نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۴۷-۴۳۵

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 435-447

ارزیابی اثر دوگونه میکوریزا و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر (*Allium sativum* L.) در یک نظام زراعی اکولوژیک

پرویز رضوانی‌مقدم[1*]- محمد بهزاد امیری[2]- علی نوروزیان[3]- حمیدرضا احیایی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۱۶

چکیده

در سال‌های اخیر همواره استفاده از نهاده‌های بیولوژیک به‌عنوان یکی از راهکارهای اساسی در جهت توسعه پایدار محصولات زراعی و به‌ویژه گیاهان دارویی مطرح بوده‌اند. به‌منظور بررسی اثر گونه‌های مختلف میکوریزا و کود زیستی نیتروکسین بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر آزمایشی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل گونه‌های مختلف میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و شاهد بدون میکوریزا) و کود زیستی (کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین (دارای باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.)) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تلقیح با دو گونه میکوریزا صفات مورد مطالعه را نسبت به شاهد افزایش دادند. وزن سوخ در بوته به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا قرار گرفت، به‌طوری‌که گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* وزن سوخ در بوته را به‌ترتیب ۴۸ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. تلقیح با نیتروکسین به‌طور معنی‌داری بر طول و قطر سوخک تأثیر داشت، به‌طوری‌که به‌ترتیب باعث افزایش ۱۳ و ۸ درصدی طول و قطر سوخک نسبت به شاهد شد. با توجه به نتایج آزمایش، تلقیح با *Glomus mosseae* در تلقیح و عدم‌تلقیح با نیتروکسین، در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر تیمارها برتر بود. اثر متقابل تلقیح نیتروکسین و گونه‌های مختلف میکوریزا بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. نیتروکسین اثر تمامی گونه‌های میکوریزای مورد مطالعه را در مقایسه با شرایطی که این میکوریزاها به تنهایی به‌کار رفتند تشدید کرد. بیشترین (۴۳۰۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۶۶۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد اقتصادی به‌ترتیب در تیمارهای تلقیح *Glomus mosseae* توأم با تلقیح نیتروکسین و عدم میکوریزا + عدم تلقیح نیتروکسین به‌دست آمد. به‌طور کلی با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد می‌توان با استفاده از نهاده‌های بیولوژیک ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آنها، پایداری تولید را در درازمدت حفظ نمود.

واژه‌های کلیدی: حجم سوخ، عملکرد زیستی، عملکرد سوخ، کود بیولوژیک

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) گیاهی بومی مناطق مرکزی آسیا است، که دارای دامنه وسیعی از تنوع در مورفولوژی و تولیدمثل است (۳۸). از این گیاه به‌طور وسیعی در آشپزی به‌عنوان مکمل و طعم‌دهنده گوشت استفاده می‌شود (۴۲). سیر برای درمان بسیاری از بیماری‌ها به‌ویژه بیماری‌های قلبی‌عروقی و سرطان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷). از دیگر خواص دارویی سیر می‌توان به تنظیم سطوح لیپید پلاسما و اثرات ضد مسمومیتی، ضد باکتریایی و ضد دیابتی آن اشاره کرد (۱ و ۳۹).

در دهه‌های اخیر، استفاده از ریزموجودات همزیست با گیاهان به‌عنوان سیستمی کم‌نهاده توسعه یافته است، به‌طوری‌که حاصلخیزی خاک، افزایش عناصر غذایی و حفظ سلامت بوم‌نظام‌ها را به همراه داشته است (۱۵). میکوریزاها احتمالاً فراوانترین قارچ‌های موجود در خاک‌های کشاورزی هستند. آنها ۵ تا ۵۰ درصد زیست‌توده میکروبی خاک را تشکیل می‌دهند (۳۲). زیست‌تودهٔ هیف‌های آنها ۵۴ تا ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار است (۵۳) و برخی تولیدات حاصل از آنها دارای وزنی بیش از ۳۰۰۰ کیلوگرم است (۲۹). میسلیوم‌های خارجی این قارچ‌ها ۳ درصد وزن ریشه را تشکیل می‌دهند (۲۴). میکوریزا با ۷۰ تا ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی همزیستی اجباری دارد (۴۱ و ۵۲)، به‌طوری‌که کربن مورد نیاز برای کامل کردن چرخه زندگی‌اش را از گیاه میزبان به‌دست می‌آورد (۶). میکوریزا ضمن افزایش عناصر معدنی خاک، تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده را افزایش می‌دهد

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استاد دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد و دانشجوی دکتری گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)

(۳۷ و ۴۶). بسیاری از محققین (۲۸ و ۵۲) به نقش مثبت میکوریزا بر خصوصیات رشدی گیاهان اشاره کرده‌اند. احتمالاً میکوریزا از طریق بهبود جذب و انتقال عناصر غذایی (۲۱) و تولید متابولیت‌ها (۳۳) و هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین باعث افزایش رشد گیاه (۹ و ۳۰) می‌شود. بن‌عبدالله و همکاران (۹) گزارش کردند که میکوریزا به‌طور وسیعی هدایت روزنه‌ای را کاهش و محتوای رطوبت نسبی برگ را افزایش می‌دهد، لذا تحمل تنش‌های محیطی آسان می‌گردد. لاتف و چاکسینگ (۲۸) گزارش کردند که *Glomus mosseae* باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌های قابل حل برگ‌های گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) شد.

یکی از شیوه‌های بیولوژیکی برای افزایش تولید در کشاورزی، استفاده بالقوه از میکروارگانیزم‌های مفید خاکزی است که می‌توانند به روش‌های مختلف باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان شوند. ازجمله این موجودات می‌توان به ریزوباکترهای محرک رشد گیاه[1] اشاره کرد (۴۴). این ریزموجودات از طریق مکانیسم‌هایی نظیر تولید فیتوهورمون‌ها (اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها) و سیدروفورها، افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش جوانه‌زنی، توسعه سیستم ریشه‌ای، فعالیت‌های آنزیمی نظیر ACC– دآمیناز و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (۳۴ و ۴۰). فلاحی (۱۴) با بررسی اثر کودهای آلی و بیولوژیک مختلف بر خصوصیات کمی و کیفی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) گزارش کرد که نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات به‌ترتیب باعث تولید بیشترین قطر کاپیتول و بیشترین عملکرد اسانس شدند.

