علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳ (ص ۳۷۵-۳۶۱)

تأثیر همزیستی میکوریزی بر کارایی جذب آب و برخی شاخص‌های رشدی گیاه زینتی استئوسپرموم

عزیزاله خندان میرکوهی[1*]، فروغ ظفرفرخی[2]، محمدرضا طاهری[3] و فرهاد رجالی[4]
۱، ۲ و ۳. استادیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
۴. استادیار، مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب کشور، بخش بیولوژی خاک، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۳۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۶/۲۰)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز بر کارایی جذب آب و برخی شاخص‌های رشد گیاه زینتی استئوسپرموم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. همزیستی تعداد ۲۲ گونه قارچ میکوریزی مختلف با این گیاه در این آزمایش مطالعه شد. نتایج نشان داد که قارچ آرباسکولار میکوریز *Glomus mossea* CA و *Glomus mossea* st6 نسبت به قارچ‌های دیگر اثر قابل توجهی بر شاخص‌های رشدی استئوسپرموم داشت. تلقیح گیاهان با قارچ *Glomus mossea* CA کارایی مصرف آب در گیاه را نسبت به گونه‌های دیگر افزایش داد. در قارچ *Glomus* sp. St2 نیز به‌رغم میزان کلون‌سازی کم آن با گیاه استئوسپرموم و عدم تأثیر مثبت آن در ویژگی‌های ریشهٔ این گیاه، کارایی جذب آب بالایی مشاهده شد. قارچ‌های *Glomus mossea* St2 و *Glomus* sp St2 رابطهٔ همزیستی مؤثری با این گیاه نداشتند و تأثیر دیگر گونه‌های میکوریزی در حد متوسط بود. علاوه بر آن گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *Glomus mossea* st6 نسبت به گیاهان تلقیح‌شده با گونه‌های دیگر، به‌طور معناداری وزن تر ریشه، طول ریشه و سطح ریشهٔ بیشتری داشتند. بنابراین، نشان داده شد که تلقیح گیاه استئوسپرموم با گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز بسته به گونهٔ استفاده‌شده منجر به بهبود برخی شاخص‌های رویشی در این گیاه می‌شود و ثابت شد که گیاه زینتی استئوسپرموم در پاسخ به گونه‌های مختلف قارچ‌های آرباسکولار میکوریز واکنش متفاوتی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ایزولهٔ قارچ، تلقیح ریشه، فسفر، کلون‌سازی، گیاه زینتی.

مقدمه

رابطهٔ همزیستی یا مشارکت بین قارچ آرباسکولار میکوریز (AMF) و ریشهٔ گیاهان یکی از همزیستی‌های گستردهٔ شناخته‌شده بین گیاهان و میکروارگانیسم‌هاست (Nagahashi *et al*., 1996). حدود ۹۵ درصد از گونه‌های گیاهی با قارچ میکوریز رابطهٔ همزیستی دارند که در این همزیستی گیاه میزبان کربن آلی مورد نیاز قارچ را فراهم می‌کند و قارچ نیز سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی میزبان می‌شود (Bago *et al*., 2000). از طرف دیگر در شرایط مختلف و به‌خصوص در مواردی که گیاه با محدودیت‌ها و تنش‌های محیطی روبه‌روست، بقا، رشد و توسعهٔ گیاه میزبان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و عناصر غذایی به‌خصوص فسفر و آب مورد نیاز گیاه را تأمین می‌کند (Al-Karaki, 2000; Treseder, 2004). از آنجایی‌که اندازهٔ گیاه و ویژگی‌های سیستم ریشه در افزایش مقاومت به خشکی گیاهان تأثیرگذار است و

* تلفن: ۰۹۱۲۸۵۹۰۲۸۰
E-mail: khandan.mirkohi@ut.ac.ir

کلون‌سازی با میکوریز نیز به‌طور معمول منجر به تغییر ویژگی‌های ریشه از قبیل، طول ریشه و ساختار ریشه می‌شود و می‌تواند جذب مواد غذایی را افزایش دهد، بنابراین گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی تحت شرایط تنش خشکی رشد بهتری دارند (Khalvati *et al*., 2010; Wu *et al*., 2008; Wu & Xia, 2006). قارچ‌های آرباسکولار میکوریز تعادل آبی گیاه میزبان را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Auge, 2001). در پژوهش‌های اولیه در این مورد که تأثیر قارچ‌های آرباسکولار میکوریز در روابط آبی گیاه به اثرات مستقیم این قارچ‌ها در وضعیت تغذیه‌ای فسفر گیاه نسبت داده شده است (Safir *et al*., 1972)، ولی گزارش‌های متعدد دیگر نشان می‌دهد که اثرات این قارچ‌ها بر روابط آبی گیاه میزبان می‌تواند مستقل از وضعیت تغذیه‌ای فسفر باشد (Bethlenfalvay, 1992). ازجمله سازوکارهایی که منجر به افزایش تحمل گیاه به خشکی در صورت همزیستی با آرباسکولار میکوریز می‌شود عبارت از بهبود روابط آبی گیاه، تنظیم اسمزی بهتر، دفاع آنتی‌اکسیدانی و تولید مولکول‌های محافظ بیشتر است (Aroca *et al*., 2007; Ruiz-Sanchez *et al*., 2010). همچنین میسلیوم‌های خارج ریشه‌ای میکوریز سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود که این امر منجر به افزایش حفظ رطوبت و بهبود جذب آب می‌شود (Marulanda *et al*., 2003; Rillig & Mummey, 2006). در شرایط تنش کم‌آبی سطح ریشه و طول ریشه‌های گیاهان میکوریزی افزایش می‌یابد و سبب بهبود هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌ای گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی می‌شود (Troeh & Loynachan, 2003). کم‌آبی سبب کاهش تارهای کشندهٔ ریشه می‌شود و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌کند، در نتیجه سبب کاهش جذب عناصر غذایی از طریق ریشه می‌شود. هیف‌های قارچ میکوریز می‌تواند جانشین سیستم ریشه‌ای شود و عناصر غذایی را جذب کند. می‌توان این‌گونه توصیف کرد که نقش همزیستی میکوریزی در شرایط تنش کم‌آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش همزیستی میکوریزی در شرایط بدون تنش است (Wu & Zou, 2009). به‌طورکلی، این قارچ‌ها با افزایش جذب آب، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی، افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا، موجب بهبود در رشد و عملکرد گیاه میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Sharma, 2002). گزارش شده است همزیستی قارچ میکوریز گونهٔ *Glomus macrocarpum* در پیاز، مادهٔ خشک آن را پنج تا شش برابر نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی افزایش می‌دهد (Thomas *et al*., 1986). گونهٔ میکوریز *Glomus deserticola* منجر به افزایش کارایی جذب آب در گیاه زینتی رز (*Rosa hybrida*) شده است (Henderson & Davies, 1990). اگرچه اثرات سودمند تلقیح گیاهان زراعی با قارچ آرباسکولار میکوریز به‌خوبی شناخته شده است، گیاهان زینتی در پژوهش‌های میکوریزی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Koltai, 2010). اثر گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز به‌طور گسترده‌ای در توانایی تحریک گیاهان برای افزایش تولید محصول متفاوت است (Secilia & Bagyaraj, 1992). بنابراین، قبل از اینکه قارچ آرباسکولار میکوریز خاصی برای یک گیاه معین توصیه شود باید غربالگری شوند و قارچ مناسب برای هر گیاه شناسایی شود. ایزوله‌های مؤثر باید با ریشه‌های گیاه معین به‌سرعت رابطهٔ همزیستی برقرار کنند (مایه‌کوبی شوند) و به‌طور مؤثری عناصر مغذی را در اختیار گیاه قرار دهند (Sylvia & Burks, 1988).

