مقاله پژوهشی

تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی و جذب برخی از عناصر غذایی پیازچه (*Allium fistulosum*)

لاله ایلخان[۱]، ابراهیم صداقتی*[۲]، حمید رحیم‌زاده بهزادی[۳] و نرگس حاتمی[۴]

[۱] محقق بخش گیاه‌پزشکی مرکز تحقیقات کشاورزی جنوب کرمان، کرمان، ایران

[۲] کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، کرمان، ایران

[۳] کارشناس بخش گیاه‌پزشکی مرکز تحقیقات کشاورزی جنوب کرمان، کرمان، ایران

[۴] گروه کشاورزی دانشگاه پیام‌نور تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶)

چکیده

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا یکی از مهمترین ریزجانداران خاک هستند که با بیش از ۹۰ درصد گیاهان خشکی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند. به‌منظور بررسی تأثیر همزیستی گونه‌های *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae* بر برخی صفات رویشی، فیزیولوژیکی و میزان جذب برخی عناصر غذایی گیاهچه‌های پیازچه، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل فاکتور اول کاربرد مخلوط گونه‌های آربوسکولار میکوریزا در سه سطح (بذرمال، خاک کاربرد و شاهد) و فاکتور دوم سترون کردن خاک در دو سطح (استریل و غیراستریل) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تمام فاکتورهای مورد بررسی در پیازچه‌های میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمارهای کاربرد میکوریزا به صورت بذرمال و خاکی در خاک استریل به‌دست آمد. بالاترین ارتفاع اندام هوایی پیازچه و بیشترین میزان جذب فسفر و نیتروژن با کاربرد میکوریزا به صورت خاکی در خاک استریل حاصل گردید. درصد کلونیزاسیون میکوریزایی، میزان عناصر مس، روی، منگنز و آهن و همچنین، محتوای کلروفیل a و b، کل و کاروتنوئید در تیمار مایه‌زنی پیازچه با روش بذرمال در خاک استریل در مقایسه با سایر تیمارها، بیشتر بود. به‌طورکلی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزای استفاده‌شده با روش بذرمال در خاک استریل توانستند از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب بهبود رشد پیازچه شوند.

کلمات کلیدی: استریل، خصوصیات رشدی، روش کاربرد، همزیستی

مقدمه

پیازچه با نام علمی *Allium fistulosum* گیاهی تک‌لپه و علفی است که به تیره Alliaceae تعلق دارد. این گیاه به‌دلیل داشتن آهن، فسفر و ویتامین‌هایی مانند نیاسین، ریبوفلاوئین، تیامین، ویتامین آ و ث از لحاظ تغذیه‌ای حائز اهمیت است. همچنین، به‌علت داشتن مواد آنتی‌اکسیدان و اسیدهای چرب آلیسین یک

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: laleilkhan@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

سبزی ضدسرطان و ضدفشار خون محسوب می‌گردد (Brevester, 1994).

اگرچه نظام‌های کشاورزی رایج برای حفظ و تقویت باروری خاک به‌طور گسترده‌ای به کودهای شیمیایی وابسته هستند اما مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی مشکلات زیادی از جمله بروز خطرات زیست‌محیطی و کاهش کیفیت محصولات تولیدی، افزایش تجمع ترکیبات شیمیایی در خاک و مسمومیت ناشی از آن‌ها، آلودگی منابع آبی، به خطر افتادن سلامت انسان و سایر موجودات زنده، تخلیه منابع غیرقابل تجدید مانند سنگ‌های فسفاته و کاهش مقاومت و تحمل گیاهان در برابر آفات و بیماری‌های مختلف می‌گردد (Naik *et al*., 2003; Patel *et al*., 2010). امروزه زیان‌های اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی، در سطح جهانی شناخته شده و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این نوع کودها در نظر گرفته شود (Ahmad khan *et al*., 2007; Skinner *et al*., 2019). در این راستا و با توجه به اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی بر محیط زیست، کاربرد کودهای زیستی گامی مطمئن جهت تأمین بخشی از نیازهای کودی گیاهان زراعی و دستیابی به اهداف کشاورزی ارگانیگ و پایدار محسوب می‌شود (Adesemoye *et al*., 2009; Debska *et al*., 2016). کودهای زیستی از جمله قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (AMF= Arbuscular Mycorrhizal Fungi)، در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مزایای متعددی از جمله عدم تولید مواد سمی در چرخه غذایی، کاهش فرسایش خاک و صرفه‌جویی در عملیات مکانیک حفاظت از خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک، اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و قابل پذیرش از نظر زیست محیطی هستند (خاوازی و ملکوتی، ۱۳۸۱). بنابراین، این کودها نقش مثبتی در رفع نیازهای غذایی گیاهان داشته و سبب بهبود شرایط رشد آن‌ها می‌شوند (عرب نیاسر و همکاران، ۱۳۹۸).

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا که یکی از اجزایی کلیدی میکروبی خاک هستند، مهم‌ترین عوامل همزیست اجباری ریشه گیاهان به‌شمار می‌آیند و با بیش از ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی رابطه همزیستی برقرار می‌کنند (Smith and Smith, 2011). این گروه قارچی کربوهیدرات و لیپیدهای مورد نیاز برای بقا خود را از گیاه میزبان دریافت می‌کنند و در ازای آن، میزان دسترسی گیاه به آب و مواد مغذی، به‌ویژه فسفر، را افزایش می‌دهند. این امر موجب بهبود رشدونمو گیاه میزبان و افزایش تحمل آن در برابر تنش‌های زیستی (مانند عوامل بیماری‌زا) و غیرزیستی (مانند شوری، خشکی، فلزات سنگین و کمبود عناصر غذایی) می‌شود (Keymer *et al*., 2017; Begum *et al*., 2019).

یکی از مهمترین اثرات همزیستی آربوسکولار میکوریزا، افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است. از سوی دیگر، اثر سودمند این قارچ‌ها در رشد گیاه و بهبود صفات ریخت‌شناسی وابسته به رشد ممکن است به‌دلیل تأثیر آن‌ها بر بهبود جذب آب و عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر باشد (Bowles *et al*., 2016). در واقع، گیاهان میکوریزایی می‌توانند هم از طریق ریشه و هم از طریق همزیستی با این گروه قارچی مواد غذایی مورد نیاز خود را از خاک جذب نمایند. بنابراین، گیاهانی که رابطه همزیستی میکوریزایی دارند نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی، حاوی مقادیر بالاتری از این عناصر هستند (Nouri *et al*., 2014; Di Martino *et al*., 2018).

فسفر در خاک قدرت تحرک کمی دارد و پس از مدتی از دسترس ریشه گیاه خارج می‌شود. اثرات مثبت قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در تحرک بخشی به فسفر و جذب آن با مکانیسم‌های توسعه سطح ریشه، گسترش شبکه هیفی قارچی، تسهیل انتقال توده‌ای فسفر، کمک به انتشار فسفر، ترشح ترکیبات آلی تعدیل‌کننده اسیدیته و افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فسفات کیناز امکان‌پذیر است (David *et al*., 2007). نقش این گروه قارچی در افزایش مقدار نیتروژن در گیاهان با تحریک بیان آنزیم نیترات ردوکتاز و افزایش سطح آنزیم دیکینازگلوکان به‌خوبی مشخص شده است (Sherameti *et al*., 2005). همچنین، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با ایجاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

تعادل نسبی در جذب فسفر و نیتروژن می‌توانند از اثرات بازدارندگی و رقابتی آن‌ها در جذب عناصر کم‌مصرف مس، آهن، روی و منگنز بکاهند و به ایجاد تغذیه متعادل در گیاه کمک کنند (Azcon *et al*., 2003; Chen *et al*., 2005). از سوی دیگر، این قارچ‌ها از طریق ترشح ترکیبات آلی سیدروفور به‌عنوان کلاته‌کننده موجب افزایش جذب عناصر کم مصرف می‌شود (Bagyaraj and Varma, 1995; Mishra *et al*., 2016).

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا پس از برقراری رابطه همزیستی با گیاه میزبان، بر جنبه‌های مختلف فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه تأثیر می‌گذارند و موجب بهبود رشد گیاه می‌شوند که یکی از این فرآیندها، فتوسنتز و تغییر میزان کاروتنوئید و کلروفیل برگ است (حاجی‌نیا و زارع، ۱۳۹۳). فسفر از اجزای اصلی سلول‌های فعال فتوسنتزی است و تأثیر مستقیمی بر تبادلات گازی گیاهان در فرآیندهای فتوسنتز و تنفس دارد (Inagaki *et al*., 2014). این عنصر با نقشی که در فتوسنتز ایفا می‌کند، بر روی میزان کلروفیل برگ تأثیر می‌گذارد. بنابراین، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با تأثیر بر میزان انحلال و جذب فسفر، کلروفیل برگ را تغییر می‌دهند.

در هنگام استفاده از قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا باید به کارآمدبودن گونه قارچی مورد استفاده، کافی‌بودن میزان مایه تلقیح، مناسب‌بودن ژنوتیپ گیاه میزبان، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط محیطی توجه کرد. از طرف دیگر، باید از گونه‌های میکوریزایی استفاده کرد که میزان رشد و تکثیر بالایی داشته باشند و بتوانند گیاه میزبان را به خوبی کلونیزه کنند و در نهایت مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار دهند (Meikle and Amaranthus, 2008). برای مایه‌زنی گیاهان با زادمایه قارچ‌های میکوریزایی از روش‌های مختلفی مانند خاک‌کاربرد و بذرمال استفاده می‌کنند. در روش خاک کاربرد پس از تسطیح زمین، زادمایه قارچی را به سطح خاک افزوده و آن را با لایه نازکی از خاک (حدود سه تا پنج سانتی‌متر) پوشانده و بذر گیاه میزبان کشت می‌گردد. برای مایه‌زنی گیاهان رشدکرده، باید زادمایه قارچی را در مجاورت سیستم ریشه‌ای با خاک ناحیه فراریشه مخلوط کرد. در روش مایه‌زنی بذری، ابتدا بذر گیاه با یک ماده چسباننده آغشته شده و سپس زادمایه قارچی با آن مخلوط می‌گردد؛ به‌طوری‌که تمامی بذرها با یک لایه یکنواخت از زادمایه پوشانده شوند. کارایی هر روش بسته به گونه گیاهی و گونه قارچی متفاوت است و باید از روشی استفاده کرد که با حداقل میزان زادمایه قارچی، حداکثر کلونیزاسیون ریشه و جمعیت اسپوری و به دنبال آن، حداکثر رشد گیاهی، حاصل شود (Herrmann and Lesueur, 2013).

همزیستی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا و گیاهان خانواده پیاز و بررسی تأثیر این گروه قارچی بر جذب عناصر غذایی این گیاهان توسط محققین مختلفی انجام شده است (Tawaraya *et al*., 2001; Tawaraya *et al*., 2012; Rady and Nashwa, 2018). با توجه به اهمیت کودهای زیستی مبتنی بر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در کشاورزی پایدار و همچنین ضرورت کاهش مصرف کودهای شیمیایی به‌دلیل ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی در بوم‌نظام‌های زراعی، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر روش‌های کاربرد قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا به‌صورت بذرمال و خاکی در خاک‌های استریل و غیراستریل بر برخی صفات رشدی، بیوشیمیایی و میزان جذب عناصر غذایی پیازچه در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

تهیه گونه‌های آربوسکولار میکوریزا: در پژوهش حاضر، برای به‌کار بردن تیمار آربوسکولار میکوریزا و مایه‌زنی گیاهچه‌های پیازچه از مخلوط گونه‌های *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* موجود در کلکسیون میکوریزایی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان استفاده شد. بدین منظور، مخلوط یکنواختی از هر دو گونه قارچی که مخلوطی از اسپورهای قارچ، میسلیوم‌های برون‌ریشه‌ای و قطعات ریشه میکوریزایی بود، مورد استفاده قرار گرفت.