برخی باکتری‌های موجود در خاک باعث تحریک همزیستی میکوریزا با گیاهان می‌شوند، که البته هنوز مکانیزم‌هایی که باعث بروز این پدیده می‌شوند به درستی شناخته نشده‌اند. فری–کلت و همکاران (۱۶) عنوان کردند که باکتری‌ها باعث افزایش رشد میکوریزا قبل از همزیستی آنها با گیاهان می‌شوند. این فرضیه توسط مطالعات دیگری نیز مورد تأیید قرار گرفته است (۱۵ و ۱۹). باکتری‌ها باعث تقویت مکانیزم‌های تشخیص در دو همزیست می‌شوند (۱۵). برخی محققین گزارش کردند که تلقیح همزمان میکوریزا و ریزوباکترهای‌محرک رشد گیاه باعث بروز اثرات هم‌افزایی[2] آنها می‌گردد (۴۹). وندرحاجیدن (۴۳) همزیستی میکوریزا و ریزوبیوم را برای لگوم‌ها ضروری می‌داند. در شرایط تنش نیز میکوریزا و باکتری‌ها قادرند که به‌صورت هم‌افزایی عمل کنند، به‌طوری‌که در این شرایط باکتری‌ها باعث افزایش جوانه‌زنی و رشد قارچ می‌شوند (۱۱) و با افزایش نفوذپذیری سلول‌های ریشه، جذب آب و عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (۳). رواستی و همکاران (۳۶) اثر استفاده همزمان میکوریزا و باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات را بر خصوصیات رشدی گندم (*Triticum aestivum*) مثبت گزارش کردند.

دستیابی به عملکرد بالا در سیر، کاربرد وسیع نهاده‌های دخیل در امر تولید را در پی دارد، این در حالی است که عاری بودن گیاهان دارویی از بقایای شیمیایی، شرط لازم و اساسی در کلیه مراحل تولید، فرآوری و عرضه آنهاست. لذا به نظر می‌رسد حتی در صورتی‌که عملکرد این گیاهان در نتیجه استفاده از میکوریزا و کودهای زیستی، کمتر و یا برابر با عملکرد آنها در نتیجه مصرف کودهای شیمیایی باشد، تولید این گیاهان با استفاده از نهاده‌های بیولوژیک، راه حل مناسبی برای تولید داروهای گیاهی سالم باشد. با این حال، اطلاعات موجود در مورد تأثیر میکوریزا و کودهای زیستی و فراهم ساختن شرایط ارگانیک در تولید این گیاه بسیار محدود است، بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی اثر میکوریزا و کودهای زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیر و همچنین ثبات محصول در سیستم تولید ارگانیک بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۹–۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. این بررسی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. عوامل مورد بررسی شامل گونه‌های میکوریزا (*Glomus mosseae*، *Glomus intraradices* و عدم میکوریزا) و کود زیستی (کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین (دارای باکتری‌های *Azotobacter* sp. و *Azospirillum* sp.، با 10^8 CFU=C/ml در زمان تولید کود)) بودند. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی–شیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱).

به‌منظور بهبود خواص فیزیکی خاک، کود گاوی کاملاً پوسیده بر مبنای ۲۰ تن در هکتار در آبان‌ماه ۱۳۸۸ در سطح کلیه کرت‌های آزمایشی پخش و به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد. برای آماده‌سازی زمین عملیات دیسک‌زنی و تسطیح زمین توسط تراکتور انجام شد. منشأ سیر مورد استفاده در آزمایش تودهٔ بیرجند بود.

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria
2- Synergistic

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Soil characteristics of experiment place

بافت خاک Soil texture	نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorous (%)	پتاسیم Potassium (%)	هدایت الکتریکی Ec ($dS\ m^{-1}$)	pH
لومی‌سیلتی Silty loam	0.15	0.14	0.12	1.2	7.47

برای اعمال گونه‌های مختلف میکوریزا، براساس توصیه شرکت تولیدکننده[1] به‌ازای هر سوخک کشت شده ۵۰ گرم میکوریزا در محل کشت استفاده شد. برای اعمال کود زیستی، سوخک‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در مایه تلقیح خیسانده و سپس در کرت‌هایی به ابعاد ۱۲ مترمربع با فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر در آذرماه ۱۳۸۸ کشت شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی از نیمهٔ دوم اسفندماه به فاصله هر هفت روز یکبار تا آخر فصل رشد به روش کرتی انجام شدند. برای کنترل علف‌های هرز دو نوبت وجین‌دستی به‌ترتیب در اواخر اسفندماه ۱۳۸۸و اواخر فروردین‌ماه ۱۳۸۹ انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دورهٔ رشد هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در انتهای فصل رشد، پس از زرد شدن برگ‌ها، تمام سطح کرت‌های آزمایشی برداشت و عملکرد اقتصادی و بیولوژیک آنها تعیین شدند. قبل از برداشت، تعداد پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر وزن خشک اندام هوایی، طول و قطر سوخک، تعداد سوخک در بوته، حجم سوخ در بوته و وزن سوخ در بوته اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و وزن سوخ در بوته از ترازوی دیجیتالی با دقت یک هزارم گرم استفاده شد. طول و قطر سوخک با استفاده از کولیس و حجم سوخ در بوته با استفاده از ارلن تعیین شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.1 و Excel Ver. 14 انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

اثر گونه‌های مختلف میکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که *Glomus mosseae* به‌ترتیب باعث افزایش ۴۲ و ۵۴ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمارهای *Glomus intraradices* و شاهد شد (جدول ۳). *Glomus intraradices* نیز وزن خشک اندام هوایی را ۱۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق افزایش سرعت تجزیهٔ مواد آلی و در نتیجه فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر باعث بهبود خصوصیات کمی گیاه شده است (۲۷). کاراگیانیدیس و همکاران (۲۵) گزارش کردند که *Glomus mosseae* وزن خشک گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) و بادمجان را به‌ترتیب ۱۱۴ و ۱۰۴ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. اگرچه بین کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین از نظر وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲)، ولی کاربرد نیتروکسین وزن خشک اندام هوایی را ۱۱ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد (جدول ۳). یادگاری و همکاران (۵۰) گزارش کردند که ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (حاوی *Pseudomonas fluorescens* و *Azospirillum lipoferum*) باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی لوبیا (*Phaseolis vulgaris*) نسبت به شاهد شد.