استئوسپرموم (*Osteospermum* sp.) گیاهی زینتی از خانوادهٔ کلاهپرک‌سانان بومی آفریقای جنوبی است که کاربرد آن به‌سرعت به‌منزلهٔ گیاه گلدانی، شاخه‌بریده و فضای سبزی مورد توجه واقع شده است (Giovannini *et al*., 1999; Nowak, 2001). از آنجایی که این گیاه در مناطق گرم و خشک در بیشتر اوقات و در مناطق معتدله در فصول گرم سال تحت‌تأثیر تنش کم‌آبی بوده است و این موضوع سبب اختلال در جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر معدنی و آهن می‌شود، در چنین شرایطی قارچ آرباسکولار میکوریز می‌تواند با قابلیت خود در گسترش سطح نفوذ گیاه به حجم بیشتری از بستر کشت و خاک، سبب افزایش توانایی جذب آب توسط گیاه شود. پژوهش حاضر در راستای بررسی تأثیر انواع قارچ‌های میکوریز بر افزایش کارایی مصرف آب و افزایش شاخص‌های رشد در گیاه

استئوسپرموم صورت گرفت تا ایزولهٔ مؤثر در همزیستی قابل اطمینان با این گیاه شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در گلخانه‌های تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار اجرا شد. تعداد ۲۲ گونه قارچ آرباسکولار میکوریز مختلف از کلکسیون مؤسسهٔ تحقیقات آب و خاک تهران تهیه شد (جدول۱). برای کاشت گیاه از گلدان‌های ضدعفونی‌شدهٔ نیم لیتری استفاده شد. قبل از کشت بذر، خاک استفاده‌شده برای استریل‌شدن در اتوکلاو ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده‌شده در جدول۲ درج شده است.

بذرهای اصلاح‌شدهٔ استئوسپرموم (*Osteospermum hybrida* 'Passion Mix') ابتدا با هیپوکلرید سدیم ۱۰درصد استریل شدند و دو بار با آب‌مقطر شست‌وشو داده شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب‌مقطر خیسانده شدند. بذور ضدعفونی‌شده برای جوانه‌زنی به محیط گرم و مرطوب انتقال یافتند. گلدان‌ها از خاک استریل پر شدند و ۲۰ گرم از هر مایهٔ تلقیح قارچی (با میانگین ۵۰ اندام فعال قارچی در هر گرم) در حفرهٔ سطحی ایجادشده در وسط هر گلدان اضافه و سطح حفره با خاک پوشانده شد. بذور پیش جوانه‌دارشدهٔ استئوسپرموم به تعداد ۳ عدد در هر گلدان کاشته شد. گلدان‌ها پس از کشت بذرها و در طول دورهٔ رشد به مقدار نیاز گیاه آبیاری شدند. در مرحلهٔ سه‌برگی یک گیاه در هر گلدان حفظ و بقیه حذف شدند. همین روش در کاشت گیاهان شاهد تلقیح‌نشده نیز اعمال شد.

برداشت گیاهان در دو مرحله انجام گرفت. مرحلهٔ اول حدود دو ماه بعد از جوانه‌زنی، در اولین مراحل گلدهی انجام گرفت. در این مرحله سه گلدان از هر تکرار برداشت شد. سه تکرار دیگر برای اندازه‌گیری نسبت جذب آب استفاده شد. این فاکتور از طریق اندازه‌گیری میزان آب مصرفی هر گیاه در فاصلهٔ زمانی مشخص (با اندازه‌گیری وزن گلدان‌ها درست قبل و بعد از هر دورهٔ آبیاری) ارزیابی شد. دو گلدان بدون گیاه به‌منظور دخیل‌کردن میزان آب تبخیرشده از سطح خاک در محاسبات در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر تعرق از اختلاف بین میزان آب ازدست‌رفته از گلدان‌های حاوی گیاه و گلدان‌های فاقد گیاه به دست آمد. نسبت جذب آب گیاه در ارتباط با نوسانات رطوبت هوا، دما و نرخ رشد گیاهان متغیر است، بنابراین به میزان مصرف آب در هر دورهٔ آبیاری توجه شد.

جدول ۱. گونه‌های قارچ میکوریز آرباسکولار استفاده‌شده در این پژوهش

شمارهٔ قارچ	نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز
۱	*Glomus claroideum*
۲	*Glomus mossea* CA
۳	*Glomus clarum*
۴	*Glomus mossea* St4
۵	*Glomus versiform*
۶	*Zander commercial inoculum*
۷	*Glomus* sp. St1
۸	*Glomus intraradices*
۹	*Glomus mossea* St6
۱۰	*Glomus* sp. St2
۱۱	*Glomus mossea* St5
۱۲	*Glomus geosporum*
۱۳	*Scutelospora calospora*
۱۴	*Glomus caledonium*
۱۵	*Gigaspora margarita*
۱۶	*Glomus* sp. St3
۱۷	*Glomus mossea* St1
۱۸	*Acalospora laevis*
۱۹	*Glomus fasciculatum*
۲۰	*Glomus etunicatum*
۲۱	*Glomus mossea* St2
۲۲	*Glomus* sp. St4
۲۳	*شاهد (تلقیح‌نشده)*

پس از برداشت گیاهان، ریشه‌ها از گلدان خارج و با آب روان شسته و وزن تر کل ریشهٔ هر گیاه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه، بعد از اندازه‌گیری وزن تر ریشه‌ها، بخشی از ریشه به قطعات یک سانتی‌متری بریده شد. نمونه‌های ۰/۵ گرمی انتخاب و درون سینی مدرج (به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متری) حاوی آب ریخته شد. در نهایت طول کل ریشه براساس روش خطوط مشبک

براساس روابط زیر محاسبه شد (Tennant, 1975; Khandan-Mirkohi & Schenk, 2009):

$$rl= \frac{(۱۱ \times nG)}{۱۴}$$

$$RL= \frac{(rl \times Fw)}{۰/۵}$$

که در آن، rl: طول ۰/۵ گرم از ریشهٔ نمونهٔ آزمایش‌شده (سانتی‌متر). n: مجموع تعداد ریشه‌هایی که خطوط عمودی و افقی را قطع می‌کنند. G: طول خطوط صفحهٔ مشبک (سانتی‌متر؛ در این آزمایش برابر با ۲ سانتی‌متر). RL: طول کل ریشه (سانتی‌متر). Fw: وزن تر کل ریشه (گرم).