آماده‌سازی بستر کشت: بستر کشت مورد استفاده شامل خاک، ماسه و پرلایت با نسبت ۱:۳:۱ بود. در تیمارهای خاک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

استریل برای سترون‌سازی، خاک درون اتوکلاو به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر قرار داده شد. در مقابل، برای تیمارهای خاک غیراستریل، خاک به‌طور مستقیم و بدون سترون‌کردن در بستر کشت مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، گلدان‌های دو کیلویی به ابعاد قطر دهانه ۱۷ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر، پس از ضدعفونی سطحی با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد، توسط بستر کشت ذکرشده، پر شدند.

ضدعفونی بذور پیازچه: به‌منظور ضدعفونی سطحی، بذور پیازچه به‌مدت ۳۰ ثانیه در اتانول ۷۰ درصد و سپس در محلول هیپوکلریت سدیم نیم درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفتند. پس از اتمام زمان مورد نظر، بذور پیازچه چند مرتبه با آب‌مقطر شسته شدند تا اثر هیپوکلریت سدیم از بین برود.

مایه‌زنی بذور پیازچه با گونه‌های میکوریزایی و کشت آن‌ها: مایه‌زنی پیازچه با مخلوط گونه‌های آربوسکولار میکوریزا با استفاده از دو روش خاک کاربرد و بذری (بذرمال) انجام گردید و برای هر روش، از خاک استریل و غیراستریل استفاده شد. در روش خاک کاربرد، مقدار ۲۵ گرم زادمایه قارچی (به میزان ۱۰۰ پروپاگول قارچ در هر گرم) به ازای هر کیلوگرم خاک مورد استفاده قرار گرفت. در این روش، زادمایه قارچی با سطح بستر کشت مخلوط شده و سپس تعداد پنج تا هفت بذر پیازچه در عمق دو سانتی‌متر کشت گردید. در تیمار بذرمال، ابتدا بذور پیازچه با محلول کربوکسی متیل سلولز (CMC) یک درصد آغشته شده و سپس زادمایه قارچی با بذور مخلوط شد تا به‌طور یکنواخت تمام سطح آن‌ها را پوشش دهد. بذور پیازچه پس از خشک‌شدن، مشابه روش قبلی در عمق دو سانتی‌متر کاشته شدند. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد و تیمار شاهد شامل گلدان‌هایی بود که با زادمایه میکوریزایی مایه‌زنی‌نشده بودند. بنابراین، تیمارهای این آزمایش شامل خاک استریل مایه‌زنی‌شده با میکوریزا، خاک غیراستریل مایه‌زنی‌شده با میکوریزا، بذر مایه‌زنی‌شده با میکوریزا در خاک استریل، بذر مایه‌زنی‌شده با میکوریزا در خاک غیراستریل، تیمار شاهد در خاک استریل و تیمار شاهد در خاک غیراستریل بودند. گلدان‌ها به مدت دو ماه در گلخانه با دمای ۲۸-۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند و در طول آزمایش، آبیاری به میزان ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه به صورت سه روز در میان صورت گرفت.

اندازه‌گیری پارامترهای رویشی: پس از گذشت دو ماه از کشت پیازچه، پارامترهای رویشی شامل ارتفاع اندام هوایی، وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه از خط‌کش مدرج با دقت یک صدم متر استفاده شد. در ارتباط با وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ابتدا گیاه به‌طور کامل از خاک خارج شده و اندام هوایی از ریشه جدا گردید. پس از شستشو و خشک‌کردن، وزن تر هر یک از آن‌ها به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شد. همچنین مقداری از ریشه جهت رنگ‌آمیزی و بررسی کلونیزاسیون میکوریزایی جدا گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، ریشه و اندام هوایی به‌طور جداگانه درون پاکت قرار داده و به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده و بعد از گذشت زمان مورد نظر، وزن خشک ریشه و اندام هوایی اندازگیری شد.

رنگ‌آمیزی ریشه‌های پیازچه: برای ارزیابی همزیستی میکوریزایی و تعیین درصد کلونیزاسیون، ابتدا رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش Philips و Hyman (۱۹۷۰) با کمی تغییر صورت گرفت. در این روش ابتدا ریشه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در محلول ۱۰ درصد هیدروکسید پتاسیم و پس از آن به مدت پنج دقیقه در محلول اسید کلردریک ۲۰ درصد قرار داده شدند. سپس از محلول ۰/۰۵ درصد آنیلین‌بلو در لاکتوفنل جهت رنگ‌آمیزی و پس از آن از محلول لاکتوفنل جهت رنگبری ریشه‌ها استفاده شد. از ریشه‌های رنگبری‌شده لام میکروسکوپی تهیه و توسط میکروسکوپ نیکون مدل SMZ1000 جهت مشاهده اندام‌های قارچی استفاده شد. سپس درصد کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه‌ها با توجه به طول هر قطعه ریشه محاسبه شد (Biermann and Linderman, 1983).

اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیکی: جهت اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها، ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

یک هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده تا به‌صورت توده یکنواخت درآید. مخلوط به‌دست آمده به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس، فاز رویی جدا کرده و میزان جذب نور آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spectrometer PGT80UV/VIS) در طول‌موج‌های ۳۴۵، ۶۶۳، ۶۵۲، ۵۱۰ و ۴۸۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کلروفیل‌ها و کاروتنوئید با استفاده از روابط ریاضی محاسبه گردید (Arnon, 1949).

اندازه‌گیری مقادیر عناصر غذایی در اندام‌های هوایی گیاه: در بررسی حاضر، میزان عناصر غذایی مس، روی، منگنز، آهن، نیتروژن و فسفر در انـدام هوایی تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شدند. بدین منظور، ابتدا اندام‌های هوایی پیازچه به مدت ۷۲ ساعت داخل آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا خشک شوند. میزان ۰/۵ گرم از هر نمونه خشک داخل بوته چینی ریخته شد و داخل کوره با دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه و سپس به مدت سه ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا به‌صورت خاکستر درآیند. در مرحله بعد، ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به هر بوته چینی اضافه گردید. نمونه‌ها پس از عبور از کاغذ صافی، داخل بالون حجمی ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شده و هر بالون با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شدند. غلظت عناصر آهن، مس، روی و منگنز با استفاده از دستگاه جذب اتمی (GBC Avanta ساخت استرالیا)، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Spectrometer PGT80UV/VIS) و غلظت نیتروژن کل توسط دستگاه کجلدال نیمه اتوماتیک (Gerhardt ساخت آلمان) محاسبه گردید (Chapman *et al.*, 1983).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴، ترسیم جداول توسط نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر ساده کاربرد گونه‌های آربوسکولار میکوریزا و سترون‌کردن خاک بر صفات رشدی اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر که شامل ارتفاع ساقه، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی بودند، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به عبارت دیگر، پارامترهای رشدی در پیازچه‌های میکوریزایی نسبت به پیازچه‌های غیرمیکوریزایی (شاهد)، به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند (جدول ۱). در ارتباط با کلونیزاسیون میکوریزایی، این فاکتور در بین تیمارهای کاربرد میکوریزا و سترون‌کردن خاک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۱). همچنین، صفات رویشی بجز وزن خشک ریشه، تحت تأثیر برهمکنش روش کاربرد گونه‌های قارچی و سترون‌کردن خاک قرار گرفتند که به لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند.

شاخص ارتفاع ساقه پیازچه با تغییر روش کاربرد گونه‌های قارچی و استریل و غیراستریل بودن خاک، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد در بین تیمارها داشت (جدول ۱). همچنین، بیشینه ارتفاع پیازچه با کاربرد گونه‌های آربوسکولار میکوریزا به‌صورت خاکی در خاک استریل (۱۸/۳۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد و در تیمار شاهد غیرمیکوریزایی در خاک غیراستریل، کمترین ارتفاع پیازچه (۴ سانتی‌متر) مشاهده شد (شکل ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین تأثیر روش‌های مایه‌زنی آربوسکولار میکوریزا و سترون‌کردن خاک بر فاکتورهای رویشی پیازچه، بالاترین و کمترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب در تیمار بذرمال در خاک استریل و شاهد بدون میکوریزا در خاک استریل مشاهده گردید. در ارتباط با وزن تر و خشک ریشه، تیمار خاک کاربرد در خاک استریل در مقایسه با سایر تیمارها، منجر به افزایش این فاکتور گردید (شکل ۱).

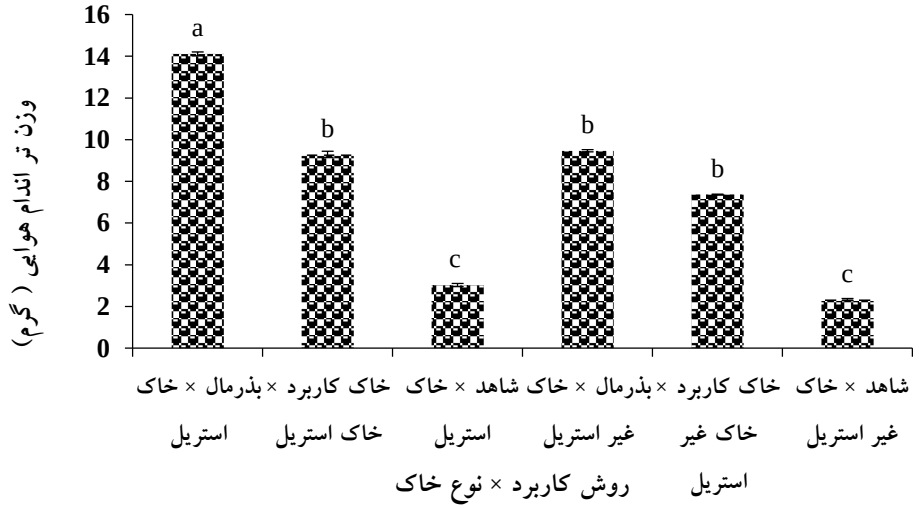
براساس نتایج به‌دست آمده، پیازچه میزبان قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بوده و در تمام تیمارهای مورد بررسی، همزیستی میکوریزایی مشاهده گردید (شکل ۶). لازم به ذکر است در پیازچه‌های غیرمیکوریزایی که در خاک غیراستریل کشت و رشد کرده بودند، کلونیزاسیون میکوریزایی به میزان ۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

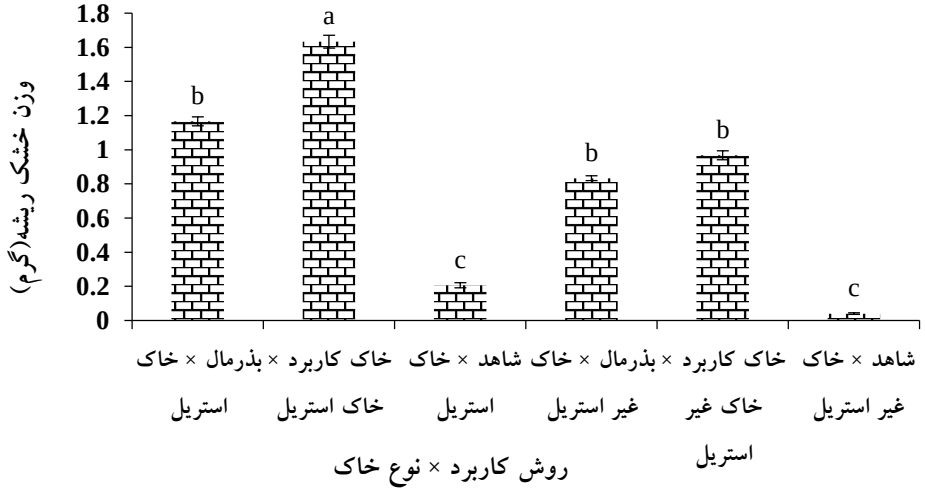
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس برخی پارامترهای رویشی پیازچه تحت‌تأثیر همزیستی میکوریزایی و سترون‌کردن خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	ارتفاع ساقه	درصد کلونیزاسیون ریشه
سترون‌کردن خاک	۱	۴/۶۱۱**	۲۶/۴۹۹**	۰/۶۸۱**	۹/۱۰۲**	۸۲/۳۴۷**	۱۳۶۹/۳۸**
میکوریزا	۲	۱۰/۷۹**	۱۲۶/۸**	۲/۱۵۰**	۲۹/۲۴**	۱۴۴/۰۱**	۹۲۸۹/۳۸**
سترون‌کردن خاک × میکوریزا	۲	۰/۵۹۵**	۶/۱۱**	۰/۱۹۱^{ns}	۲/۰۹**	۲۲/۵۱**	۱۷۲/۷۲^{ns}
خطا	۱۲	۰/۰۶۴	۰/۸۶	۰/۰۶۴	۰/۲۶	۳/۰۵	۱۰۸/۱۱
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۲/۹۷	۱۲/۲۵	۳۱/۲۵	۱۴/۹	۱۷/۱۵	۲۰/۴۱