اثر متقابل گونه‌های میکوریزا و نیتروکسین بر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، به‌طوری‌که در دو گونه میکوریزای مورد مطالعه، کاربرد نیتروکسین اثر میکوریزا را تشدید کرد، بدین ترتیب که استفاده همزمان از نیتروکسین و هر یک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به‌ترتیب باعث افزایش ۲ و ۴ درصدی وزن خشک اندام هوایی نسبت به کاربرد جداگانه این میکوریزاها شد (گرچه این افزایش معنی‌دار نبود) (جدول ۴). تلقیح با *Glomus mosseae* در شرایط استفاده و عدم‌استفاده از نیتروکسین از نظر وزن خشک اندام هوایی نسبت به سایر تیمارها برتری داشت (جدول ۴). بسیاری از محققین (۲۶، ۲۷ و ۴۵) بیان کرده‌اند که گونه‌های مختلف میکوریزا باعث افزایش زیست‌توده میکروبی خاک می‌شوند، لذا به نظر می‌رسد که میکوریزاهای مورد استفاده در آزمایش از این طریق باعث افزایش کارایی ریزوباکترهای محرک رشد گیاه شده‌اند و در نتیجه وزن خشک اندام هوایی گیاه افزایش یافته است. ویواس و همکاران (۴۵) اثر *Glomus mosseae* و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (حاوی *Bacillus* sp.) را بر رشد اندام‌های هوایی کاهو (*Lactuca sativa* L.) مثبت گزارش کردند.

۱- شرکت فن‌آوری زیستی مهرآسیا

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات کمی کنجد در شرایط استفاده از کودهای زیستی مختلف

Table 2- Analysis of variance (means of square) for some quantitative characteristics of garlic in condition of different biofertilizers application

منبع تغییرات Source of variation	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry matter weight per plant	طول سوخک Bulblet length	قطر سوخک Bulblet diameter	تعداد سوخک در بوته Bulblet number per plant	حجم سوخ Bulb volume	وزن سوخ در بوته Bulb weight per plant	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد اقتصادی Economic yield
دو گونه میکوریزا Two mycorrhiza species	1.98**	1.55**	1.63**	0.97ns	12217**	4.82**	5843374**	1549610**
نیتروکسین Nitroxin	0.10ns	1.74**	0.41**	6.13**	4679**	0.91ns	1108974ns	1994153ns
میکوریزا×نیتروکسین Mycorrhiza×Nitroxin	0.05ns	0.06ns	0.07ns	28.12**	8245**	0.21ns	265898ns	587884ns
خطای آزمایشی Experimental error	0.11	0.16	0.02	0.56	146.48	0.38	4700890	709281
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	24.58	8.98	4.27	6.17	4.89	22.21	22.21	18.27

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم‌معنی‌دار.

**, * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد سیر در شرایط استفاده از کودهای زیستی مختلف

Table 3- Mean comparison of yield and yield components of garlic in condition of different biofertilizers application

	وزن خشک اندام هوایی در بوته (گرم) Shoot dry matter weight per plant (g)	طول سوخک (سانتی‌متر) Bulblet length (cm)	قطر سوخک (سانتی‌متر) Bulblet diameter (cm)	تعداد سوخک در بوته Bulblet number per plant	حجم سوخ (میلی‌لیتر) Bulb volume (ml)	وزن سوخ در بوته (گرم) Bulb weight per plant (g)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) Economic yield (kg ha^{-1})
Mycorrhiza میکوریزا								
Glomus mosseae	2.03a	4.88a	4.15a	12.15a	265.08b	3.74a	4114a	6350a
Glomus intraradices	1.16b	4.61a	3.88b	12.62a	281.08a	2.73b	3005b	4291b
عدم میکوریزا (شاهد) Non-application of mycorrhiza (control)	0.94b	3.90b	3.14c	11.81a	196.16c	1.95b	2146b	3183c
Biofertilizer کود زیستی								
نیتروکسین Nitroxin	1.45a	4.77a	3.87a	11.61b	231.32b	3.03a	3337a	4941a
عدم نیتروکسین (شاهد) Non-application of nitroxin (control)	1.30a	4.15b	3.57b	12.78a	263.57a	2.58a	2840a	4275a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.01$).

جدول ٤- مقایسه‌میانگین اثرات متقابل دو گونه میکوریزا و کود زیستی نیتروکسین بر برخی خصوصیات کمی سیر

Table 4- Mean comparison of interaction effects of two mycorrhiza species and nitroxin on some quantitative characteristics of garlic

		وزن خشک اندام هوایی در بوته (گرم) Soot dry matter weight per plant (g)	طول سوخک (سانتی‌متر) Bulblet length (cm)	قطر سوخک (سانتی‌متر) Bulblet diameter (cm)	تعداد سوخک در بوته Bulblet number per plant	حجم سوخ (میلی‌لیتر) Bulb volume (ml)	وزن سوخ در بوته (گرم) Bulb weight per plant (g)	عملکرد زیستی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار) Economic yield (kg ha^{-1})
کاربرد نیتروکسین Application of Nitroxin	*Glomus mosseae*	2.05a	5.10a	4.23a	13.65b	270.03ab	3.91a	6563.5a	4306.5a
	Glomus intraradices	1.19b	5.03a	4.16a	9.80e	204.91c	2.79ab	4389b	3076.9ab
	Non-application of mycorrhiza	1.13b	4.20bc	3.23c	11.38cd	263.25abc	2.38bc	3872bc	2627.8bc
عدم کاربرد نیتروکسین Non-application of Nitroxin	*Glomus mosseae*	2.01a	4.66ab	4.06a	10.65de	229.55bc	3.56ab	6137.8a	3923.3ab
	Glomus intraradices	1.14b	4.20bc	3.60b	15.44a	263.14abc	2.66bc	4193.8b	2933.3bc
	Non-application of mycorrhiza	0.75b	3.60c	3.05c	12.25c	294.01a	1.51c	2495.7c	1665.3c

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p\leq0.05$).