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک استفاده‌شده

درصد اشباع ٪	هدایت الکتریکی $mS\ cm^{-1}$	اسیدیتهٔ گل اشباع pH	کربن آلی ٪	فسفر قابل جذب ppm	پتاسیم قابل جذب ppm	شن ٪	لای ٪	رس ٪
۵۰	۲/۶۱	۷/۶۰	۰/۹۵	۴/۵۱	۳۹۶	۳۸	۳۴	۲۸

علاوه بر این سطح ریشه، شعاع ریشه و کارآیی جذب آب ریشه‌ها به شرح زیر محاسبه شد:

میانگین شعاع ریشه (r_0, cm) با استفاده از رابطهٔ زیر به دست آمد:

$$r_0= \sqrt{\frac{Fw}{RL\pi}}$$

سطح ریشه در یک سانتی‌متری طول ریشه (SAC, cm^2/cm) با استفاده از رابطهٔ زیر حاصل شد:

$$SAC = ۲\pi \times r_0 \times h$$

که در آن، h: ارتفاع استوانهٔ ریشه است که در این آزمایش برابر یک است.

مساحت کل ریشه (RSA, $cm^2/plant$) با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$RSA= SAC \times RL$$

توان جذب آب (WUR, $cm^3/cm^2/s$) با استفاده از رابطهٔ زیر حاصل شد:

$$WUR= \left(\frac{W_۲ - W_۱}{RSA_۲ - RSA_۱}\right) \times \left(\frac{۱}{T_۲ - T_۱}\right)$$

که در آن، $W_۲-W_۱$: آب مصرفی (میلی‌لیتر) و $T_۲-T_۱$: فاصلهٔ زمانی (ثانیه) بین دو برداشت است.

نمونه‌هایی با وزن مشخص از ریشه برای اندازه‌گیری درصد کلون‌سازی جدا و در محلول آب و الکل ۵۰ درصد نگهداری شد و باقی‌ماندهٔ ریشه در خشک‌کن در دمای ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه قرار داده شد. اندام هوایی گیاهان نیز به همین شکل برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی پس از توزین به خشک‌کن انتقال یافتند. رنگ‌آمیزی ریشه‌ها براساس روش (Koske & Gemma, 1989)، با کمی تغییر به شرح زیر انجام گرفت:

ریشه‌ها پس از برداشت، ابتدا با آب معمولی، سپس با آب‌مقطر به‌طور کامل شسته شد و آب سطحی آن با فشار آرام کاغذ صافی برداشته شد. مقداری از ریشه‌های شسته‌شدهٔ مناسب جدا و درون لوله‌های آزمایش قرار داده شد. سپس تا جایی که ریشه‌ها غوطه‌ور شوند به لولهٔ آزمایش هیدرواکسید پتاسیم (KOH) ۸ درصد اضافه شد. در لوله‌های آزمایش با سلفون پوشانده و به مدت پنج دقیقه اتوکلاو شد. ریشه‌های اتوکلاوشده چندین بار با آب شست‌وشو شد تا KOH آن به‌طور کامل از بین برود. سپس ریشه‌ها دوباره درون لوله آزمایش قرار داده شدند و روی آن‌ها آب‌اکسیژنه (H_2O_2) ریخته شد تا جایی که روی ریشه‌ها با آب‌اکسیژنه پوشانده شود. مدت ۱۵ دقیقه ریشه‌ها در آب‌اکسیژنه باقی ماندند. پس از گذشت ۱۵ دقیقه ریشه‌ها با آب‌مقطر شسته و درون لولهٔ آزمایش قرار داده شدند. مقداری اسیدکلریدریک ۱درصد به ریشه‌های موجود در لولهٔ آزمایش اضافه شد، طوری که روی ریشه‌ها پوشانده شود. مدت زمان لازم برای باقی‌ماندن ریشه‌ها در اسیدکلریدریک سه دقیقه منظور شد. پس از آن رنگ ترپان‌بلو آن‌قدر به ریشه‌ها افزوده شد که ریشه‌ها به‌طور کامل در رنگ غوطه‌ور شدند. لوله‌های آزمایش به‌خوبی تکان داده شدند تا ریشه‌ها در رنگ معلق شوند. مدت زمان حداقل چهار ساعت برای باقی‌ماندن ریشه‌ها در رنگ برای مشاهدهٔ ریشه‌ها منظور شد. درنهایت میزان

آلودگی ریشه و درصد کلون‌سازی محاسبه شد (Giovannetti & Mosse, 1980). برای این منظور ریشه‌های رنگ‌آمیزی‌شده چندین بار با آب‌مقطر شست‌وشو داده شده و ریشه‌ها درون یک پتریدیش پخش شد. تعداد ۵۰ عدد ریشهٔ یک سانتی‌متری درون یک پتریدیش مدرج (۴۹ خانهٔ با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر) به‌طور تصادفی پخش شد. با استفاده از دستگاه استریومیکروسکوپ با بزرگ‌نمایی ۵۰ برابر، شمارش ریشه‌های روی تقاطع عمودی و افقی انجام و پس از آن آلودگی (هیف، آرباسکول و ویزیکول) ریشه‌ها فقط روی محل تقاطع بررسی و درصد کلون‌سازی براساس رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد کلون‌سازی ریشه} = \frac{\text{تعداد آلودگی در تقاطع‌های عمودی} + \text{تعداد آلودگی در تقاطع‌های افقی}}{\text{تعداد تقاطع ریشه با خطوط عمودی} + \text{تعداد تقاطع ریشه با خطوط افقی}} \times ۱۰۰$$

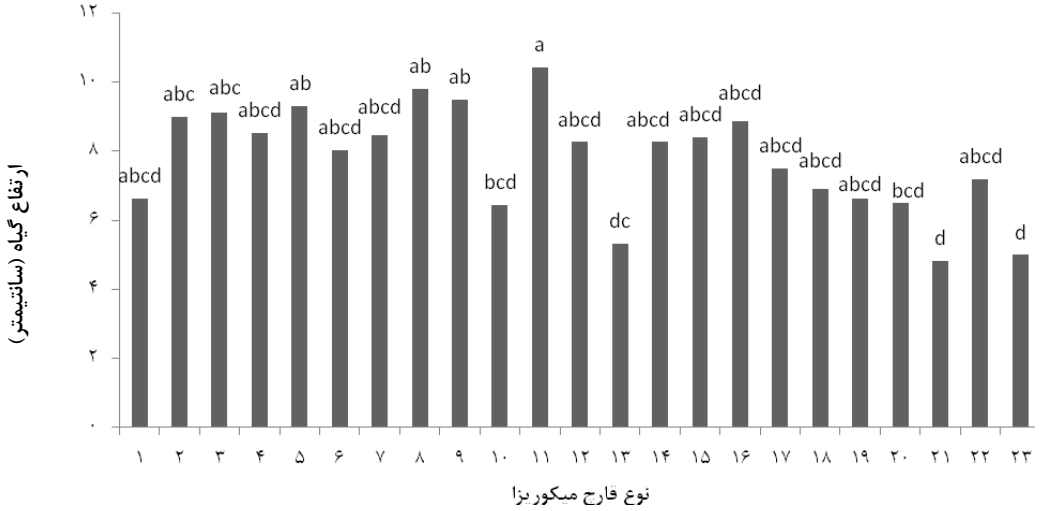
سپس ریشه‌هایی که برای اندازه‌گیری درصد کلون‌سازی استفاده شده بودند به آون انتقال یافتند و به نمونه‌های قبلی برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه اضافه شدند. تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها به‌وسیلهٔ نرم‌افزار SAS برمبنای آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