***، **، به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns تفاوت غیرمعنی‌دار**



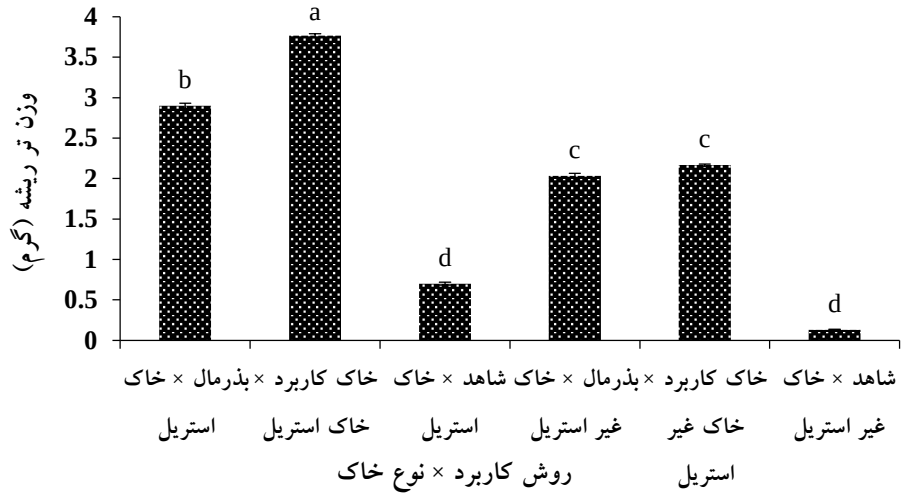
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر وزن تر اندام هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری باهم ندارند)



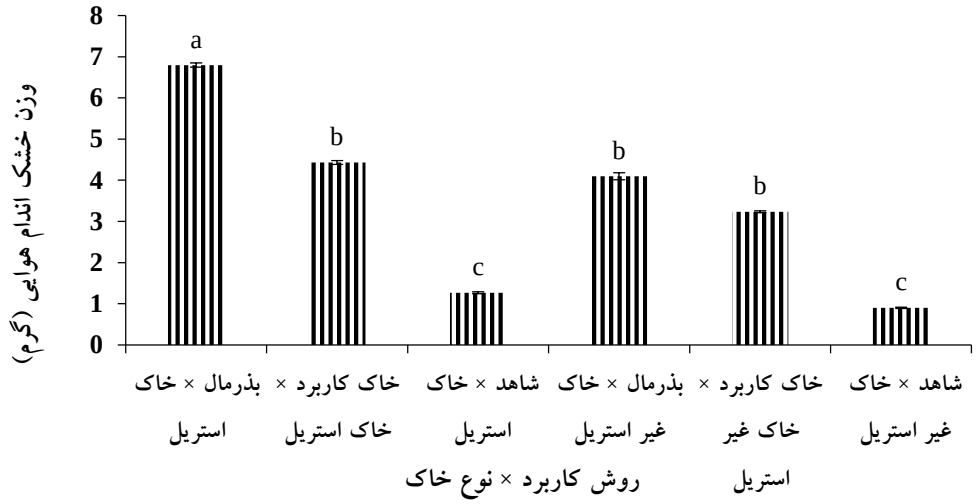
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر وزن خشک ریشه پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حروف مشترک انگلیسی براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



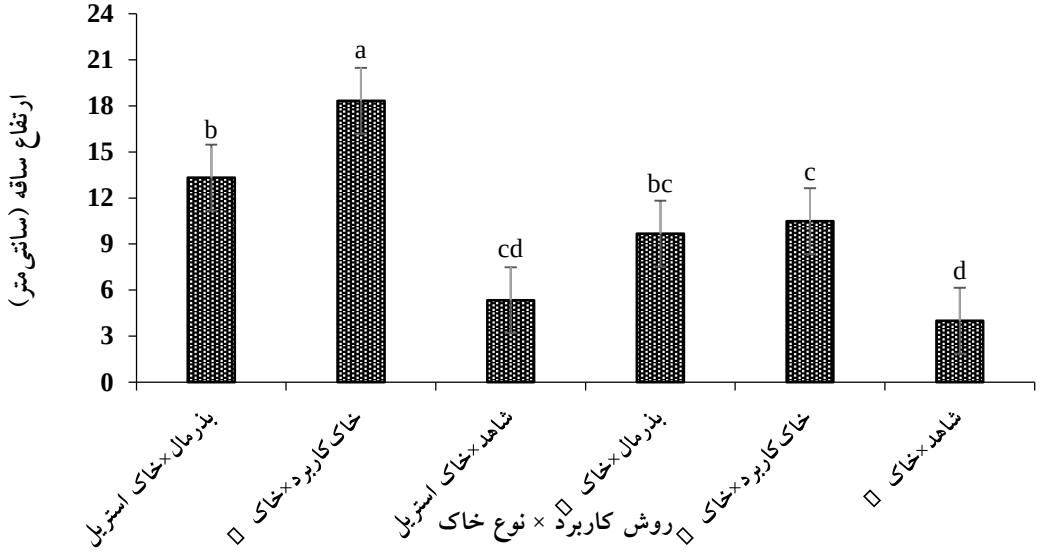
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون‌کردن خاک بر وزن تر ریشه پیازچه در شرایط گلخانه (ستون-های با حروف مشترک انگلیسی براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).



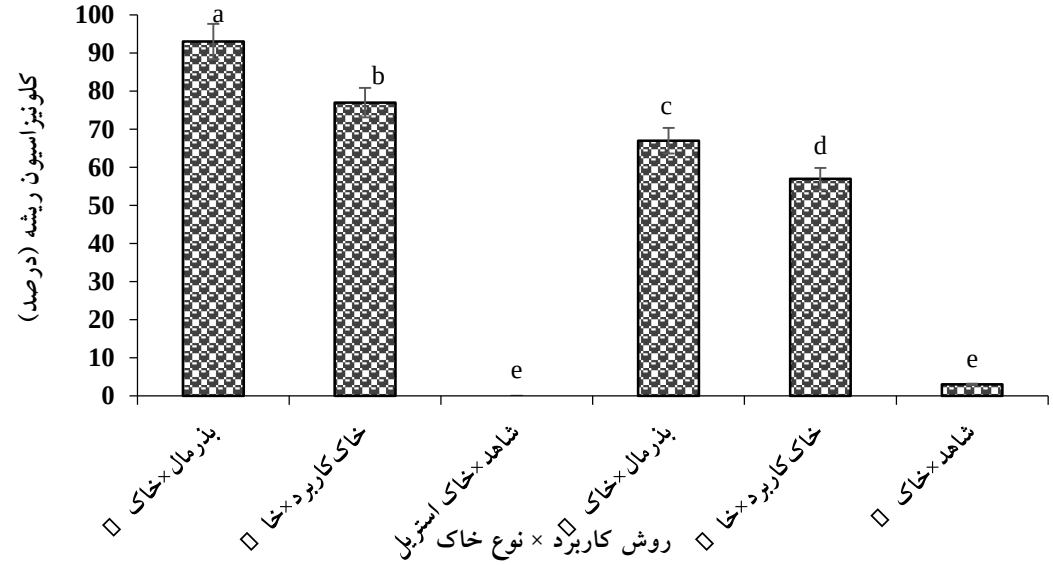
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون‌کردن خاک بر وزن خشک اندام هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حروف مشترک انگلیسی براساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

درصد مشاهده شد که نشان‌دهنده وجود این قارچ‌ها در خاک غیراستریل مورد استفاده، بود. بدین ترتیب، بیشترین میزان درصد کلونیزاسیون میکوریزایی در تیمار مایه‌زنی پیازچه با روش بذرمال در خاک استریل (۹۳/۳ درصد) و کمترین آن در پیازچه‌های غیرمیکوریزایی رشدکرده در خاک استریل (صفر درصد) تعلق داشت (شکل ۶). نتایج بررسی حاضر حاکی از این است گونه‌های آربوسکولار میکوریزا منتخب به‌خوبی قادر به برقراری رابطه همزیستی با گیاه پیازچه بوده‌اند. این گونه‌های قارچی بر تمام شاخص‌های رویشی مورد بررسی، مؤثر بوده و آن‌ها را نسبت به شاهد (بدون میکوریزا) افزایش دادند. دلایل زیادی برای افزایش رشد گیاهان توسط این گروه قارچی وجود دارد. بهبود رشد در گیاهان همزیست آربوسکولار میکوریزا را می‌توان به کلونیزاسیون ریشه و افزایش سطح تماس و جذب ریشه نسبت داد. در واقع، شبکه هیفی قارچی به‌عنوان ریشه‌های ثانویه و ادامه سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان عمل می‌کنند و به‌علت داشتن قطر کم (دو تا پنج

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



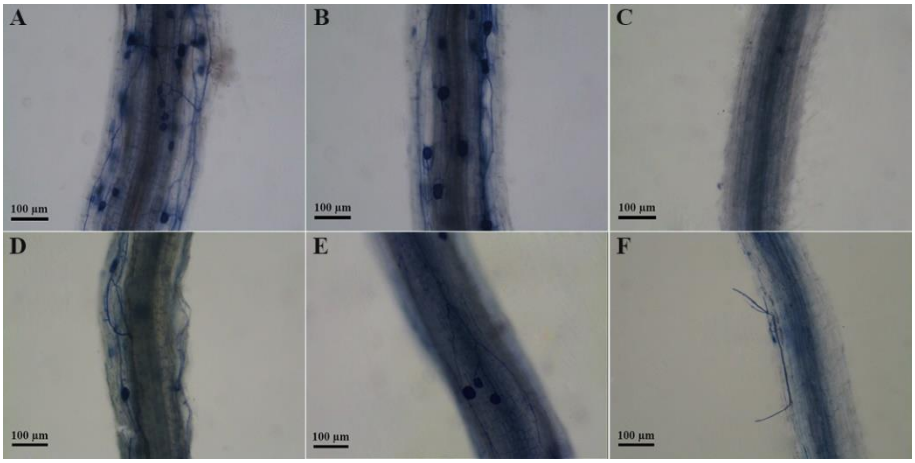
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر ارتفاع ساقه پیازچه در شرایط گلخانه (ستون-های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر کلونیزاسیون میکوریزایی ریشه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

میکرومتر) می‌توانند وارد منافذ بسیار کوچک خاک شوند که در حالت عادی حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ به این مناطق نیستند (محمدی و همکاران، ۱۳۹۵). در نتیجه، این قارچ‌ها با فراهم نمودن سطح جذب‌کننده وسیع‌تر برای جذب و انتقال آب و عناصر غذایی موجود در خاک به ریشه گیاه میزبان، سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Anisha, 2009; Ronga *et al*., 2019). بررسی‌های مختلفی در ارتباط به تأثیر همزیستی آربوسکولار میکوریزا بر صفات رویشی گیاهان زراعی انجام شده است. نتایج یک مطالعه نشان داد گیاهچه‌های گشنیز (*Coriandrum sativum*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و هویج (*Daucus carota*) مایه‌زنی‌شده با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا در یک خاک لوم شنی دارای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



شکل ۷- اندام‌های قارچی آربوسکولار میکوریزا داخل ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده پیازچه. ردیف اول: تیمار بذرمال (A)، خاکی (B) و شاهد (C) در خاک استریل. ردیف دوم: تیمار بذرمال (D)، خاکی (E) و شاهد (F) در خاک غیراستریل.