طول و قطر سوخک

طول سوخک به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که تلقیح با هر یک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به‌ترتیب باعث افزایش ۲۰ و ۱۵ درصد طول سوخک نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). با توجه به جدول ۳، تفاوت بین گونه‌های مختلف میکوریزا از نظر قطر سوخک معنی‌دار بود، به‌طوری‌که تلقیح با هر یک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به‌ترتیب باعث افزایش ۲۴ و ۱۹ درصدی قطر سوخک در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۳). *Glomus mosseae* قطر سوخک را بیشتر از طول آن تحت‌تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که تفاوت *Glomus mosseae* با *Glomus intraradices* از نظر قطر سوخک معنی‌دار و از نظر طول آن معنی‌دار نشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که قارچ‌های میکوریزا از طریق بهبود ساختار خاک (۳۶) باعث بهبود رشد سوخک‌ها شده‌اند. وو و زو (۴۸) اثر تلقیح *Glomus mosseae* را بر خصوصیات رشدی اندام‌های هوایی و زیرزمینی *Citrus tangerine* مثبت گزارش کردند. کاربرد نیتروکسین به‌طور معنی‌داری بر طول و قطر سوخک تأثیر داشت، به‌طوری‌که طول و قطر سوخک را به‌ترتیب ۱۳ و ۸ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که باکتری‌های موجود در نیتروکسین از طریق تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین (۵) باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه شده‌اند. غلامی و همکاران (۲۰) گزارش کردند که ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس) باعث بهبود خصوصیات رشدی ذرت (*Zea mays*) شدند.

اثر متقابل نیتروکسین و میکوریزا بر طول سوخک معنی‌دار بود (جدول ۲)، به طوری که در تمامی گونه‌های میکوریزای مورد مطالعه طول سوخک در کاربرد نیتروکسین بیشتر از عدم کاربرد آن بود (جدول ۴). در ارتباط با طول سوخک *Glomus intraradices* بیشتر از *Glomus mosseae* تحت‌تأثیر نیتروکسین قرار گرفت، به‌طوری‌که تفاوت بین *Glomus intraradices* در کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین معنی‌دار بود، در حالی‌که بین *Glomus mosseae* در کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در بررسی اثر متقابل کود زیستی و میکوریزا مشاهده شد که قطر سوخک در هر یک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* در کاربرد نیتروکسین به‌ترتیب ۴ و ۱۳ درصد بیشتر از گونه‌های مشابه در عدم کاربرد نیتروکسین بود (جدول ۴). تلقیح با *Glomus mosseae* حتی زمانی‌که از نیتروکسین استفاده نشد بر قطر سوخک تأثیر به‌سزایی داشت، به‌طوری‌که تلقیح با *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* در کاربرد نیتروکسین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که

استفاده توأم از میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی و جلوگیری از آلودگی به عوامل بیماری‌زایی گیاهی باعث بروز اثرات هم‌افزایی این عوامل شده (۴) و درنتیجه خصوصیات رشدی گیاه بهبود یافت. گامالرو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که استفاده توأم از *Glomus mosseae* و *Pseudomonas fluorescens* نسبت به کاربرد جداگانهٔ هر یک از این عوامل دارای تأثیر بیشتری بر خصوصیات رشدی گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill) بود.

تعداد سوخک در بوته

با وجود اینکه اثر گونه‌های مختلف میکوریزا بر تعداد سوخک در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲)، ولی تلقیح با گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به‌ترتیب باعث افزایش ۳ و ۶ درصدی تعداد سوخک در بوته نسبت به شاهد شدند (جدول ۳). اثر نیتروکسین بر تعداد سوخک در بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) و موجب کاهش ۹ درصدی تعداد سوخک در بوته در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). در بررسی هیوآت و همکاران (۲۲) مشاهده شد که میکوریزا اثر چندانی در بهبود رشد گیاهچه *Azadirachta excels* نداشت. نتایج اثرات متقابل نشان داد که اثر متقابل نیتروکسین و میکوریزا بر تعداد سوخک در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به جدول ۴، اثر نیتروکسین در گونه‌های مختلف میکوریزا متفاوت بود، به‌طوری‌که در *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش تعداد سوخک در بوته شد (جدول ۴). بیشترین و کمترین تعداد سوخک در بوته به‌ترتیب در تیمارهای *Glomus intraradices* بدون کاربرد نیتروکسین (۱۵ سوخک) و *Glomus intraradices* به‌علاوهٔ نیتروکسین (۱۰ سوخک) به‌دست آمد (جدول ۴). در برخی مطالعات (۱۷) به اثرات مثبت و در برخی دیگر (۴۷) به اثرات منفی استفاده توأم میکوریزا و ریزوباکترهای محرک رشد گیاه بر خصوصیات رشدی گیاهان اشاره شده است. به نظر می‌رسد که باکتری‌های موجود در نیتروکسین در *Glomus mosseae* از طریق همکاری و در *Glomus intraradices* از طریق رقابت به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش تعداد سوخک در بوته شده‌اند.

حجم و وزن سوخ در بوته

بین گونه‌های مختلف میکوریزا از نظر حجم سوخ در بوته تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که هر دو گونه میکوریزای مورد استفاده در آزمایش حجم سوخ در بوته را نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۳).

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در شرایط استفاده از دو گونه میکوریزا و کاربرد کود زیستی نیتروکسین در گیاه سیر

Table 5- Correlation coefficients between studied characteristics in condition of two mycorrhiza species and nitroxin application in garlic

صفت Trait	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry matter weight (A)	طول سوخک Bulblet lenghth (B)	قطر سوخک Bulblet diameter (C)	تعداد سوخک در بوته Bulblet number per plant (D)	حجم سوخ Bulb volume (E)	وزن سوخ در بوته Bulb weight per plant (F)	عملکرد اقتصادی Economic yield (G)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (H)
A	1							
B	0.50*	1						
C	0.66**	0.75**	1					
D	-0.005ns	-0.13 ns	-0.14 ns	1				
E	0.29 ns	0.15 ns	0.38 ns	0.74**	1			
F	0.74**	0.64**	0.74**	0.05 ns	0.37 ns	1		
G	0.74**	0.64**	0.74**	0.05 ns	0.37 ns	1.00**	1	
H	0.89**	0.63**	0.76**	0.03 ns	0.36 ns	0.96**	0.96**	1

** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

** and * are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

تلقیح با *Glomus intraradices* برترین تیمار از نظر حجم سوخ در بوته بود، به‌طوری‌که به‌ترتیب باعث افزایش ۶ و ۳۰ درصدی حجم سوخ در بوته نسبت به تلقیح با *Glomus mosseae* و شاهد شد (جدول ۳). احتمالاً میکوریزا از طریق کاهش تنش‌های محیطی (۸) باعث بهبود خواص رشدی گیاه نظیر حجم سوخ در بوته شده‌است.