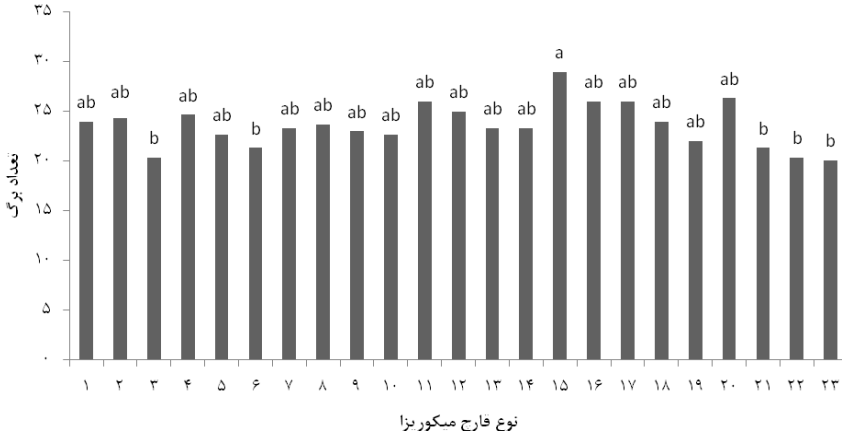
نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر انواع قارچ‌های آرباسکولار میکوریز بر صفات ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک شاخه و ریشه، طول ریشه، شعاع ریشه، سطح کل ریشه و کارایی جذب آب در گیاه استئوسپرموم در سطح احتمال ۱درصد معنادار بود و اثر بلوک در هیچ یک از این صفات معنادار نبود.

ارتفاع و تعداد برگ

نتایج نشان داد در زمان برداشت، گیاهانی که با قارچ *Glomus mossea* st5 کلونیزه شده بودند ارتفاع بیشتری (۱۰/۴۳cm) داشتند (شکل۱) و کمترین میزان ارتفاع مربوط به گونهٔ *Glomus mossea st2* (۴/۸۳cm) بود. از نظر تعداد برگ گیاهان تیمارشده با قارچ *Gigaspora margarita* حاوی بیشترین تعداد برگ نسبت به گیاهان تیمارشده با قارچ‌های دیگر بودند (شکل۲).



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر ارتفاع گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز بر اساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر تعداد برگ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز بر اساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

شکل ۳ نشان می‌دهد بیشترین میزان وزن تر اندام هوایی در تیمار قارچ *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) مشاهده شد و پایین‌ترین وزن تر اندام هوایی هم متعلق به تیمار قارچ *Acalospora laevis* (شمارهٔ ۱۸) بود. همچنین بیشترین میزان وزن خشک اندام هوایی در گیاهان تیمارشده با قارچ *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) مشاهده شد. از نظر میزان وزن خشک اندام هوایی، گیاهان تیمارشده با *Glomus* sp. st2 (شمارهٔ ۱۰) کمترین میزان را داشتند (شکل۴). بررسی شکل۵ نشان داد که بیشترین میزان وزن تر ریشه مربوط به گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *Glomus mossea* st6 (شمارهٔ ۹) بود. تیمار استئوسپرموم با قارچ *Glomus mossea st2* (شمارهٔ ۲۱) منجر به کمترین میزان وزن تر ریشه شد. گیاهان تیمارشده با قارچ *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) بالاترین میزان وزن خشک ریشه را به خود اختصاص دادند، اما کمترین میزان وزن خشک ریشه در گیاهان تیمارشده با قارچ *Glomus mossea st1* (شمارهٔ ۱۷) مشاهده شد (شکل۶).

درصد کلون‌سازی

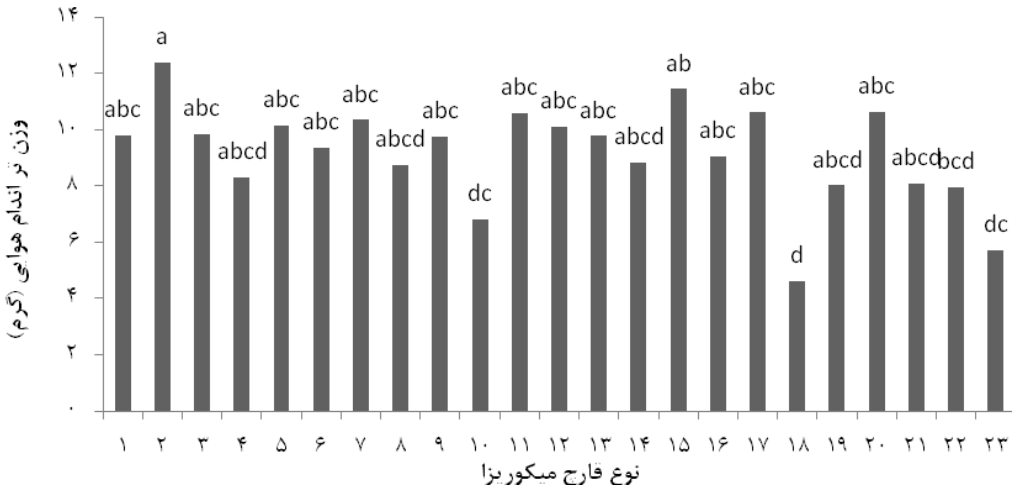
نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین بین گونه‌ها نشان داد که بیشترین درصد کلون‌سازی ریشه به میزان ۴۷/۰۶ درصد در تیمار قارچ *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) مشاهده شد. کمترین درصد کلون‌سازی به گونه‌های *Glomus* sp. St2 (شمارهٔ ۱۰ با ۴/۸۱درصد) و *Glomus* sp. St3 (شمارهٔ ۱۶ با ۳/۴۴درصد) تعلق داشت.

طول ریشه

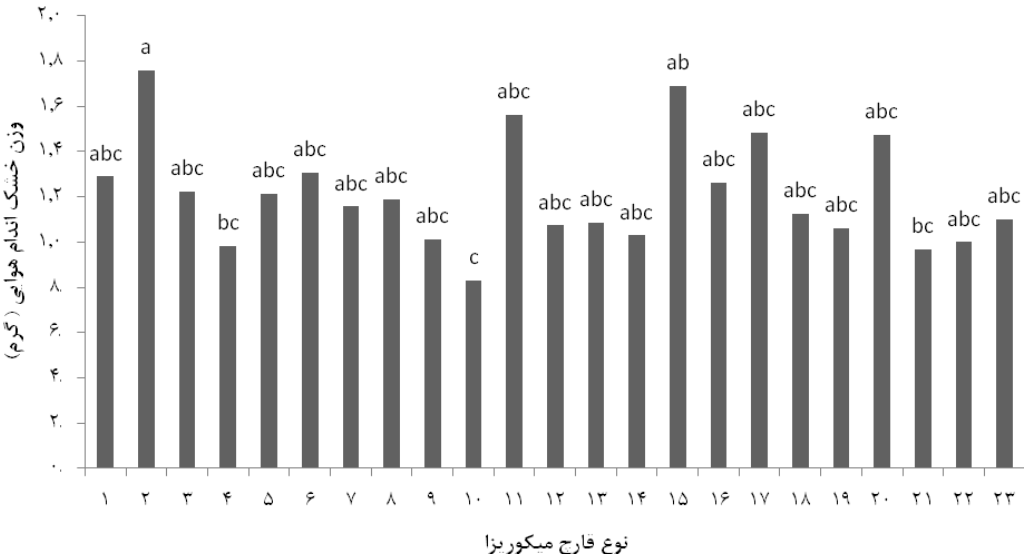
نتایج حاصل از مقایسهٔ میانگین بین گونه‌ها نشان داد که بیشترین طول ریشه را گیاهان تیمارشده با *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) به خود اختصاص دادند. کوتاه‌ترین طول ریشه مربوط به گیاهان تیمارشده با قارچ *Glomus* sp. St2 (شمارهٔ ۱۰) بود.