کمبود مواد غذایی، وزن خشک شاخساره بیشتری داشتند و وجود شبکه گسترده هیف‌های قارچی، افزایش جذب آب و عناصر غذایی را برای گیاه مهیا کرد (Gaur *et al*., 2000). افزایش وزن تر و خشک شاخساره ریحان (*Ocimum basilicum*) و شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) تحت همزیستی با قارچ آربوسکولار میکوریزا گزارش شده است (Liu *et al*., 2002). Gryndler و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند کاربرد دو گونه قارچ آربوسکولار میکوریزا وزن خشک اندام هوایی توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد، اما اختلاف بین دو گونه قارچی معنی‌دار نبود. در یک بررسی ملاحظه گردید مایه‌زنی ریشه‌های شوید (*Anethum graveolens*) و زنیان (*Trachyspermum ammi*) با دو گونه قارچ آربوسکولار میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی آن‌ها شد (Kapoor *et al*., 2002). در آزمایش انجام‌شده روی گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) مشخص شد نشاءهای مایه‌زنی‌شده با گونه *F. mosseae* در خاک با فسفر پایین بهتر از نشاءهای غیرمیکوریزایی رشد کرده و گیاهان میکوریزایی وزن خشک بالاتری داشتند (Garham and Miller, 2005).

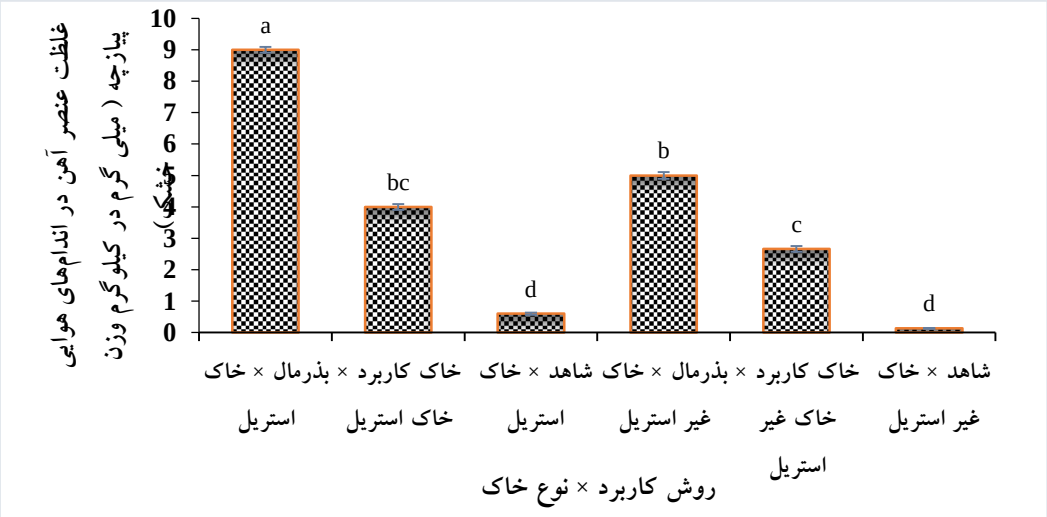
طبق پژوهشی در ارتباط با تأثیرگذاری قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر وزن خشک گیاه توت‌فرنگی مشخص شد گیاهان میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی ۳۱ درصد افزایش وزن خشک داشتند (Fan *et al*., 2008). در مطالعه دیگر، مایه‌زنی پونه کوهی (*Origanum vulgare*) با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا باعث شد وزن تر و خشک شاخه تا سه برابر نسبت به شاهد افزایش یابد (Morone-Fortunato and Avato, 2008). یک آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر گونه *R. intraradices* بر ارتفاع ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی و میزان ازت آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. براساس نتایج، ارتفاع ساقه و میزان نیتروژن در گیاهان میکوریزایی بیشتر از تیمار بود اما وزن تر اندام هوایی در گیاهان تیمارشده کاهش یافت و از لحاظ وزن خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری بین گیاهان میکوریزایی و غیرمیکوریزایی وجود نداشت (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). محققان افزایش ارتفاع گیاه در نتیجه کاربرد این گروه قارچی را ناشی از افزایش توسعه ریشه، بهبود جذب آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های محرک رشد مانند جیبرلین و اکسین‌ها، بیان کرده‌اند (ناظری و همکاران، ۱۳۸۹؛ Duarte *et al*., 2020). از طرفی، ارتفاع بیشتر نشانه افزایش تعداد برگ و سطح فتوسنتزکننده است که به نوبه خود منجر به افزایش تولیدات فتوسنتزی و زیست‌توده گیاه می‌شود (Birhane *et al*., 2012). همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه نعناع (*Mentha piperita*) از طریق جذب آب و عناصر غذایی،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عناصر کم‌مصرف و پرمصرف پیازچه تحت‌تأثیر همزیستی میکوریزایی و سترون کردن خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	آهن (Fe)	منگنز (Mn)	روی (Zn)	مس (Cu)	نیتروژن (N)	فسفر (P)
سترون‌کردن خاک	۱	۱۶/۸۲**	۱۲۲/۷۲*	۵/۳۳*	۰/۲۳^{ns}	۱/۹۶**	۱/۸۵**
میکوریزا	۲	۶۶/۲۴**	۳۳۰/۰۵**	۲۵/۲۲**	۳/۶۴**	۸/۷۵**	۵/۴۳**
سترون‌کردن خاک × میکوریزا	۲	۵/۰۸*	۸/۷۲^{ns}	۰/۱۲^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۸۶**	۰/۴۳*
خطا	۱۲	۰/۷۴	۱۷/۵	۰/۹۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۳
ضریب تغییرات (٪)	–	۲۴/۱۹	۳۹/۴۳	۳۵/۰۹	۳۹/۶۸	۱۵/۰۷	۱۵/۱۹

***، **، به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns تفاوت غیرمعنی‌دار**

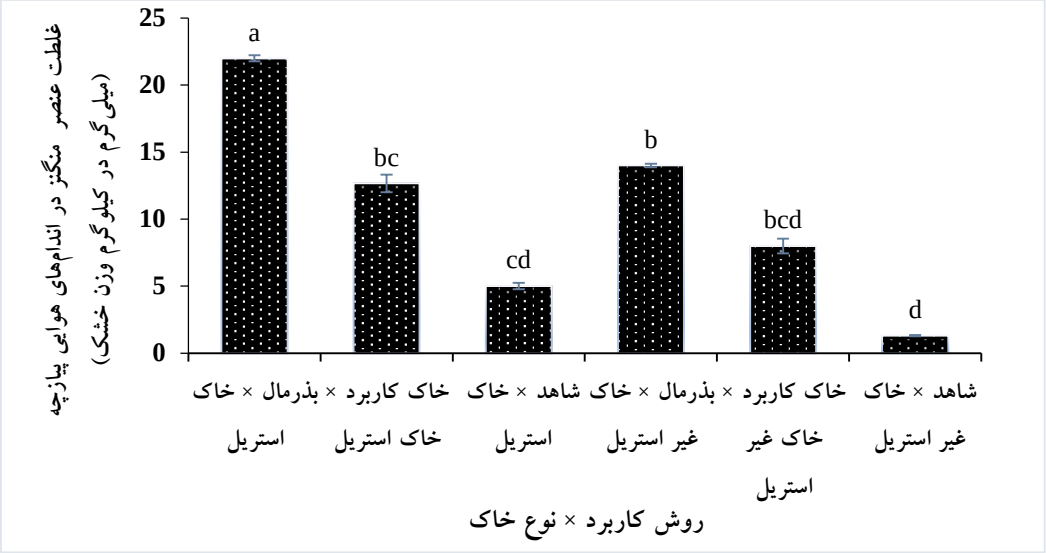


شکل ۸- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان آهن اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

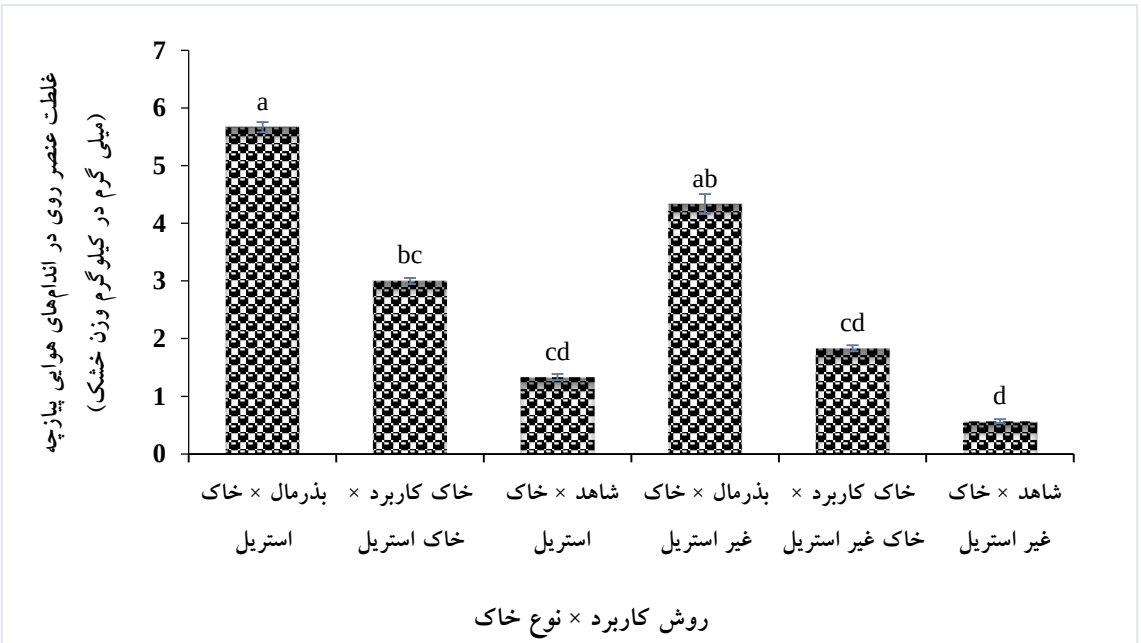
سبب افزایش فتوسنتزشده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و افزایش ارتفاع گیاه گردید (Gupta *et al.*, 2002). در بررسی انجام‌شده روی ذرت (*Zea mays*) مشخص شد قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی و همچنین فراهمی فسفر غیرقابل جذب خاک برای ذرت سبب بهبود رشد گیاه و افزایش ارتفاع این گیاه شدند (Russo *et al.*, 2005). در مطالعه‌ای دیگر، ذرت‌های مایه‌زنی شده با قارچ *F. mosseae* در مقایسه با تیمار غیرمیکوریزایی به‌طور معنی‌داری ارتفاع بیشتری داشتند (Zhang *et al.*, 2011). طبق گزارش Sun و Tang (۲۰۱۳) همزیستی گیاه سورگوم (*Sorghum bicolor*) با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا موجب بهبود رشد و افزایش ۱۲۹ درصدی در زیست‌توده گیاهان همزیست نسبت به شاهد شد.