نیتروکسین به‌طور معنی‌داری بر حجم سوخ در بوته تأثیر داشت (در سطح احتمال ۵ درصد) (جدول ۲)، به‌طوری‌که حجم سوخ در بوته با کاربرد نیتروکسین ۱۲ درصد نسبت به عدم کاربرد آن کمتر بود (جدول ۳). با توجه به ضرایب همبستگی محاسبه شده بین صفات مختلف (جدول ۵)، بین حجم سوخ در بوته و تعداد سوخک در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار (r=۰/۷۴) در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت، لذا با توجه به اینکه استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا و نیتروکسین به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش تعداد سوخک در بوته شدند (جدول ۳)، افزایش و کاهش حجم سوخ در بوته به‌ترتیب در شرایط استفاده از گونه‌های مختلف میکوریزا و کود زیستی نیتروکسین منطقی به‌نظر می‌رسد.

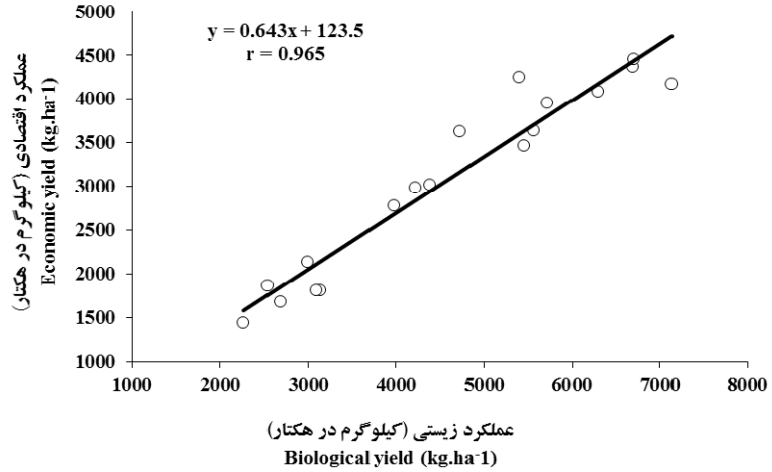
با توجه به نتایج اثرات متقابل (جدول ۴)، به‌جز تیمارهای *Glomus intraradices* به‌علاوهٔ نیتروکسین و *Glomus mosseae* بدون نیتروکسین که حجم سوخ در بوته را نسبت به شاهد کاهش دادند بین سایر تیمارها از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

وزن سوخ در بوته به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر گونه‌های مختلف میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که هریک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* وزن سوخ در بوته را به‌ترتیب ۴۸ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند، که البته از این نظر *Glomus intraradices* با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). از آنجایی که میزان مواد غذایی و مواد آلی خاک محل آزمایش اندک بود (جدول ۳)، به نظر می‌رسد که میکوریزا از طریق بهبود فراهمی عناصرغذایی (۴۹) باعث افزایش وزن سوخ در بوته شده است. بن‌عبدالله و همکاران (۹) گزارش کردند که میکوریزا وزن خشک اندام هوایی و ریشهٔ شبدر سفید (*Trifolium repens*) را به‌ترتیب ۱۳۲ و ۹۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. اثر نیتروکسین بر وزن سوخ در بوته معنی‌دار نبود، ولی نیتروکسین باعث افزایش ۱۵ درصدی وزن سوخ در بوته در مقایسه با شاهد شد (جدول ۳). منا-ویولانت و اولالد-پروتوگال (۳۱) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Bacillus subtilis*) وزن میوه گوجه‌فرنگی را نسبت به شاهد افزایش دادند.

در بررسی اثرات متقابل کود زیستی و میکوریزا بر وزن سوخ در بوته مشاهده شد که در تمامی گونه‌های میکوریزای مورد مطالعه وزن سوخ در بوته در کاربرد نیتروکسین بیشتر از عدم کاربرد آن بود، به‌طوری‌که هر یک از گونه‌های *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* زمانی که همراه نیتروکسین به‌کار رفتند به‌ترتیب باعث افزایش ۹ و ۵ درصدی وزن سوخ در بوته در مقایسه با گونه‌های مشابه بدون نیتروکسین شدند (جدول ۴). بیشترین و کمترین وزن سوخ در بوته به‌ترتیب در تیمارهای *Glomus mosseae* به‌علاوهٔ نیتروکسین (۳/۹۱ گرم) و عدم میکوریزا بدون نیتروکسین (۱/۵۱ گرم) به‌دست آمد (جدول ۴). بسیاری از محققین (۲ و ۳) به اثرات مثبت استفاده همزمان میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه اشاره کرده‌اند. به نظر می‌رسد که ریزوباکترهای محرک رشد گیاه از طریق کمک به استقرار مناسب‌تر میکرویزا بر اندام‌های زیرزمینی گیاه (۴۵) توانسته‌اند باعث افزایش کارایی این قارچ‌ها شده و در نتیجه وزن سوخ در بوته افزایش یافت. رواستی و همکاران (۳۶) گزارش کردند که استفاده همزمان از میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد گیاه (*Pseudomonas* spp.) خصوصیات رشدی گندم را چه در شرایط گلخانه و چه در شرایط مزرعه افزایش داد.

عملکرد زیستی

گونه‌های مختلف میکوریزا از نظر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۲)، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تلقیح با *Glomus mosseae* (۶۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شاهد (۳۱۸۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳). با تلقیح *Glomus intraradices* عملکرد زیستی ۲۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). احتمالاً میکوریزاهای مورد استفاده در آزمایش از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین (۳۰) باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه شده‌اند و در نتیجه عملکرد زیستی افزایش یافت. گامالرو و همکاران (۱۸) گزارش کردند که میکوریزا ازطریق بهبود فراهمی عناصر غذایی برای گیاه باعث بهبود خصوصیات رشدی گوجه‌فرنگی شد. گرچه بین کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین از نظر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، ولی در کاربرد نیتروکسین عملکرد بیولوژیک ۱۳ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کودهای بیولوژیک از طریق قابل دسترس ساختن عناصر غذایی (۵۳) و افزایش مقاومت گیاه به عوامل بیماری‌زا (۳۴) باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد. جهان و همکاران (۲۳) با بررسی اثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش کردند که هر یک از کودهای نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور به‌ترتیب باعث افزایش ۴۴، ۲۸ و ۲۶ درصدی عملکرد زیستی در مقایسه با تیمار شاهد شدند.