سطح ریشه و شعاع ریشه

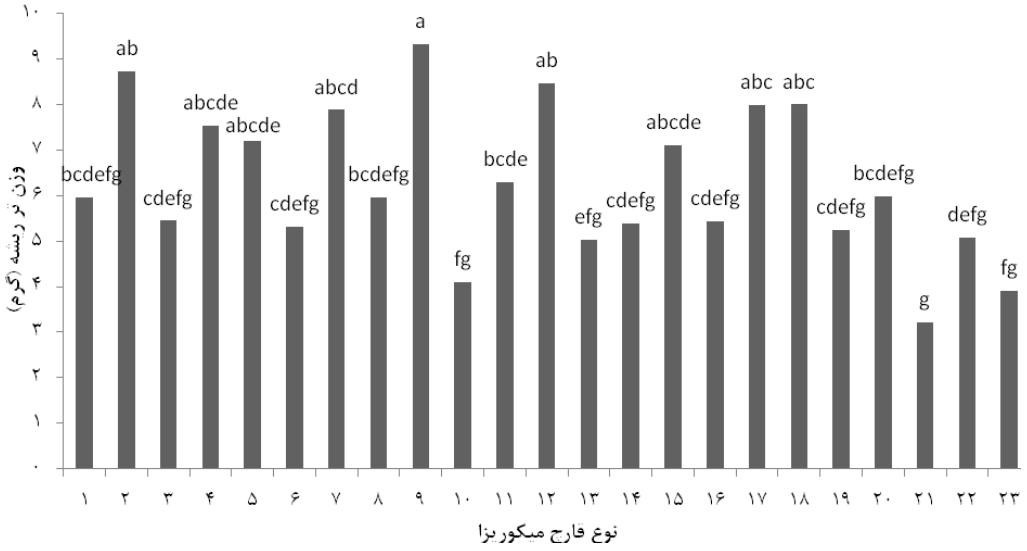
بر اساس نتایج شکل‌های ۹ و ۱۰ گیاهان همزیست با انواع قارچ‌های میکوریز از نظر میانگین سطح ریشه و شعاع ریشه اختلاف معنادار داشتند. گیاهان همزیست با قارچ *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) و *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) بالاترین سطح ریشه و کمترین شعاع ریشه را داشتند. این در حالی است که بیشترین شعاع ریشه و کمترین مساحت ریشه مربوط به گیاهان همزیست با قارچ *Glomus* sp. St2 (شمارهٔ ۱۰) بود.



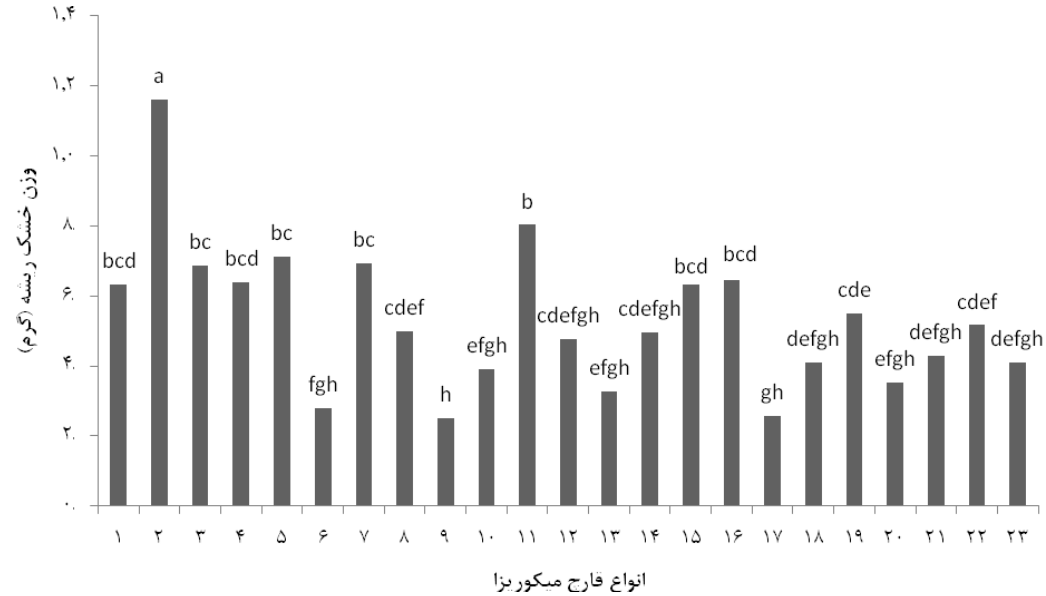
شکل ۳. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر وزن تر اندام هوایی گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



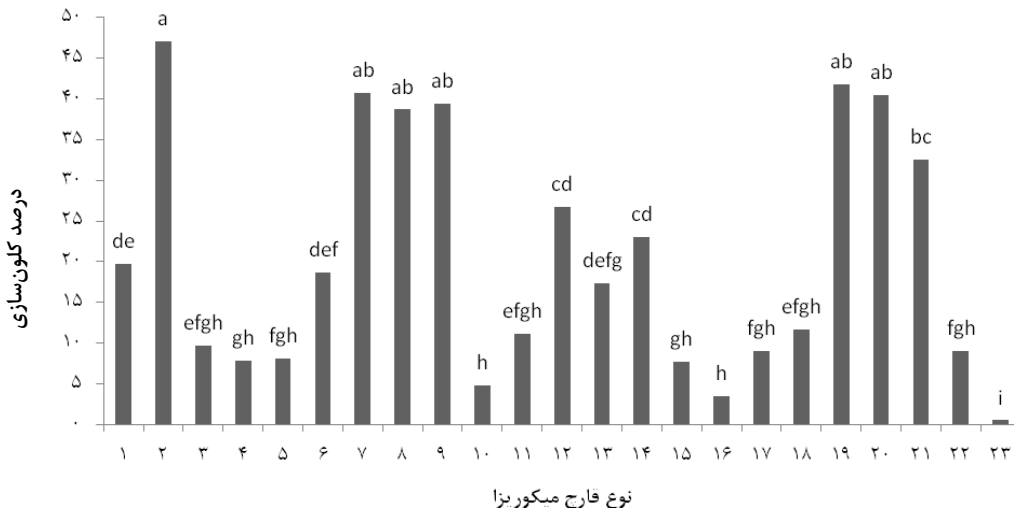
شکل ۴. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر وزن خشک اندام هوایی گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