در بررسی حاضر، میزان جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در اندام هوایی پیازچه‌های میکوریزایی بیشتر از میزان آن‌ها در تیمارهای غیرمیکوریزایی بود. نتایج تجزیه واریانس مربوط به میزان نیتروژن و فسفر اندازه‌گیری‌شده در اندام هوایی پیازچه نشان داد محتوای این عناصر در روش‌های کاربرد میکوریزا به‌صورت بذرمال و خاکی نسبت به تیمارهای شاهد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود همچنین،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



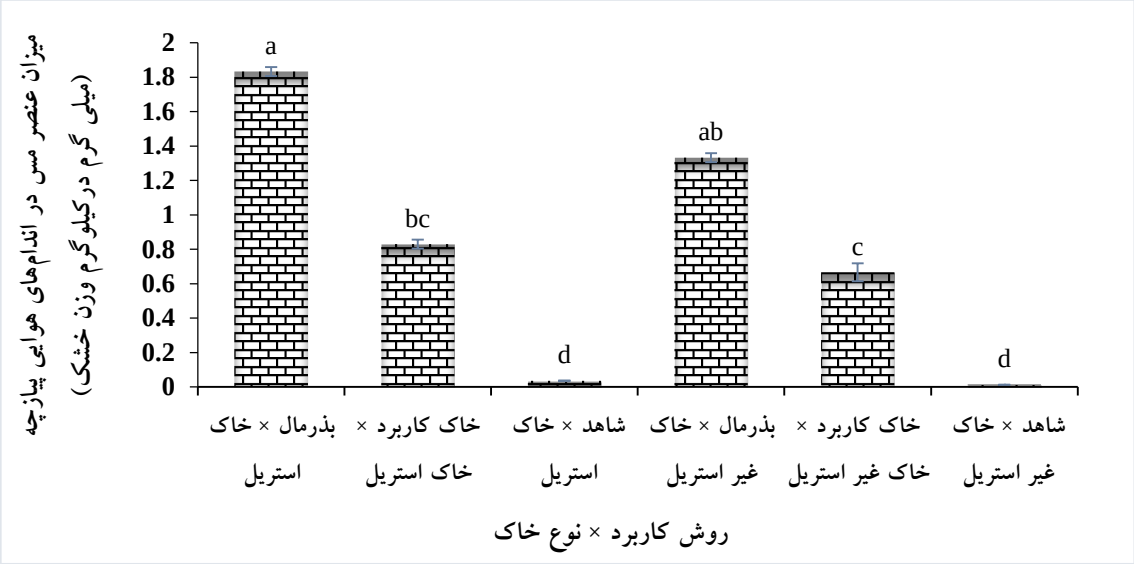
شکل ۹- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان منگنز اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).



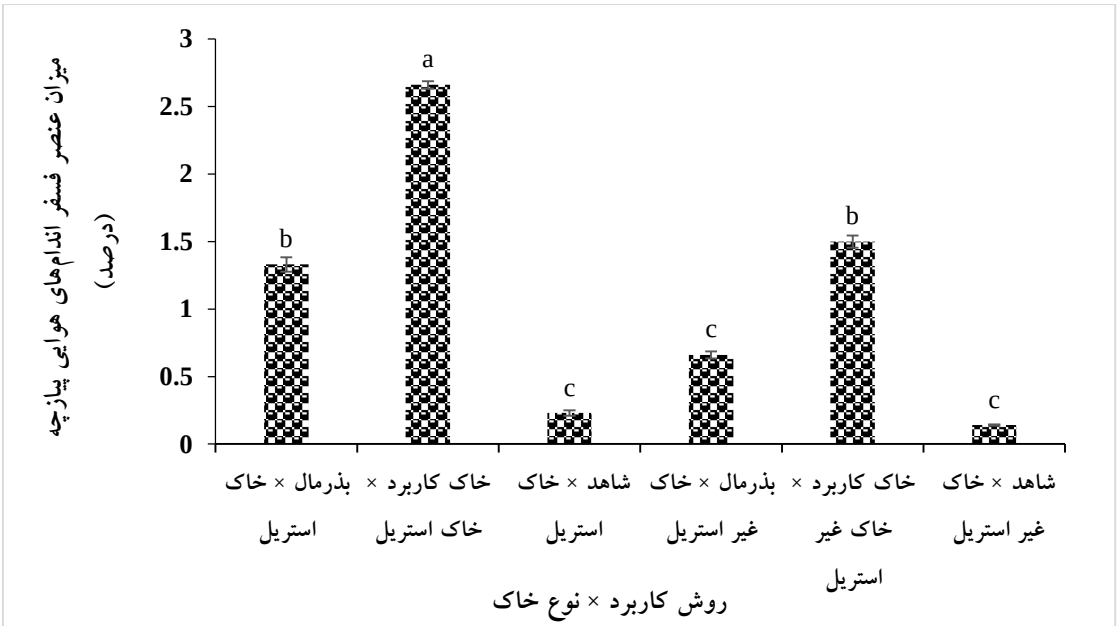
شکل ۱۰- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان عنصر روی اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

استریل و غیراستریل بودن خاک نیز بر میزان این عناصر تأثیر گذاشته و به لحاظ آماری در سطح یک درصد معنادار بودند (جدول ۲). در بخش ارزیابی عناصر کم‌مصرف، با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، روش‌های کاربرد میکوریزا بر غلظت عناصر آهن، منگنز و مس تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. استریل و غیراستریل بودن خاک نیز تأثیر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



شکل ۱۱- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان مس اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).



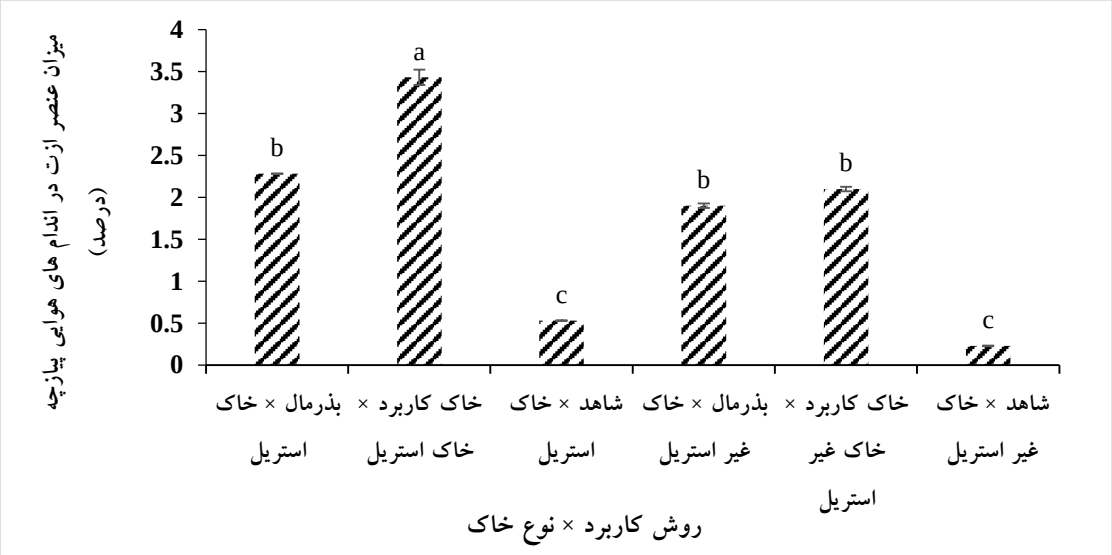
شکل ۱۲- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان فسفر اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری باهم ندارند).

معنی‌داری روی غلظت آهن و منگنز در سطح یک درصد نشان داده ولی بر میزان عنصر مس اثر معنی‌داری نداشت. میزان عنصر روی نیز در تیمارهای روش کاربرد این گروه قارچی و سترون‌کردن خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر برهمکنش روش‌های مایه‌زنی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]



شکل ۱۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های مایه‌زنی میکوریزایی و سترون کردن خاک بر میزان فسفر اندام‌های هوایی پیازچه در شرایط گلخانه (ستون‌های با حرف مشترک انگلیسی بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم ندارند).

میکوریزایی و سترون‌کردن خاک بر مقدار عناصر فسفر و نیتروژن نشان داد بیشترین مقدار این عناصر در تیمار کاربرد خاکی میکوریزا در خاک استریل و کمترین آن‌ها مربوط به تیمار پیازچه غیرمیکوریزایی در خاک غیراستریل بود (شکل ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عناصر کم‌مصرف نشان داد بیشترین میزان آهن، منگنز، روی و مس در تیمار کاربرد گونه‌های میکوریزا به روش بذری در خاک استریل و کمترین آن‌ها در تیمار غیرمیکوریزایی در خاک غیراستریل مشاهده گردید (شکل ۶). جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف (به‌ویژه فسفر) توسط گیاهان زراعی همواره با مشکلات زیادی مواجه می‌شود. این محدودیت‌ها به‌ویژه با اثرات آنتاگونیستی بین عناصر مانند فسفر بالا در ممانعت از جذب روی، دو چندان می‌شود (David *et al*., 2007). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با اثر رقیق‌سازی و تحریک رشد ضمن کاهش جذب هر کدام از عناصر در شرایط سمیت و افزایش جذب در شرایط کمبود عنصر، اثرات آنتاگونیستی را تا حدودی تعدیل می‌کنند. همچنین، افزایش فراهمی، جذب و انتقال عناصر غذایی توسط این قارچ‌ها عمدتاً به‌دلیل گسترش و انتشار هیف‌های قارچی مرتبط با بافت‌های درونی ریشه و تشکیل یک سیستم جذب اضافی است که باعث افزایش بهره‌گیری و دسترسی به حجم بیشتری از خاک می‌شود (Alizadeh and Alizadeh, 2007). از سوی دیگر، پس از برقراری رابطه همزیستی، طول ریشه‌های گیاه افزایش یافته و انشعابات آن وسیع‌تر شده و می‌توانند در جذب عناصر غذایی کارایی بیشتری داشته باشند (تدین و سلطانیان، ۱۳۹۵). همچنین، قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با تولید و انتشار ترکیبات کلاته‌کننده مانند سیدروفور در برقراری تعادل عناصر غذایی در گیاهان میزبان نقش دارند (Smith and Read, 2008).

فسفر یکی از مهمترین عناصر غذایی است که کمبود آن موجب کاهش رشد گیاه به‌ویژه ریشه‌ها، می‌شود. برخی گونه‌های آربوسکولار میکوریزا آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی (Tarafdar, 1995) و فسفاتاز قلیایی (Kojima *et al*., 1998) تولید می‌کنند که عمدتاً در دیواره سلولی هیف‌های برون ریشه‌ای این گروه قارچی وجود دارند. این آنزیم‌ها موجب تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیرآلی و آزادسازی فسفر از کمپلکس آلی می‌شوند (Sato *et al*., 2015). همچنین این گروه قارچی با ترشح اسیدهای آلی مانند اگزالات‌ها که میل ترکیبی آن‌ها با آهن، کلسیم و آلومینیوم بیشتر از فسفر است، باعث آزادشدن فسفر ترکیب‌شده با این عناصر می‌شوند. اگزالات در نهایت توسط اکتینومیست‌ها تجزیه شده و دی‌اکسید کربن حاصل می‌شود که این امر سبب کاهش اسیدیته خاک و افزایش حلالیت ترکیبات فسفره می‌شود؛ در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

نتیجه، میزان دسترسی گیاه به فسفر افزایش می‌یابد (Kojima *et al*., 1998). در یک بررسی چنین برآورد شد که کلونیزاسیون ریشه پیاز خوراکی توسط قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا معادل ۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود فسفات است (Brevester, 1994). در آزمایش دیگر، مایه‌زنی توت‌فرنگی با دو گونه آربوسکولار میکوریزا (*F. mosseae* و *Rhizophagus irregularis*) سبب افزایش غلظت فسفر اندام هوایی در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی (شاهد) شد (Matsubara *et al*., 2009).