شکل ۱- همبستگی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد زیستی

Figure 1- Correlation between economic yield and biological yield

اثرات متقابل کود زیستی و میکوریزا در جدول ۴ نشان داده شده است. چه در کاربرد نیتروکسین و چه در عدم کاربرد آن، *Glomus mosseae* دارای بیشترین عملکرد زیستی در مقایسه با سایر تیمارها بود (جدول ۴). *Glomus intraradices* نیز در هر دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد نیتروکسین باعث افزایش عملکرد زیستی نسبت به شاهد شد (جدول ۴). احتمالاً میکوریزاهای مورد استفاده در آزمایش از طریق افزایش انشعابات ریشه، سطح جذب عناصر غذایی را از ریشه افزایش داده (۵۱) و درنتیجه عملکرد زیستی افزایش یافت. رضوانی‌مقدم و همکاران (۳۵) اثر کودهای بیولوژیک مختلف را بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد بررسی و گزارش کردند که تیمارهای بیوفسفر و نیتروکسین به‌علاوهٔ باکتری‌های حل‌کنندهٔ فسفات دارای بیشترین تأثیر بر عملکرد زیستی کنجد بودند.

عملکرد اقتصادی

بین گونه‌های مختلف میکوریزا از نظر عملکرد اقتصادی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۲)، به‌طوری‌که در تمامی گونه‌های میکوریزای مورد مطالعه عملکرد اقتصادی بیشتر از شاهد بود (جدول ۳). بیشترین (۴۱۱۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۲۱۴۶ کیلوگرم در هکتار) عملکرد اقتصادی به‌ترتیب در تیمارهای *Glomus mosseae* و شاهد به‌دست آمد، ضمن اینکه *Glomus intraradices* نیز عملکرد اقتصادی را ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۳). نیتروکسین باعث افزایش ۱۵ درصدی عملکرد اقتصادی نسبت به شاهد شد که البته با شاهد اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳). با توجه به شکل ۱، بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار (R^2=۰/۹۳) در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت، لذا با توجه به اینکه گونه‌های مختلف میکوریزا و نیتروکسین عملکرد بیولوژیک را افزایش دادند (جدول ۳)، افزایش عملکرد اقتصادی در شرایط استفاده از این نهاده‌های بیولوژیک منطقی به‌نظر می‌رسد. احتمالاً قارچ‌های میکوریزا و کودهای بیولوژیک از طریق افزایش سرعت تجزیهٔ مواد آلی خاک (۲۷)، باعث بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاه شده‌اند و درنتیجه عملکرد اقتصادی افزایش یافت. درزی و همکاران (۱۲) گزارش کردند که کاربرد میکوریزا و بیوفسفات باعث افزایش وزن دانه در رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill) شد که به تبع آن عملکرد اقتصادی افزایش یافت.

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، هر دو گونه میکوریزای مورد مطالعه در شرایط کاربرد نیتروکسین و عدم کاربرد آن عملکرد اقتصادی را نسبت به شاهد افزایش دادند. نیتروکسین اثر دو گونه میکوریزای مورد مطالعه را در مقایسه با تلقیح میکوریزا به تنهایی تشدید کرد (شکل ۴). بیشترین (۴۳۰۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۶۶۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد اقتصادی به‌ترتیب از تیمارهای *Glomus mosseae* به‌علاوهٔ نیتروکسین و عدم میکوریزا + عدم کاربرد نیتروکسین به‌دست آمد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق تولید متابولیت‌های فعال نظیر ویتامین‌ها و آمینواسیدها باعث استقرار و رشد بهتر قارچ‌های میکوریزا شده‌اند (۴۵) و درنتیجه کارایی این قارچ‌ها در بهبود خصوصیات رشدی گیاه افزایش یافت. اِرمان و همکاران (۱۳) گزارش کردند که میکوریزا به تنهایی و در ترکیب با ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (ریزوبیوم)، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد نخود[1] نسبت به شاهد شد.

1- *Cicer arietinum* L.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که هر دو گونه میکوریزای مورد مطالعه در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به شاهد برتر بودند. با توجه به جدول ۳، بیشترین وزن خشک اندام هوایی، طول و قطر سوخک، وزن سوخ در بوته و عملکرد بیولوژیک و عملکرد اقتصادی در *Glomus mosseae* و بیشترین تعداد سوخک در بوته و حجم سوخ در بوته در *Glomus intraradices* مشاهده شد. استفاده همزمان از نیتروکسین و گونه‌های مختلف میکوریزا در تمامی صفات مورد مطالعه به جز تعداد سوخک در بوته و حجم سوخ در بوته باعث تشدید اثر آنها شد. با توجه به جدول ۴، چه در کاربرد نیتروکسین و چه در عدم کاربرد آن، *Glomus mosseae* در اکثر صفات مورد مطالعه نسبت به سایر تیمارها برتر بود. با توجه با شکل ۱، بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، بنابراین به نظر می‌رسد با استفاده از نهاده‌هایی نظیر کودهای زیستی و میکوریزا که رشد اندام‌های هوایی را در سیر تقویت می‌کنند می‌توان عملکرد اقتصادی را افزایش داد.