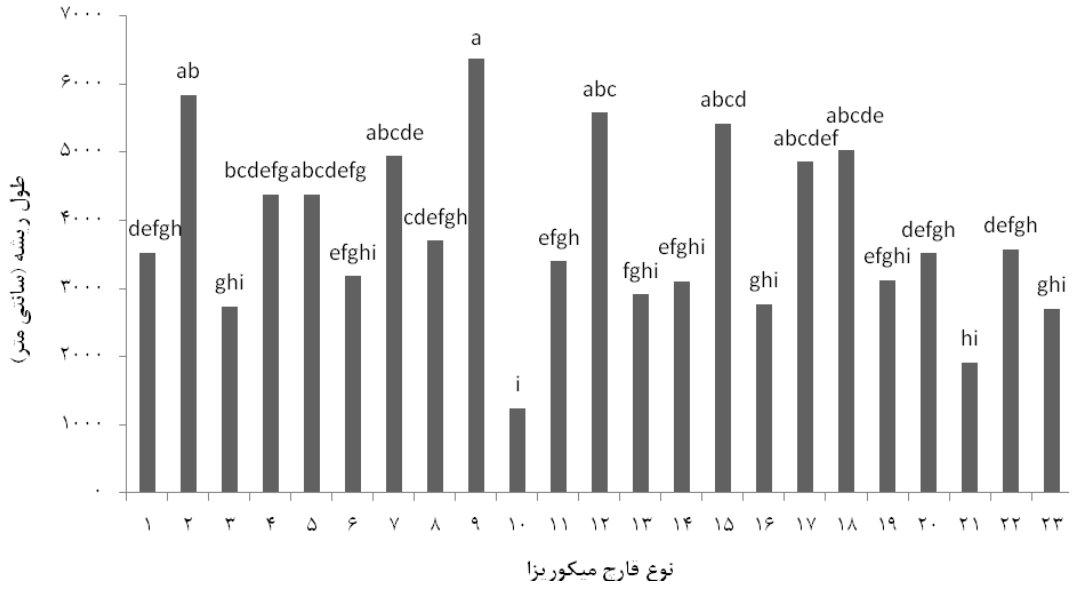
شکل ۵. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر وزن تر ریشهٔ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز بر اساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



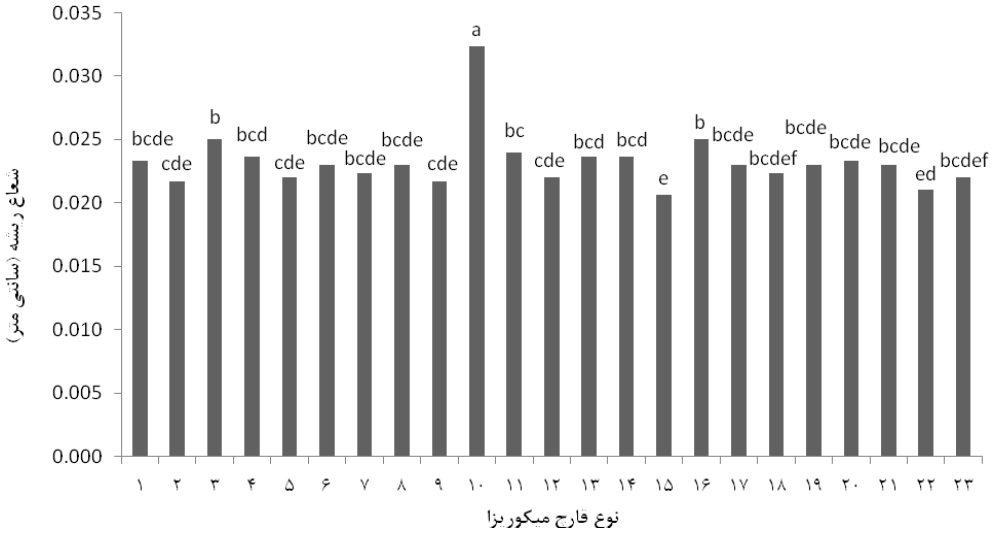
شکل ۶. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر وزن خشک ریشهٔ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



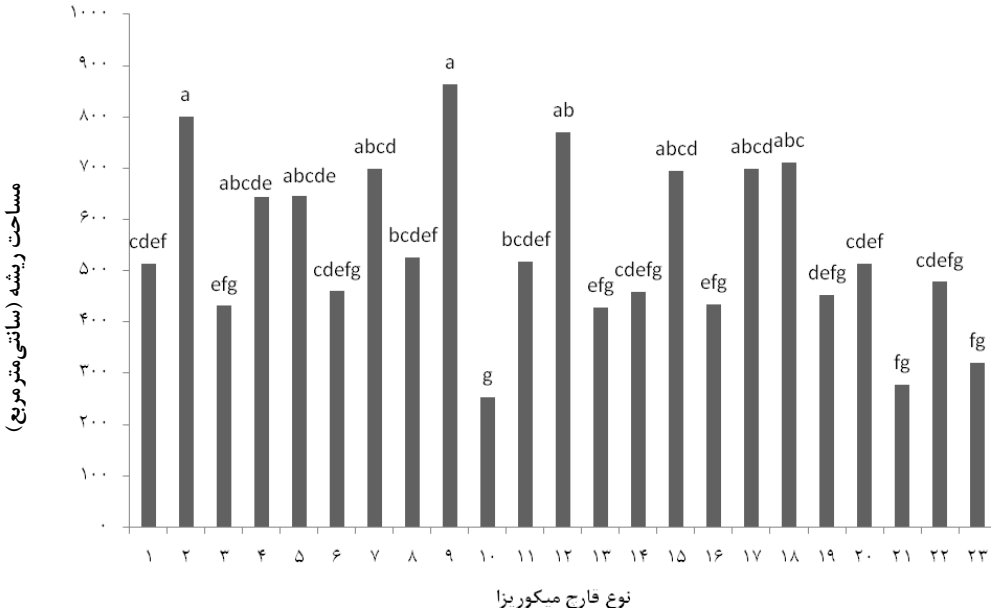
شکل ۷. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر درصد کلون‌سازی در گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر طول ریشهٔ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



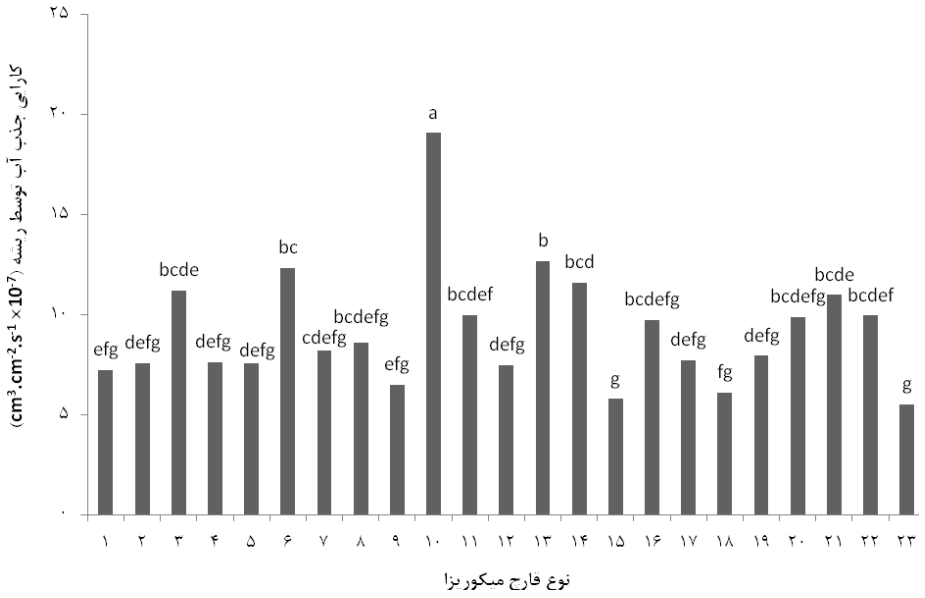
شکل ۹. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر شعاع ریشهٔ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.



