همکاران با بررسی اثر سه گونه قارچ میکوریز *G. aggregatum* و *G. mosseae*، *G. intraradices* 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* در گوجه‌فرنگی 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 ریشه‌گرهی و میزان خسارت آن روی گوجه‌فرنگی آزمایشی با ۶ تیمار و ۹ تکرار به صورت 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

تلقیح قارچ‌های مذکور از روش کشت گلدانی تله (Trap Culture) با استفاده از شبدر سفید (*Trifolium subterraneum*) به‌عنوان گیاه تله استفاده شد (Rosserwarne 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 نترات کلسیم، نترات 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

عامل (قارچ میکوریز و نامتود) اگر چه با شاهد (بدون میکوریز و نامتود) تفاوت معنی دار نداشت ولی در مقایسه با وجود هر یک از این عوامل به تنهایی، تفاوت معنی دار نشان دادند. به عبارت دیگر حضور قارچ‌های میکوریز باعث کاهش خسارت نامتود شده بود. بین دو گونه قارچ از این نظر اختلافی دیده نشد (جدول ۲). این نتایج ضمن مطابقت با نتایج دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه، مؤید این موضوع می‌باشد که احتمالاً بیشترین تأثیر مثبت قارچ روی نامتود 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. به طوری که با وجود کاهش معنی دار رشد ریشه در اثر وجود نامتود در مقایسه با شاهد، تفاوت معنی داری بین طول ریشه گیاهان تیمار شده با نامتود در حضور قارچ‌های میکوریز با گیاهان شاهد مشاهده نشد. به عبارت دیگر حضور قارچ میکوریز مانع کاهش رشد توسط نامتود شده بود، به طوری که میانگین طول ریشه در تیمارها در مقایسه با تیمارهای مایه‌زنی شده با نامتود بدون حضور قارچ‌های میکوریز تفاوت معنی دار 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 نامتود نسبت به شاهد و تیمارهای میکوریز کاهش معنی دار نشان داد و با نتایج تحقیقات قبلی مطابقت داشت (Shreenivasa *et al.* 2006; Habte *et al.* 1999).

(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

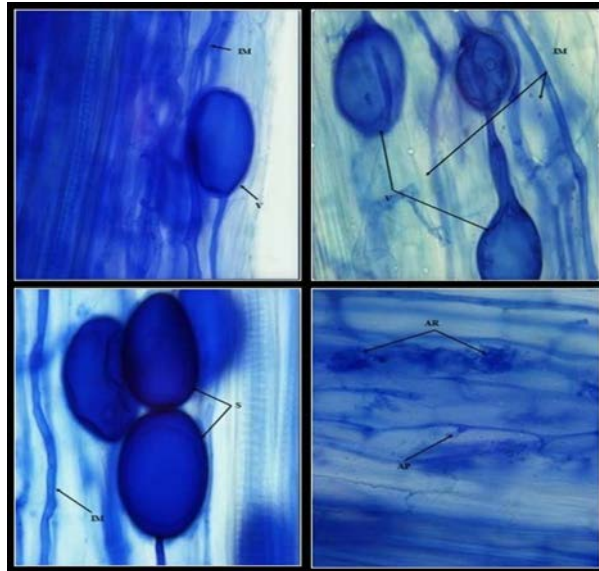
شناسایی نامتود

با مشاهده الگوی شبکه کوتیکولی انتهای بدن نامتود ماده و مقایسه آن با شرح گونه‌های مختلف جنس *Meloidogyne*، گونه نامتود *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 نامتود ریشه‌گرهی

تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و نمو گیاهان تیمارهای مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی دار در بین آنها بود. ولی این اختلاف بین تیمارهای مختلف و شاخص‌های مختلف یکسان نبود. بدین صورت که با وجود معنی دار شدن ارتفاع گیاهان تیمارهای مختلف، تفاوت میانگین رشد بین گیاهان مایه‌زنی شده با قارچ‌های میکوریز نسبت به شاهد (بدون میکوریز) معنی دار نبود. گیاهان مایه‌زنی شده با نامتود با کمترین میانگین رشد، با شاهد (بدون نامتود) اختلاف معنی دار نشان دادند. ولی حضور قارچ میکوریز باعث به حداقل رسیدن میزان کاهش رشد در اثر نامتود گردید. میانگین ارتفاع گیاهان تلقیح شده با هر دو



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

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 شونیک و نیز آتیلانتو و همکاران (Sikora & Schoenbeck 1975; Atilanto 1981) 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 نمو قارچ‌های میکوریز در تیمارهای مختلف به‌طور کلی نشان‌دهنده 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. شترینی‌واسا 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. intraradices* و *G. mosseae* نشان داد با وجود آن‌که میزان کلنیزاسیون ریشه در گیاهان

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 به دلیل تشکیل گال بوده است (Oyekanmi et al. 2007) ولی در این بررسی به دلیل این‌که بستر ریشه را ماسه تشکیل می‌داد و مواد غذایی به صورت 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 به طوری که 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. به عبارت 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 نمو نماتود (تعداد گال، توده تخم، تعداد تخم در هر توده تخم، فاکتور تولیدمثل و تعداد نوزاد سن دوم) نشان‌دهنده مؤثر

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

Table 2. Comparison mean of growth 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)
<i>M. javanica</i>	58.66 ^a	57.66 ^a	251.33 ^a	257.56 ^a	13.12 ^a
<i>G. mosseae</i> + <i>M. javanica</i>	30.88 ^b	30.88 ^b	191.44 ^b	164 ^b	12.47 ^a
<i>G. intraradices</i> + <i>M. javanica</i>	39.33 ^b	39.33 ^b	175.44 ^b	158 ^b	10.09 ^a

$$RF = \frac{Pf}{Pi}$$

RF: نسبت جمعیت نهایی به جمعیت اولیه نماتود

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 (*Meloidogyne 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 (%)
<i>G. mosseae</i>	229.88 ^a	69.33 ^a
<i>G. mosseae</i> + <i>M. javanica</i>	204.88 ^a	58 ^{ab}
<i>G. intraradices</i>	214.22 ^a	66.55 ^{ab}
<i>G. intraradices</i> + <i>M. javanica</i>	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*

شده است (Harrier & Watson 2004). این ژن‌ها در تولید فیتوآلکسین‌ها، بتا ۱ و ۳ گلوکاناز، کیتیناز و PR پروتئین‌ها نقش دارند. افزایش فنیل آلانین و سرین در گیاهان میه‌زنی شده با میکوریز نیز گزارش شده است (Poza *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 (Francel 1993; Hol and Cook 2005).

منابع

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

(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 به دلیل 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