References

1. Abdalla, F. H., Bellé, L. P., De Bona, K. S., Bitencourt, P. E., Pigatto, A. S., and Moretto, M. B. 2009. *Allium sativum* L. extract prevents methyl mercury-induced cytotoxicity in peripheral blood leukocytes (LS). Food and Chemical Toxicology 48: 417-421.
2. Alarcon, A., Davies, F. T., Egilla, N. J., Fox, T. C., Estrada-Luna, A. A., and Ferrera-Cerrato, R. 2002. Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. Review Latinoam Microbiology 44: 31-37.
3. Artursson, V., Finlay, R. D., and Jansson, J. K. 2005. Combined bromodeoxyuridine immunocapture and terminal restriction fragment length polymorphism analysis highlights differences in the active soil bacterial metagenome due to *Glomus mosseae* inoculation or plant species. Environmental Microbiology 7: 1952-1966.
4. Artursson, V., Finlay, R. D., and Jansson, J. K. 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. Environmental Microbiology 8: 1-10.
5. Aslantas, R., Cakmakci, R., and Sahin, F. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. Scientia Horticulturae 111: 371-377.
6. Bago, B., Pfeffer, P. E., and Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. Plant Physiology 124: 949-958.
7. Banerjee, S. K., and Maulik, S. K. 2002. Effect of garlic on cardiovascular disorders: A review. Nutrition Journal 1: 1-14.
8. Barea, J. M., Azcon, R., and Azcon-Aguilar, C. 2002. Mycorrhizosphere interaction to improve plant fitness and soil quality. Antonie van Leeuwenhoek 81: 343-351.
9. Benabdellah, K., Abbas, Y., Abourouh, M., Aroca, R., and Azcon, R. 2011. Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of *Trifolium repens* under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. European Journal of Soil Biology 47: 303-309.
10. Cardoso, I. M., and Kuyper, T. W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 72-84.
11. Carpenter-Boggs, L., Loynachan, T. E., and Stahl, P. D. 1995. Spore germination of *Gigaspora margarita* stimulated by volatiles of soil-isolated actinomycetes. Soil Biology and Biochemistry 27: 1445-1451.
12. Darzi, M. T., Galavand, A., Rejali, F., and Kon, F. S. 2007. Effect of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22: 276-292.
13. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tufenkci, S., Oguz, F., and Akkopru, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1-Yield, yield components, nodulation an AMF colonization. Field Crops Research 122: 14-24.
14. Fallahi, J. 2009. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Matricaria chammomilla*. MS thesis of Agroecology, Faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
15. Founoune, H., Dponnois, R., Meyer, J. M., Thioulose, J., Mass, D., Chotte, J. L., and Neyra, M. 2002. Interactions between ectomycorrhizal symbiosis and fluorescent pseudomonads on *Acacia holosericea*: isolation of mycorrhiza helper bacteria (MHB) from a Soudano-Sahelian soil. FEMS Microbiology Ecology 41: 37-46.
16. Frey-Klett, P., Pierrat, J. C., and Garbaye, J. 1997. Location and survival of mycorrhiza helper *Pseudomonas fluorescens* during establishment of ectomycorrhizal symbiosis between *Laccaria bicolor* and *Douglas fir*. Applied and Environmental Microbiology 63: 139-144.
17. Galleguillos, C., Aguirre, C., Barea, J. M., and Azcon, R. 2000. Growth promoting effect of two *Sinorhizobium Meliloti* strains (a wild type and its genetically modified derwvative) on a non-legume plant species in specific interaction with two arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Science 159: 57-63.
18. Gamalero, E., Trotta, A., Massa, N., Copetta, A., Martinotti, M. G., and Berta, G. 2004. Impact of two fluorescent

pseudomonads and and arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. Mycorrhiza 14: 185-192.
19. Garbaye, J., and Bowen, G. D. 1987. Effect of different microflora on the success of ectomycorrhizal inoculation of Pinus radiate. Canadian Journal of Forest Research 17: 941- 943.
20. Gholami, A., Biari, A., and Nezarat, S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. World Academy of Science, Engineering and Technology 49: 19-24.
21. Hawkes, C. V., Hartley, I. P., Ineson, P., and Fitter, A. H. 2008. Soil temperature affects carbon allocation within arbuscular mycorrhizal networks and carbon transport from plant to fungus. Global Change Biology 14: 1181-1190.
22. Huat, O. K., Awang, K., Hashim, A., and Majid, N. M. 2002. Effects of fertilizers and vesicular-arbuscular mycorrhizas on the growth and photosynthesis of *Azodirachta excels* (Jack) Jacobs seedlings. Forest Ecology and Management 158: 51-58.
23. Jahan, M., Amiri, M. B., Ehyaee, H. R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of *Sesamum indicum* L. with application of cover crops of *Lathyrus* sp. And Persian clover (*Trifolium respinatum* L.). Agroecology 5: 1-15. (in Persian with English abstract).
24. Jakobsen, I., and Rosendahl, L. 1990. Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber roots. New Phytologist 115: 77-83.
25. Karagiannidis, N., Bletsos, F., and 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. Scientia Horticulturae 94: 145-156.
26. Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., and Roldan, A. 2007. Interactions between a plant growth-promoting rhizobacterium, and AM fungus and a phosphate-solubilising fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa.* Applied Soil Ecology 35: 480-487.
27. Larsen, J., Cornejo, P., and Barea, J. M. 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* and the plant growth promoting rhizobacteria *Paenibacillus polymyxa* and *P. macerans* in the mycorrhizosphere of *Cucumis sativus*. Soil Biology and Biochemistry 41: 286-292.
28. Latef, A. A. H. A., and Chaoxing, H. 2010. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. Acta Physiologiae Plantarum.
29. Lovelock, C. E., Wright, S. F., Clark, D. A., and Ruess, R. W. 2004. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. Journal of Ecology 92: 278-287.
30. Marulanda, A., Barea J. M., and Azcon, R. 2009. Stimulation of plant growth and drought tolerance by native microorganisms (AM fungi and bacteria) from dry environments. Mechanisms related to bacterial effectiveness. Journal of Plant Growth Regulation 28: 115-124.
31. Mena-Violante, H. G., and Olalde-Portugal, V. O. 2007. Alteraction of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. Scientia Horticulturae 113: 103-106.
32. Olsson, P. A., Thingstrup, I., Jakobsen, I., and Baath, E. 1999. Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. Soil Biology and Biochemistry 31: 1879-1887.
33. Paradis, R., Dalpe, Y., and Charest, C. 1995. The combined effect of arbuscular mycorrhizas and short-term cold exposure on wheat. New Phytologist 129: 637-642.
34. Pirlak, L., and Kose, M. 2009. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. Journal of Plant Nutrition 32: 1173-1184.
35. Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M. B., and Ehyaee, H. R. 2015. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. In Press. (in Persian with English abstract).
36. Roesti, D., Gaur, R., Johri, B. N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry 38: 1111-1120.
37. Sawers, R. J. H., Gutjahr, C., and Paszkowski, U. 2008. Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture. Trends in Plant Science 13: 93-97.
38. Senula, A., and Keller, R. J. 2000. Morphological characterization of a garlic core collection and establishment of a virus-free in vitro genebank. Allium Improvement Newsletter 10: 3-5.
39. Sharma, V., Sharma, A., and Kansal, L. 2010. The effect of oral administration of *Allium sativum* extracts on lead nitrate induced toxicity in male mice. Food and Chemical Toxicology 48: 928-936.
40. Singh, J. S., Pandey, V. C., and Singh, D. P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 339-353.
41. Smith, S. E., and Read, D. J. 2008. Mycorrhizal symbioses. 3nd edition. Academic Press. London.