شکل ۱۰. مقایسهٔ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر مساحت کل ریشهٔ گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصهٔ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.

کارایی مصرف آب

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که میانگین مصرف آب در گیاهان مایه‌کوبی‌شده با قارچ‌های مختلف به‌طور معناداری متفاوت بود. گیاهان مایه‌کوبی‌شده با *Glomus mossea* CA (شمارۀ۲) کمترین میزان کارایی جذب را داشتند و بیشترین میزان کارایی جذب آب در گیاهان مایه‌کوبی‌شده با میکوریز *Glomus mossea* St2 (شمارۀ ۲۱) مشاهده شد.



شکل ۱۱. مقایسۀ میانگین اثر انواع گونه‌های میکوریز بر توان مصرف آب گیاه استئوسپرموم. نام علمی و مشخصۀ قارچ آرباسکولار میکوریز براساس شماره: ۱(*Glomus claroideum*)؛ ۲ (*Glomus mossea* CA)؛ ۳ (*Glomus clarum*)؛ ۴ (*Glomus mossea* St4)؛ ۵ (*Glomus versiform*)؛ ۶ (*Zander commercial inoculum*)؛ ۷ (*Glomus* sp. St1)؛ ۸ (*Glomus intraradices*)؛ ۹ (*Glomus mossea* St6)؛ ۱۰ (*Glomus* sp. St2)؛ ۱۱ (*Glomus mossea* St5)؛ ۱۲ (*Glomus geosporum*)؛ ۱۳ (*Scutelospora calospora*)؛ ۱۴ (*Glomus caledonium*)؛ ۱۵ (*Gigaspora margarita*)؛ ۱۶ (*Glomus* sp. St3)؛ ۱۷ (*Glomus mossea* St1)؛ ۱۸ (*Acalospora laevis*)؛ ۱۹ (*Glomus fasciculatum*)؛ ۲۰ (*Glomus etunicatum*)؛ ۲۱ (*Glomus mossea* St2)؛ ۲۲ (*Glomus* sp. St4)؛ ۲۳ (شاهد، تلقیح‌نشده). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری فاقد اختلاف معنادارند.

نتایج آزمایش بیانگر آن است که در مورد همۀ شاخص‌ها تفاوت معناداری بین گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز در تأثیر بر گیاه وجود داشت. ازجمله دلایل این موضوع تفاوت گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز از نظر تأثیر بر جذب مواد غذایی و رشد گیاه میزبان است. میزان تأثیر قارچ میکوریز علاوه بر نوع توانایی متفاوت گونه‌های متفاوت قارچ‌های میکوریز در ایجاد همزیستی با گیاه معین، به‌طور عمده به ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. طیف گسترده‌ای از پاسخ میکوریزی در بین گیاهان گزارش شده است. به عنوان مثال (Nowak & Nowak, 2013) میزان کلون‌سازی استئوسپرموم با یک گونۀ تجاری میکوریز به نام (Biorize Endorize–TA AMF Sarl France) را ۳۰ درصد گزارش کردند درصورتی‌که میزان کلون‌سازی همین گونه با شمعدانی حدود ۵۰درصد بود. گونه‌های مختلف قارچ توانایی متفاوتی در کلونیزه‌کردن یک گیاه دارند به عبارت دیگر واکنش گیاه میزبان در پاسخ به گونه‌های مختلف آرباسکولار میکوریز متفاوت است. مایه‌کوبی گونه‌های مختلف میکوریز با برنج (*Oryza sativa* L.) نشان داد که گونۀ *G. intraradices* Pr. میزان کلون‌سازی بالایی نسبت به گونه‌های دیگر داشت (Secilia & Bagyaraj, 1992). در مطالعۀ حاضر نیز به‌ترتیب قارچ‌های *Glomus mossea* CA (شمارۀ ۲)، *Glomus fasciculatum* (شمارۀ ۱۹)، *Glomus* sp. St1 (شمارۀ ۷)، *Glomus mossea* St6 (شمارۀ ۹)، *Glomus intraradices* (شمارۀ ۸)، *Glomus etunicatum* (شمارۀ

۲۰)، *Glomus mossea* St2 (شمارهٔ ۲۱) درصد کلون‌سازی بیشتری در گیاه استئوسپرموم نسبت به گونه‌های دیگر نشان دادند. در آزمایشی اثر قارچ میکوریز بر آهار و تفاوت کلون‌سازی بین قارچ‌های گیگسپورا و گلوموس بررسی و اعلام شد که گلوموس به‌طور قابل توجهی اندازهٔ برگ و زی‌تودهٔ شاخه را افزایش می‌دهد و گلوموس موسه را مناسب‌ترین گونه برای تلقیح آهار معرفی کردند (Long *et al*., 2010). Sheikh-asadi *et al*. (2014) نشان دادند که قارچ میکوریز گلوموس موسه بهترین تأثیر را بر شاخص‌های رشدی گیاهان استاتیس (*Limonium sinuatum* L.) داشت درحالی‌که مخلوط قارچ‌های گلوموس موسه و گلوموس اینترارادیسس تأثیر بیشتر و البته مثبتی بر شاخص‌های رشد لیزیانتوس (*Eustoma grandiflorum*) داشته است. در گزارشی اثر ۱۰ گونه قارچ میکوریز بر برنج (*Oryza sativa* L. cv. Prakash) بررسی و مشاهده شده است که گیاهان تلقیح‌شده با *Glomus intraradices* و *Acaulospora* sp. نسبت به گیاهان تلقیح‌شده با گونه‌های دیگر عملکرد دانه و زی‌تودهٔ بیشتری داشتند (Secilia & Bagyaraj, 1992). در مطالعهٔ دیگری ۱۸ گونه قارچ آرباسکولار میکوریز با همین رقم از برنج تلقیح شده و مشاهده شد که قارچ‌های *Acaulospora* sp. و *Glomus fasciculatum* و *G. mosseae* به‌طور قابل توجهی ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، زی‌تودهٔ کل، تعداد خوشه، وزن دانه، غلظت فسفر و روی را افزایش دادند (Secilia & Bagyaraj, 1994).

همان‌طور که نتایج این مطالعه نیز نشان می‌دهد قارچ آرباسکولار میکوریز *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) و *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) نسبت به گیاهان تلقیح‌شده با گونه‌های دیگر، اثر قابل توجهی بر شاخص‌های رشدی (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، سطح ریشه و طول ریشه) گیاه استئوسپرموم داشتند. در مطالعه‌ای ده گونهٔ متفاوت قارچ میکوریز با گیاه *Casuarina equisetifolia* L. مایه‌کوبی شد و نتایج نشان داد که *G. fasciculatum* درصد کلون‌سازی بیشتری (۵۵درصد) نسبت به سایر گونه‌ها داشت، بااین‌حال نسبت مستقیمی بین درصد کلون‌سازی بالا و افزایش رشد وجود نداشت (Vasanthakrishna *et al*., 1995). به عنوان مثال هرچند گیاهان تلقیح‌شده با قارچ *Glomus mossea* St2 (شمارهٔ ۲۱) میزان کلون‌سازی کمتری در مقایسه با *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) و *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) نشان داد و طول و سطح ریشه کمتر و شعاع ریشه بیشتر از دو گونه ذکر شده بود، ولی کارایی مصرف آب بالایی داشت که می‌تواند بیانگر توان گسترش این گونه قارچ در محیط رشد ریشه و تولید میسلیوم‌های خارجی باشد که با افزایش امکان دسترسی به منابع بیشتری از آب ذخیره‌شده در خاک، سبب افزایش کارایی مصرف آب شده است (Fitter, 1986). این نتایج با یافته‌های Kormanik *et al*. (1981) همسو بود. این پژوهشگران نیز نسبت مستقیمی بین درصد کلون‌سازی و افزایش رشد در نهال‌های *Liquidambar styraciflua* L. مایه‌کوبی شده با گونه‌های مختلف میکوریز مشاهده نکردند.