Mahaveer و Alok (۲۰۰۰) گزارش کردند مایه‌زنی پیاز با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، مقدار فسفر اندام‌های هوایی و عملکرد غده‌ها نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی گردید. در تحقیق دیگر، کلونیزاسیون ارقام بهاره پیاز خوراکی توسط گونه‌های *F. mosseae* و *R. intraradices* موجب بهبود عملکرد و کیفیت پیاز از لحاظ طعم و بویایی شد (Guo *et al*., 2006). در یک بررسی، تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا (*Claroideoglomus etunicatum*، *Glomus versiforme*، *F. mosseae* و *R. intraradices*) بر جذب عناصر غذایی پیاز آزمایش شد. نتایج تجزیه آماری نشان داد میزان کل جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز، روی و مس در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با این گروه قارچی بیشتر از تیمار شاهد بدون مایه‌زنی بود و گونه‌های مختلف قارچ، کارایی متفاوتی در جذب عناصر غذایی داشتند (توسلی و بابیوردی، ۱۳۸۶).

علت افزایش میزان نیتروژن در گیاهان مایه‌زنی‌شده با قارچ آربوسکولار میکوریزا می‌تواند این امر باشد که میسلیوم‌های برون ریشه‌ای این گروه قارچی در سطح خاک گسترش یافته و جذب نیتروژن را برای گیاه میزبان فراهم می‌کنند (Hawkins and George, 2001). از طرفی قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا با اسیدی‌کردن خاک ناحیه فراریشه گیاه به جذب NH^+_4 حتی در شرایطی که NH^+_4 شکل غالب نیتروژن در محیط نیست، نقش بسزایی دارند (Neumann and Eckhard, 2010). در یک بررسی مشخص شد ریشه گیاهان میکوریزایی سطح فعالیت آنزیم‌های نیترات ردوکتاز بالاتر است که موجب افزایش جذب نیتروژن می‌شود (Giri *et al*., 2004). افزایش جذب نیتروژن در گیاه (*Lavandula spica*) توسط گونه‌های *F. mosseae* و *R. intraradices* در مناطق نیمه‌خشک مدیترانه‌ای مشاهده شده است (Marulanda *et al*., 2007). در پژوهشی که روی گیاه کاهو (*Lactuca sativa*) در شرایط همزیستی با قارچ آربوسکولار میکوریزا صورت گرفت، نتایج بیانگر این بود که در اثر مایه‌زنی گیاه با این قارچ‌ها میزان نیتروژن برگ نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (اسماعیل‌پور و امانی، ۱۳۹۳).

دلایلی که برای افزایش جذب فسفر و نیتروژن ذکر شد می‌تواند افزایش جذب عناصر کم‌مصرف را نیز پوشش دهد که مهم‌ترین آن، توسعه هیف‌های برون ریشه‌ای قارچ در خاک و داخل بافت‌های ریشه است (Grace *et al*., 2011). مطابق با نتایج یک پژوهش، مقدار عنصر روی جذب‌شده در گیاه با درصد کلونیزاسیون میکوریزایی رابطه مثبت داشته است. در ترشحات ریشه گیاهان میکوریزایی ترکیب‌هایی مانند آمینواسیدها و کربوکسیلیک اسیدها شناسایی شده و این فرضیه مطرح است که کمپلکس به‌وجود آمده از ترکیب‌ها و عنصر روی منجر به افزایش سرعت انتشار این عنصر شده و بدین گونه در همزیستی میکوریزایی، میزان جذب روی توسط گیاه میزبان افزایش می‌یابد (Sharma and Johri, 2003). در بررسی دیگر، گیاهان کاهوی (*Lactuca sativa*) مایه‌زنی‌شده با گونه *R. fasiculatus* سطوح بالاتری از کلسیم، عناصر ریزمغذی و همچنین کارتنوئیدها داشت (Baslam *et al*., 2011).

طبق نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۳)، محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید، تحت‌تأثیر روش کاربرد گونه‌های میکوریزایی قرار گرفتند که از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشتند. تأثیر ساده تیمار سترون‌کردن خاک بر محتوای کلروفیل پیازچه متفاوت بود؛ به‌طوری‌که کلروفیل a در سطح ۵ درصد، کلروفیل b و کاروتنوئید بدون تفاوت معنادار و کلروفیل کل در سطح یک درصد معنادار بودند. همچنین، اثرات متقابل روش مایه‌زنی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

آربوسکولار میکوریزا و سترون‌کردن خاک فقط بر میزان کلروفیل کل تأثیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به محتوای کلروفیل پیازچه نشان داد. بیشترین مقدار افزایش کلروفیل a نسبت به شاهد بدون میکوریزایی در خاک استریل و غیراستریل مربوط به تیمار بذرمال می‌شد. همچنین در مورد افزایش کلروفیل b، بیشترین افزایش این پارامتر در خاک استریل نسبت به تیمار شاهد، مربوط به تیمار بذرمال بوده و تیمارهای بذرمال و خاکی در خاک غیراستریل افزایش یکسانی نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. میزان افزایش کاروتنوئید در خاک استریل و غیراستریل حاوی میکوریزا نسبت به شاهد بدون میکوریزا در هر دو روش کاربرد بذرمال و خاک کاربرد به یک اندازه بود. کلروفیل کل در خاک استریل در تیمارهای بذرمال نسبت به خاکی افزایش بیشتری نشان داد ولی در خاک غیراستریل، تیمارهای بذرمال و خاکی هر دو به یک اندازه کلروفیل کل بیشتری نسبت به شاهد غیرمیکوریزایی نشان دادند (شکل ۷). در پژوهش حاضر، افزایش میزان کلروفیل‌های a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئید در تیمارهای مایه‌زنی‌شده با گونه‌های آربوسکولار میکوریزا کاملاً مشهود بود. همان‌طور که گفته شد، همزیستی میکوریزایی در اغلب موارد سبب افزایش غلظت عناصر مختلف از جمله نیتروژن، فسفر، منیزیم و پتاسیم در بافت برگ‌هایی گیاه میزبان می‌شود؛ در نتیجه برگ‌های گیاه دارای کلروفیل بیشتری بوده و به دنبال آن، دارای رشد بالاتری هستند (Giri *et al*., 2004). از سوی دیگر، هیف‌های قارچی وارد سیستم ریشه‌ای گیاه شده و سبب کاهش غلظت آبسزیک اسید و افزایش میزان سیتوکینین و جیبرلین می‌شوند (Demir, 2004). سیتوکینین تمایز کلروپلاست را بهبود می‌بخشد و موجب سنتز کلروفیل می‌شود (Fletcher *et al*., 2000).

در بررسی انجام‌شده توسط Wu و Xia (۲۰۰۶)، محتوای کلروفیل در گیاهچه‌های تانجرین مایه‌زنی‌شده با قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بیشتر از گیاهچه‌های شاهد بود. آن‌ها اظهار داشتند بهبود شرایط تغذیه‌ای و محیطی در اثر همزیستی میکوریزایی، موجب افزایش توان گیاه در تولید کلروفیل برگ‌ها و تولید انرژی بیشتر می‌شود که این امر بر میزان کلروفیل نیز تأثیر می‌گذارد. براساس نتایج یک تحقیق، مایه‌زنی پیاز خوراکی (*Allium cepa*) با گونه *R. interaradices* باعث افزایش میزان جذب فسفر، بهبود پارامترهای رشدی از جمله وزن تر و خشک سوخ و افزایش مقدار کلروفیل b شد. همچنین، بهبود رشد و جذب بهتر عناصر غذایی منجر به زودرسی پیازهای میکوریزایی گردید (Bolandnazar *et al*., 2007). نتایج به‌دست آمده از یک پژوهش نشان داد افزایش در محتوای کلروفیل ممکن است به‌علت افزایش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، تعرق و رشد گیاه باشد. همچنین، محتوای بیشتر کلروفیل می‌تواند به‌علت بزرگتر و بیشتر بودن سلول‌های پوشاننده غلاف آوندی در گیاهان مایه‌زنی‌شده، باشد (Arumugam *et al*., 2010). همزیستی گیاهان گوجه‌فرنگی با قارچ آربوسکولار میکوریزا موجب افزایش محتوای کارتنوئید نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی شد (Abdel Latef and Chaoxing, 2011). در مطالعه دیگر، تأثیر قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا بر محتوای کلروفیل a گیاه لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris*) معنی‌دار نبود اما بر کلروفیل b و کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲).

مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، تمامی شاخص‌های مورد بررسی در پیازچه‌های میکوریزایی که در خاک استریل کشت شده بودند، نسبت به سایر تیمارها در خاک غیراستریل بیشتر بودند. از دلایل آن می‌توان به این موضوع اشاره کرد اتوکلاو موجب از بین رفتن ریزجانداران و عوامل میکروبی خاک می‌شود؛ بنابراین، این گروه قارچی به سرعت در ناحیه فراریشه گیاه مستقر شده و بدون داشتن رقبا اعم از ریزجانداران مفید و غیرمفید، اسپورزایی، جوانه‌زنی اسپور و کلونیزاسیون ریشه را انجام می‌دهند. همچنین، با سترون‌کردن و در غیاب قارچ‌های بومی خاک، وابستگی رشدی گیاه به گونه‌های آربوسکولار میکوریزا افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است رقابت بین گونه‌های قارچی به‌کار رفته (زادمایه قارچی میکوریزایی) و میکوریزاهای بومی و سایر ریزجانداران در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

خاک غیراستریل ممکن است رفتار این گروه قارچی را تحت‌تأثیر قرار دهد (Baas, 1990).

در بررسی حاضر مشخص شد گونه‌های *F. mosseae* و *R. intraradices* در هر دو روش مایه‌زنی خاک کاربرد و بذرمال از توانایی قابل توجهی برای ایجاد رابطه همزیستی با ریشه گیاه پیازچه برخوردار هستند. گونه *F. mosseae* از نظر اکولوژیکی قابلیت سازگاری با شرایط محیطی مختلف را دارد (Borstler *et al*., 2006) و *R. intraradices* توانایی بالایی در اسپورزایی و تولید اسپور درون و برون‌ریشه‌ای و همچنین تشکیل شبکه هیفی گسترده در اطراف ریشه برای جذب عناصر غذایی است (Abbott and Robson, 1985). بهترین حالت، استفاده از مخلوط چندین گونه میکوریزایی است که در این صورت، بقا و تداوم هم‌زیستی تضمین شده است و به‌طور معنی‌داری موجب افزایش میزان کلونیزاسیون ریشه و بهبود شاخص‌های رشدی گیاه میزبان می‌گردد. همچنین، این گروه قارچی علی‌رغم اینکه میزبان اختصاصی ندارند اما از نظر تکثیر و استقرار در بافت ریشه ممکن است در گونه‌های گیاهی مختلف و حتی ارقام مختلف یک گونه گیاهی تفاوت داشته باشند (صدروی، ۱۳۹۰).