42. Tang, X., and Cronin, D. A. 2007. The effects of brined onion extracts on lipid oxidation and sensory quality in refrigerated cooked Turkey breast rolls during storage. Food Chemistry 100: 712-718.
43. Van der Heijden, M. G. A., Bakker, R., Verwaal, J., Scheublin, T. R., Rutten, M., van Logtestijn, R. S. P., and Staehelin, C. 2006. Symbiotic bacteria as a determinant of plant community structure and plant productivity in dune grassland. FEMS Microbiology Ecology 56: 178-187.
44. Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers, Plant Soil 255: 571-586.
45. Vivas, A., Barea, J. M., Biro, B., and Azcon, R. 2006. Effectiveness of autochthonous bacterium and mycorrhizal fungus of Trifolium growth, symbiotic development and soil enzymatic activities in Zn contaminated soil. Journal of Applied Microbiology 100: 587-598.
46. Vivas, A., Marulanda, A., Ruiz-Lozano, J. M., Barea, J. M., and Azcon, R. 2003. Influence of *Bacillus* sp. on physiological activities of two arbuscular mycorrhizal fungi and on plant responses to PEG-induced drought stress. Mycorrhiza 13: 249-256.
47. Walley, F. L., and Germida, J. J. 1997. Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to interactions between Pseudomonas species and *Glomus clarum* NT4. Biology and Fertility of Soils 24: 365-371.
48. Wu, Q. S., and Zou, Y. N. 2010. Beneficial roles of arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress. Scientia Horticulturae 125: 289-293.
49. Xavier, L. J. C., and Germida, J. J. 2002. Response of lentil under controlled conditions to coinoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia varying in efficacy. Biology and Fertility of Soils 34: 181-188.
50. Yadegari, M., Asadirahmani, H., Noormohammadi, G., and Ayneband, A. 2010. Plant growth promoting rhzobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolis vulgaris*. Journal of Plant Nutrition 33: 1733-1743.
51. Yin, B., Wang, Y., Liu, P., Hu, J., and Zhen, W. 2010. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the protective system in strawberry leaves under drought stress. Frontiers of Agriculture in China 4: 165-169.
52. Zhu, C. X., Song, B. F., and Xu, W. H. 2010. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. Plant Soil 331:129-137.
53. Zhu, Y. G., and Miller, R. M. 2003. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil-plant systems. Trends in Plant Science 8: 407-409.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 3, Fall. 2015, p. 435-447

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، ص. ۴۴۷-۴۳۵

Evaluation of Two Mycorrhiza Species and Nitroxin on Yield and Yield Components of Garlic (*Allium sativum* L.) in an Ecological Agroecosystem

P. Rezvani Moghaddam[1*]- M. B. Amiri[2]- A. Norozian[3]- H. R. Ehyaee[3]

Received: 28-11-2011
Accepted: 06-05-2013

Introduction

Maintenance of soil fertility is one of the most important issues affecting the sustainability of food production. The application of ecological inputs such as mycorrhiza and biofertilizers are one of those approaches which are needed to maintain soil fertility Biofetilizers include different types of free living organisms that convert unavailable nutrients to available forms and enhance root development and better seed germination. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) occupy the rhizosphere of many plant species and have beneficial effects on the host plant. They may directly and indirectly influence the plant growth. A direct mechanism would be to increase plant growth by supplying the plant with nutrients and hormones. Indirect mechanisms, on the other hand, include reduced susceptibility to diseases and acting as a form of defense referred to as induces systematic resistance. Mycorrhiza arbuscular fungi are other coexist microorganisms that improve soil fertility, nutrients cycling and agroecosystem health. Mycorrhizal fungi are the most abundant organisms in agricultural soils. Many researchers have pointed to the positive roles of mycorrhizal fungi on plants growth characteristics. Arbuscular mycorrhizas are found in 85% of all plant families and occur in many crop species. Mineral nutrients such as potassium, calcium, copper, zinc and iron are assimilated more quickly and in greater amounts by mycorrhizal plants. Arbuscular mycorrhizal inoculation has also been shown to increase plant resistance of pathogen attack. Garlic (*Allium sativum* L.) is a very powerful medicinal plant that is often underestimated. Garlic is easy to grow and can be grown year-round in any mild climates. Garlic cloves are used for consumption (row and cooked) or for medicinal purposes. They have a characteristic pungent, spicy flavor that mellows and sweetens considerably with cooking. Despite of many studies on the effects of mycorrhiza and biofertilizers on different crops, information on the effects of these factors for many medicinal plants such as garlic is scarce; therefore, in this study the effects of mycorrhiza and biofertilizers on quantitative characteristics of garlic in a low input cropping system were studied.

Materials and Methods

In order to study the effects of two mycorrhiza species and nitroxin on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.), an experiment was conducted in a factorial arrangement based on a randomized completed block design with three replications in the growing seasons of 2010 at the experimental farm of College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. The experimental factors were all combination of two mycorrhiza species (*Glomus mosseae, Glomus intraradices*) and control and also inoculation with and without nitroxin (include *Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp.) as a biofertilizer.

Results and Discussion

The results showed that both two mycorrhiza species had superior effects on most of the study traits compared with control. Bulb weight per plant was significantly affected by mycorrhiza species. *Glomus mosseae*، and *Glomus intraradices* increased bulb weight per plant by 48 and 29 percent compared with control, respectively. Nitroxin had a significant effect on length and diameter of bulbs. Length and diameter of bulbs were increased by 13 and 8 percent using nitroxin compared with control, respectively. Interactive effects of mycorrhiza and nitroxin on all study traits also were significant. Interactive effects of study treatments showed that *Glomus mosseae* had better effect on most of study traits at with and without nitroxin treatments. On the other hand, nitroxin had synergistic effect on mycorrhiza treatments compared when these treatments were used

1, 2 and 3- Professor of Ferdowsi University of Mashhad, Assistant Professor of Gonabad University and Ph.D. Student of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)

without nitroxin. Highest (4306 kg ha^{-1}) and lowest (1665 kg ha^{-1}) economic yield (bulb yield) were obtained from *Glomus mosseae* + Nitroxin and control (without mycorhiza and nitroxin), respectively. In general, results revealed that using biological inputs may decrease chemical fertilizers application and their environmental effects, and will increase sustainablity of crop production in long term.

It seems that different species of mycorrhiza improved quantitative characteristics of garlic due to provide better conditions to absorption and transportation of nutrient to the plant. It has been reported that this ecological input provides favorable conditions for plant growth and development through improvement of physical, chemical and biological properties of the soil. It can be concluded that improvement of most of study traits in the present study were due to use of mycorrhiza and biofertilizers.

Acknowledgements

This research (grant number 18/P., 11 March 2010) was funded by Vice Chancellor of Research of the Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Biofertilizer, Biological yield, Bulb volume, Bulb yield