برای برقراری رابطه همزیستی میکوریزایی و کلونیزاسیون ریشه، پروپاگل‌های قارچی باید در تماس نزدیک با ریشه‌های گیاه میزبان قرار گیرند. در همین راستا برای استفاده کاربردی‌تر از این گروه قارچی، یافتن روش مایه‌زنی مؤثر و کارآمد حائز اهمیت است (Glick, 2012). براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد گونه‌های قارچی با روش بذرمال باعث افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی پیازچه شد. یکی از دلایل بیشتربودن این شاخص‌ها نسبت به روش خاک کاربرد احتمالاً این باشد که در هنگام مخلوط‌شدن زادمایه میکوریزایی با بذر، به محض جوانه‌زدن و تشکیل ریشه‌چه و ساقه اولیه گیاهچه، اندام‌های میکوریزایی شروع به کلونیزه‌کردن ریشه‌چه نموده و در جذب آب و مواد غذایی به گیاه کمک می‌کنند. بنابراین، در چنین حالتی گسترش سیستم ریشه‌ای برای تأمین نیازهای آبی و غذایی گیاه کمتر از حالت خاک‌کاربرد است. در نتیجه وزن تر و خشک اندام‌های هوایی در روش بذرمال بیشتر از روش خاک کاربرد خواهد بود. بنابراین، در صورت مناسب‌بودن میزان مایه تلقیح قارچی، گونه قارچی و ژنوتیپ گیاهی، روش بذری می‌تواند به اندازه روش خاک کاربرد برای گیاهان زراعی کارایی داشته باشد که در این صورت حجم زادمایه مصرفی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، در روش بذری زادمایه قارچی به‌طور مستقیم روی بذر استفاده می‌شود که در تماس با ریشه گیاه میزبان قرار می‌گیرند؛ در نتیجه، درصد موفقیت افزایش می‌یابد (Malusa *et al.*, 2012). بنابراین، با استفاده از زادمایه قارچی مناسب و سازگار با شرایط خاک و روش مایه‌زنی مقرون به صرفه و موفق می‌توان از این گروه قارچی در مراحل اولیه رشد گیاهان میزبان جهت استقرار و بقا، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و جلوگیری از کاهش رشد و عملکرد گیاه استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در مجموع، مطالعه حاضر نشان داد قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا از طریق افزایش کارایی جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، تأثیر مثبتی بر فاکتورهای رشدی و محتوای کلروفیل پیازچه داشته و در مقایسه با شاهد، موجب افزایش معنی‌دار تمام صفات مورد بررسی گردید. پس از کلونیزاسیون گیاه، اثرات سودمند همزیستی میکوریزایی در قارچ و گیاه بروز می‌دهد؛ در حقیقت، هیف‌های قارچی گسترش یافته و منابع غذایی مورد نیاز خود را از گیاه دریافت می‌کنند. از سوی دیگر، گسترده‌شدن شبکه هیفی قارچی موجب افزایش سطح جذب ریشه و افزایش جذب آب و عناصر معدنی به‌ویژه فسفر شده و در نتیجه، رشد گیاه تحریک می‌گردد (Fellbaum *et al*., 2014).

هدف اصلی کشاورزی پایدار کاهش نهاده‌های مصرفی، افزایش چرخه داخلی عناصر غذایی خاک از طریق کاهش خاک‌ورزی و استفاده از کودهای زیستی به‌جای کودهای شیمیایی در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و تولید غذای بیشتر است. استفاده از کودهای زیستی مبتنی بر

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا می‌تواند به‌عنوان یک راهکار تأثیرگذار جهت بهبود رشد و عملکرد محصولات کشاورزی مطرح گردد. از سوی دیگر، این گروه قارچی باعث کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی شده و علاوه بر اثرات مثبت اقتصادی و زیست‌محیطی، تعادل اکولوژیک خاک را فراهم می‌کند. بنابراین، استفاده از همزیستی آربوسکولار میکوریزا افق وسیعی را در پیش‌روی محققین می‌گذارد و گامی مثبت در جهت تولید پایدار گونه‌های گیاهی متعلق به خانواده پیاز در مناطق پیازکاری ایران و احیای کشاورزی پایدار محسوب می‌شود.

منابع

احمدی، طیبه، برنارد، فرانسواز، زنگنه، سیما، و رجالی، فرهاد (۱۳۹۴). شناسایی قارچ‌های میکوریزا اطراف ریزوسفر *Thymus daenensis* و میکوریزاسیون این گیاه در شرایط گلخانه‌ای با *Glomus intraradices*. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، ۲۵(۴)، ۶۸۳-۶۷۴. DOR:20.1001.1.23832592.1394.28.4.1.2

اسماعیل‌پور، بهروز، و امانی، ناصر (۱۳۹۳). بررسی تأثیر تلقیح با قارچ میکوریزا بر رشد و جذب عناصر غذایی کاهو رقم "سیاهو" (*Lactuca sativa* L.). *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۴(۲)، ۶۹-۴۹. DOR: 20.1001.1.23221267.1393.4.2.3.9

تدین، علی، و سلطانیان، مریم (۱۳۹۵). اثر قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار بر رشد، کلونیزاسیون ریشه و جذب فسفر بزرک (*Linum usitatissimum* L.) تحت سطوح مختلف کم‌آبی، *مجله فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۵(۱۵)، ۱۵۶-۱۴۷. http://jispp.iut.ac.ir/article-1-329-fa.html

توسلی، علی رضا، و بایبوردی، احمد (۱۳۸۶). تأثیر قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در جذب عناصر غذایی در پیاز. دهمین کنگره علوم خاک، کرج، ایران. https://issc.areeo.ac.ir/article_30251.pdf

حاجی‌نیا، سمیه، و زارع، محمدجواد. (۱۳۹۳). تأثیر تلقیح دو جانبه قارچ *Piriformospora indica* و باکتری *Azospirillum* spp. بر برخی صفات فیزیولوژیکی، جذب عناصر و عملکرد دانه گندم تحت تنش شوری. *مجله فن‌آوری تولیدات گیاهی*، ۱۴(۲)، ۱۶۱-۱۴۹. https://ppt.basu.ac.ir/article_1154.html

خاوازی، کاظم، و ملکوتی، محمدجعفر. (۱۳۸۱). ضرورت تولید کودهای بیولوژیک در ایران. انتشارات آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزشی و ترویج کشاورزی، کرج.

صدروی، مهدی (۱۳۹۰). نقش قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مدیریت بیماری‌های گیاهی. *مجله دانش بیماری‌شناسی گیاهی*، ۱(۱)، ۱۳-۱. https://yujs.yu.ac.ir/pps/article-1-27-fa.html

عرب نیاسر، لیلا، میرزاخانی، محمد، و نوزاد نمین، کریم (۱۳۹۸). بررسی کارایی نیتروژن و عملکرد دانه لوبیا سفید تحت کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۹(۳)، ۱۱-۱. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_9372.html

کریمی، کیوان، بلندنظر، صاحبعلی.، و آشوری، سعید (۱۳۹۲). اثر کودهای زیستی و قارچ میکوریز آربوسکولار بر عملکرد، صفحات رشد و کیفیت لوبیا سبز (*Phaseolous vulgaris* L.). *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۳(۳)، ۱۶۷-۱۵۷. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_1562.html

محمدی، ژیلا، ناصری، لطفعلی. و برین، محسن (۱۳۹۵). تأثیر بسترهای کشت و همزیستی قارچ ریشه‌ای آربوسکولار بر رشد و استقرار پایه‌های سیب ریزازدیادی شده MM106. *علوم باغبانی ایران*، ۴۷(۲)، ۲۹۶-۲۸۷. https://www.sid.ir/paper/148207/fa

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

ناظری، پریسا، کاشانی، علی، خاوازی، کاظم، اردکانی، محمدرضا.، میرآخوری، مجتبی، و پورسیاه‌بیدی، محمدمهدی. (۱۳۸۹). واکنش لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.) به تلقیح با ریزوبیوم و کاربرد نواری کود زیستی فسفر گرانوله حاوی روی. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*، ۲ (۱)، ۱۸۵-۱۷۵. https://agry.um.ac.ir/article_27252.html

Abbott, L. K., & Robson, A. D. (1985). Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, *99*, 245-255. https://www.jstor.org/stable/2434399.

Abdel Latef, A. A. H., & Chaoxing, H. (2011). Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *33*, 1217-1225. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0650-3.

Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, *58*(4), 921-929. https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y.

Alizadeh, O., & Alizadeh, A. (2007). The Effect of mycorrhizal fungi on maize nutrients absorption in different soil moisture conditions. *Journal of Research in Agricultural Sciences*, *3*, 101-108.

Anisha, P. (2009). Studies on inducing variability in vitro and use of mycorrhizae in hardening of gerbera. Master of Science Thesis, UAS, Dharwad.

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1.

Arumugam, R., Rajasekaran, S., & Nagarajan, S. M. (2010). Response of Arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium inoculation on growth and chlorophyll content phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*, *165*, 1137-1145. http://dx.doi.org/10.4314/jasem.v14i4.63282.

Azcon, R., Ambrosano, E., & Charest, C. (2003). Nutrient acquisition in mycorrhizal lettuce plants under different phosphorus and nitrogen concentration. *Plant Science*, *165*, 1137-1145. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00322-4.

Baas, R. (1990). Effects of of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphate uptake of *plantago major* spp. *pleiosperma*. *Vigna unguiculata* (L) Walp Var. Pusa 151. *Journal of Plant nutrition-physiology and applications*, *14*, 153-159. https://edepot.wur.nl/264308#page=153.

Bagyaraj, D. J., & Varma, A. (1995). Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and plants, and their importance in sustainable agriculture in arid and semi-arid tropics. *Advances in Microbial Ecology*, *14*, 119-142. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7724-5_3.

Baslam, M., Garmendia, I., & Goicoechea, N. (2011). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*(10), 5504-5515. https://doi.org/10.1021/jf200501c.

Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ahmed, N., Ashraf, M., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, *10*,1068-1085. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068.

Biermann, B., & Linderman, R. (1983). Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phytologist*, *95*(1), 97-105. https://www.jstor.org/stable/2434175.

Birhane, E., Sterck, F. J., Fetene M., Bongers, F., & Kuyper, T. W. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia*, *169*(4), 895-904. https://doi.org/10.1007/s00442-012-2258-3.

Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M. R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulturae*, *114*, 11-15. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.012.

Borstler, B., Renker, C., Kahmen, A., & Buscot, F. (2006). Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. *Biology and Fertility of Soils*, *42*, 286-298. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0026-9.

Bowles, T. M., Barrios-Masias, F. H., Carlisle, E. A., Cavagnaro, T. R., & Jackson, L. E. (2016). Effects of arbuscular mycorrhizae on tomato yield, nutrient uptake, water relations, and soil carbon dynamics under deficit irrigation in field conditions. *Science of the Total Environment*, *566*, 1223-1234. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.178.

Brevester, J. L. (1994). Onion and Other Vegetable Alliums. CAB International, Cambridge.

Chapman, B., Jones, D., & Jung, R. F. (1983). Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *47*(11), 1957-1973. https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90213-2.

Chen, X., Wu, C., Tang, J., & Hu, S. (2005). Arbuscular mycorrhiza enhance metal lead uptake and growth of host plant under a sand culture experiment. *Chemosphere*, 60, 665-671. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.029.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

David, D., Gerald, N., Carolyn, R., & Paul, R. H. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological Agriculture and Horticulture, 25*, 67-78. https://doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209.

Debska, B., Dlugosz, J., Piotrowska-Dlugosz, A., & Banach-Szott, M. (2016). The impact of a bio-fertilizer on the soil organic matter status and carbon sequestration-results from a field-scale study. *Journal of Soils Sediments, 16*, 2335-2343. https://doi.org/10.1007/s11368-016-1430-5.

Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology, 28*, 85-90. https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol28/iss2/5/.

Di Martino, C., Palumbo, G., Vitullo, D., Di Santo, P., & Fuggi, A. (2018). Regulation of mycorrhiza development in durum wheat by P fertilization: Effect on plant nitrogen metabolism. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 181*(3), 429-440. https://doi.org/10.1002/jpln.201700110.

Duarte, C. F. D., Cecato, U., Hungria, M., Fernandes, H. J., Biserra, T. T., Galbeiro, S., Toniato, A. K. B., & da Silva, D. R. (2020). Morphogenetic and structural characteristics of Urochloa species under inoculation with plant-growth-promoting bacteria and nitrogen fertilization. *Crop and Pasture Science, 71*, 82-89. https://doi.org/10.1071/CP18455.

Fan, Y., Luan, Y., An, L., & Yu, K. (2008). Arbuscular mycorrhizae formed by *Penicillium pinophilum* improve the growth, nutrient uptake and photosynthesis of strawberry with two inoculum-types. *Biotechnology Letters, 30*, 1489-1494. https://doi.org/10.1007/s10529-008-9691-8.

Fellbaum, C. R., Mensah, J. A., Cloos, A. J., Strahan, G. E., Pfeffer, P. E., Kiers, E. T., & Bucking, H. (2014). Fungal nutrient allocation in common mycorrhizal networks is regulated by the carbon source strength of individual host plants. *New Phytologist, 203*, 646-656. https://doi.org/10.1111/nph.12827.

Fletcher, R. A., Gilley, A., Sankhla, N., & Davis, T. D. (2000). Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Horticultural Reviews, 24*, 55-138. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20063176455.

Garham, J. H., & Miller, R. M. (2005). Mycorrhizas: Gene to function. *Plant and Soil, 274*, 79-100. https://doi.org/10.1007/s11104-004-1419-5.

Gaur, A., Adholeya, A., & Mukergi, K. G. (2000). On farm production of VAM inoculums and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. *Tropical Agriculture, 77*(1), 21-26. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20003034624.

Giri, B., & Mukerji, K. G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: Evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza, 14*, 307-312. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0274-1.

Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 1-15. https://www.hindawi.com/journals/scientifica/2012/963401/abs/.

Grace, E. J., Cotsaftis, O., Tester, M., Smith, F. A., & Smith, S. E. (2009). Arbuscular mycorrhizal inhibition of growth in barley cannot be attributed to extent of colonization, fungal phosphorus uptake or effects on expression of plant phosphate transporter genes. *New Phytologist, 181*, 938-949. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02720.x.

Gryndler, M., Vosatka, M., Hrselova, H., Catska, V., Chvatalova, I., & Jansa, J. (2002). Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria on growth and mineral nutrition of strawberry. *Journal of Plant Nutrition, 25*(6), 1341-1358. https://doi.org/10.1081/PLN-120004393.

Guo, T., Zhang, J., Christie, P., & Li, X. (2006). Influence of nitrogen and sulfur fertilizers and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on yield and pungency of spring onion. *Journal of Plant Nutrition, 29*, 1767-1778. https://doi.org/10.1080/01904160600897497.

Gupta, M., Prasad, A., Ram, M., & Kumar, S. (2002). Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology, 81*(1), 77-79. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00109-2.

Hawkins, H. J., & George, E. (2001). Reduced 15N-nitrogen transport through arbuscular mycorrhizal hypha to *Triticum aestivum* L. supplied with ammonium vs. nitrate nutrition. *Annals of Botany, 87*(3), 303-311. https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1305.

Herrmann, L., & Lesueur, D. (2013) Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. *Applied Microbiology and Biotechnology, 97*(20), 8859-8873. https://doi.org/10.1007/s00253-013-5228-8.

Inagaki, A. M., Guimaraes, V. F., Rodrigues, L. F. O. S., da Silva, M. B., Diamante, M. S. I., Rampim, L., Mioranza, T. I. M., & Junior, J. B. D. (2014). Phosphorus fertilization associated to inoculation of maize with diazotrophic bacteria. *African Journal of Agricultural Research, 9*, 3480-3487. http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2014.9103.

Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K. G. (2002). *Glomus macrocarpum*: A potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18*(5), 459-463. https://dx.doi.org/10.1023/A:1015522100497.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V., Huber, C., Brands, M., Bucerius, S. L., Delaux, P. M., Klingl, V., Von Ropenack-Lahaye, E., Wang, T. L., & Eisenreich, W. (2017). Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *Elife, 6*, 1-33. https://doi.org/10.7554/eLife.29107.

Khan, I. A., Ahmad, S., Sarwat, M. N., Nizami, M., Athar, M., & Mohammad Shabbir, S. (2007). Growth response of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) to phosphorus and mycorrhizal inoculation. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, *72*(2), 129-132. https://hrcak.srce.hr/16149.

Kojima, T., Hayatsu, M., & Saito, M. (1998). Intraradical hyphae phosphatase of the arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. *Biology and Fertility of Soil*, *26*, 331-335. https://doi.org/10.1007/s003740050384.

Liu, A., Hamel, C., Elmi, A., Costa, C., Ma, B., & Smith, D. L. (2002). Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. *Canadian Journal of Soil Science*, *82*(3), 272-278. https://doi.org/10.4141/S01-022.

Mahaveer, P. S., & Alok, A. (2000). Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an Alfisol. *Biological Agriculture and Horticulture, 18*, 1-14. http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2000.9754860.

Malusa, E., Sas-Paszt, L., & Ciesielska, J. (2012). Technologies for beneficial microorganisms inocula used as biofertilizers. *The Scientific World Journal*, 1-12. https://doi.org/10.1100/2012/491206.

Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J. M., & Azcon, R. (2007). Drought tolerance and antioxidant activities in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. *Microbial Ecology, 54*, 543-552. https://doi.org/10.1007/s00248-007-9237-y.

Matsubara, Y., Ishigaki, T., & Koshikawa, K. (2009). Changes in free amino acid concentrations in mycorrhizal strawberry plants. *Scientia Horticulturae, 119*, 392-396. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.025.

Meikle, T. W., & Amaranthus, M. (2008). The influence of fertilization regime and mycorrhizal inoculum on out planting success a field trial of containerized seedlings in Oregon. *Native Plants Journal, 9*(2), 107-116. https://muse.jhu.edu/article/242649.

Mishra, V., Gupta, A., Kaur, P., Singh, S., Singh, N., Gehlot, P., & Singh, J. (2016). Synergistic effects of Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria in bioremediation of iron contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation, 18*(17), 697-703. https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1131231.

Morone-Fortunato, I., & Avato, P. (2008). Plant development and synthesis of essential oils in micropropagated and mycorrhiza inoculated plants of *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 93*, 139-149. http://dx.doi.org/10.1007/s11240-008-9353-5.

Naik, P. S., Chanemougasoundharam, A., Khurana, S. P., & Kalloo, G. (2003). Genetic manipulation of carotenoid pathway in higher plants. *Current Sciences, 85*, 1423-1430. https://www.jstor.org/stable/24108823.

Neumann, E., & Eckhard, G. (2010). Nutrient uptake: The arbuscular mycorrhiza fungal symbiosis as a plant nutrient acquisition strategy. "*Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*", 137-167. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_7.

Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., & Reinhardt, D. (2014). Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in Petunia hybrida. *PLoS One, 9*(3), e90841. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127472.

Patel, V. I., Saravaiya, S. N., Arvadia, M. K., Chaudhari, J. H., Ahir, M. P., & Bhalerao, R. R. (2010). Effect of conjuctive use of bio-organics and inorganic fertilizers on growth, yield and economics of Rabi Fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) under south Gujarat conditions. *International journal of Agricultural Sciences, 6*, 178-181. http://www.hindagrihorticulturalsocie.

Philips, J. M., & Hyman, D. S. (1970). Improved procerdures clearing root and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycological Research, 55*, 158-161. https://cir.nii.ac.jp/crid/1573387451030928128.

Rady, H., & Nashwa, I. (2018). Quality improvement and seed yield of two garlic cultivars (*Allium sativam* L.) by seaweed extract and mycorrhizae. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences, 63*(1), 41-51. https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3.

Ronga, D., Caradonia, F., Francia, E., Morcia, C., Rizza, F., Badeck, F. W., Ghizzoni, R., & Terzi, V. (2019). Interaction of tomato genotypes and arbuscular mycorrhizal fungi under reduced irrigation. *Horticulturae, 5*(4),79-88. https://doi.org/10.3390/horticulturae5040079.

Russo, A., Felici, C., Toffanin, A., Gotz, M., Collados, C., Barea, J. M., Moenne-Loccoz, Y., Smalla, K., Vanderleyden, J., & Nuti, M. (2005). Effect of *Azospirillum* inoculants on Arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Biology and Fertility of Soils, 41*, 301-309. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0854-7.

Sato, T., Ezawa, T., Cheng, W., & Tawaraya, K. (2015). Release of acid phosphatase from extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus*. *Soil Science and Plant Nutrition, 61*(2), 269-274. https://doi.org/10.1080/00380768.2014.993298.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

Sharma, A., & Johri, B. N. (2003). Growth promoting influence of siderophore-producing *Pseudomonas* strains GRP3A and PRS9 in maize (*Zea mays* L.) under iron limiting conditions. *Microbiological Research*, *158*(3), 243-248. https://doi.org/10.1078/0944-5013-00197.

Sherameti, I., Shahollari, B., Venus, Y., Altschmied L., Varma, A., & Oelmuller, R. (2005). The endophytic fungus *Piriformospora indica* stimulates the expression of nitrate reductase and the starch degrading enzyme glucan water dikinase in tobacco and Arabidopsis roots through a homeodomain transcription factor that binds to conserved motif in their promoters. *Journal Botany and Chemistry*, *280*, 26241-26247. https://doi.org/10.1074/jbc.M500447200.

Skinner, C., Gattinger, A., Krauss, M., Krause, H. M., Mayer, J., Van Der Heijden, M. G., & Mader, P. (2019). The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, *9*,1-10. https://doi.org/10.1038/s41598-018-38207-w.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008) Mycorrhizal Symbiosis. 3nd Ed. Academic Press.

Smith, S. E., & Smith, F. A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annual Review of Plant Biology*, *62*, 227-250. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846.

Sun, X. G., & Tang, M. (2013). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on root traits and root volatile organic compound emissions of *Sorghum bicolor*. South African Journal of Botany, *88*, 373-379. http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2013.09.007.

Tarafdar, J. C. (1995). Visual demonstration of in vitro acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi. *Current Science*, *69*(6), 451-543. https://www.jstor.org/stable/24096888.

Tawaraya, K., Hirose, R., & Wagatsuma, T. (2012). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi can substantially reduce phosphate fertilizer application to *Allium fistulosum* L. and achieve marketable yield under field condition. *Biology and Fertility of Soils*, *48*(7), 839-843. https://doi.org/10.1007/s00374-012-0669-2.

Tawaraya, K., Tokairin, K., & Wagatsuma, T. (2001). Dependence of *Allium fistulosum* cultivars on the Arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *Applied Soil Ecology*, *17*(2), 119-124. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00126-3.

Wu, Q. S., & Xia, R. X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of Plant Physiology*, *163*, 417-425. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.04.024.

Zhang, G. Y., Zhang, L. P., Wei, M. F., Liu, Z., Fan, Q. L., Shen, Q. R., & Xu, G. H. (2011). Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi, organic fertilizer and soil sterilization on maize growth. *Acta Ecologica Sinica*, *31*, 192-196. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.04.005.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]

The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological indices and absorption of some nutrients of scallion (*Allium fistulosum*)

Lale Iilkhan[1*], Ebrahim Sedaghati[2], Hamid Rahimzadeh Behzadi[3], Narges Hatami[4]

[1] Researcher of the plant-protection department of South Kerman Agricultural Research Center, Kerman, Iran
[2] Associated Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Kerman, Iran
[3] Expert of the plant-protection department of South Kerman Agricultural Research Center, Kerman, Iran
[4] Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran
(Received: 18/12/2021, Accepted: 16/01/2023)

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are one of the most important soil microorganisms. They have mutualistic relationships with more than 90% of terrestrial plant species. In order to investigate the effect of *Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae* on some growth and physiological traits and the uptake of some nutrients by scallion seedlings, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. The investigated factors included the mixed application of arbuscular mycorrhizal species in three levels (seed treatment, soil treatment and control) and soil sterilization at two levels (sterile and non-sterile). The results showed that all the studied factors in scallion plants inoculated with mycorrhizal fungi significantly increased compared to non-mycorrhizal plants. The highest fresh and dry weights of shoots and roots were obtained by mycorrhizal seed treatment and soil treatment in sterile soil, respectively. The highest shoot height, phosphorus concentration and nitrogen uptake of scallion were obtained by mycorrhizal soil treatment in sterile soil. The mycorrhizal colonization, the amount of copper, zinc, manganese and iron concentrations, chlorophyll a, b, total and carotenoids contents increased significantly in scallion inoculated with mycorrhizal seed treatment compared to other treatments. In general, arbuscular mycorrhizal fungi used by seed treatment in sterile soil are able to improve the growth of scallions by increasing the absorption of nutrients and photosynthetic pigments.

Keywords: Application method, Growth traits, Sterile, Symbiosis

Corresponding author, Email: laleilkhan@gmail.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2024-05-15]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.56.16.0]