تقریباً تمام گیاهان تلقیح‌شده با گونه‌های مختلف قارچ میکوریز غیر از قارچ‌های *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹)، *Glomus claroideum* (شمارهٔ ۱)، *Acalospora laevis* (شمارهٔ ۱۸) و *Gigaspora margarita* (شمارهٔ ۱۵) بقیهٔ قارچ‌های استفاده‌شده کارایی جذب آب به نسبت بالایی داشتند. مهم‌ترین دلایل افزایش کارآیی مصرف آب در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ‌های آرباسکولار میکوریزی عبارت است از: الف) میکوریز توان گیاه را برای جذب بیشتر رطوبت و عناصر غذایی افزایش می‌دهد و پیامد آن بیشتر بازماندن روزنه‌ها و افزایش تولید مادهٔ خشک است؛ ب) هدایت هیدرولیکی ریشه در گیاهان میکوریزی افزایش می‌یابد و آب با راندمان بیشتری منتقل می‌شود؛ ج) گیاهان میکوریزی زی‌تودهٔ ریشه بیشتری تولید می‌کنند؛ د) بهبود جذب عناصر غذایی، راندمان انتقال آب و فتوسنتز را در گیاهان میکوریزی افزایش می‌دهد (Al-Karaki, 1998). همچنین نشان داده شده است که در گیاهان میکوریزی به‌دلیل افزایش فتوسنتز و تولید بیشتر مواد فتوسنتزی به‌ازای واحد آب مصرفی، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (Miller, 2000). در مطالعهٔ همزیستی پیاز با میکوریز، افزایش کارایی مصرف آب گزارش شده است (Bolandnazar *et al*., 2007). در مطالعهٔ ایشان نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب در گونه‌های مختلف

قارچ‌های میکوریز به‌صورت زیر متفاوت است: شاهد<*G.etunicatum*>*G.intraradices*>*G.versiforme*. این پژوهشگران معتقدند که افزایش هدایت روزنه‌ای و باز و بسته شدن روزنه‌ها در گیاهان میکوریزی رشد ریشه‌ها و جذب آب و مواد غذایی را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه می‌شود. تفاوت بین گونه‌های مختلف قارچ‌های میکوریز در افزایش کارایی مصرف آب به‌علت تفاوت آن‌ها در تولید میسلیوم‌های خارجی بوده است که امکان دسترسی به منابع بیشتری از آب ذخیره‌شده در خاک را فراهم می‌کند (Fitter, 1986). در گزارش دیگری افزایش جذب فسفر را علت افزایش کارایی مصرف آب از طریق همزیستی با میکوریز دانستند که سبب افزایش عملکرد بیولوژیک و درنتیجه افزایش کارایی مصرف آب می‌شود (Aliabadi Farahani *et al*., 2008). کارایی مصرف آب در گیاهان همزیست با میکوریزا در مقایسه با گیاهان غیرهمزیست بیشتر است (Nagarathna *et al*., 2007) که همهٔ یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این آزمایش تلقیح گیاه استئوسپرموم با گونه‌های مختلف قارچ آرباسکولار میکوریز بسته به گونهٔ استفاده‌شده منجر به بهبود برخی شاخص‌های رویشی در این گیاه شد. گونه‌های گیاهی ممکن است در پاسخ به ایزوله‌های مختلف قارچ‌های آرباسکولار میکوریز واکنش متفاوتی نشان دهند. در میان ایزوله‌های بررسی‌شده *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) و *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) به‌ترتیب مؤثرترین تیمار بودند. تلقیح با این قارچ‌ها سبب افزایش رشد، وزن تر و خشک اندام هوایی، طول ریشه و سطح ریشه شد. علاوه بر این قارچ‌هایی مانند *Glomus* sp. St3 (شمارهٔ ۱۶) با وجود درصد کلون‌سازی پایین (۳/۵درصد) تأثیر قابل توجهی روی شاخص‌های رشد به‌ویژه طول ریشه و کارایی جذب آب داشتند. درحالی‌که قارچ *Glomus mossea* St2 (شمارهٔ ۲۱) با وجود درصد کلون‌سازی بالا (۳۲/۵۳درصد) با گیاه، عملکرد پایینی را نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش تقریباً بیشتر قارچ‌های استفاده‌شده به‌ویژه *Glomus mossea* CA (شمارهٔ ۲) و *Glomus mossea* St6 (شمارهٔ ۹) مثبت ارزیابی شدند. قارچ *Glomus* sp. St2 (شمارهٔ ۱۰) به‌رغم میزان کلون‌سازی کم آن با گیاه استئوسپرموم و عدم تأثیر مثبت آن در ویژگی‌های ریشهٔ این گیاه، کارایی جذب آب بالایی را نشان داد که به نظر می‌رسد به ویژگی‌های رشد قارچ مربوط باشد. قارچ‌های *Glomus mossea* St2 (شمارهٔ ۲۱) و *Glomus* sp. St2 (شمارهٔ ۱۰) رابطهٔ همزیستی مؤثری با این گیاه نداشتند.

REFERENCES

1. Aliabadi Farahani, M.H., Lebaschi, H., Shiranirad, A.M., Valadabadi, A.R. & Daneshian, J. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 2 (6), 125-131.
2. Al-Karaki, G.N. (1998). Benefit, cost and water-use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhiza*, 8 (1), 41-45.
3. Al-Karaki, G.N. (2000). Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, 10 (2), 51-54.
4. Aroca, R., Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2007). How does arbuscular mycorrhizal symbiosis regulate root hydraulic properties and plasma membrane aquaporins in *Phaseolus vulgaris* under drought, cold or salinity stresses? *New Phytologist*, 173 (4), 808-816.
5. Auge, R.M. (2001). Water relations, drought and VA mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
6. Bago, B., Pfeffer, P.E. & Shachar-Hill, Y. (2000). Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant physiology*, 124 (3), 949-958.
7. Bethlenfalvay, G.J. (1992). Mycorrhizae and crop produtivity. In: G.J. Bethlenfalvay and R.G. Linderman (eds.) *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. ASA Spacial Publication, Madison, pp. 1-28.
8. 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 (1), 11-15.
9. Fitter, A. (1986). Effect of benomyl on leaf phosphorus concentration in alpine grasslands: a test of mycorrhizal benefit. *New Phytologist*, 103 (4), 767-776.

10. Giovannetti, M. & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84 (3), 489-500.
11. Giovannini, A., Zottini M., Morreale, G., Spena, A. & Allavena, A. (1999). Ornamental traits modification by rol genes in *Osteospermum ecklonis* transformed with *Agrobacterium tumefaciens*. *In vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 35, 70-75.
12. Henderson, J.C. & Davies, F.T. (1990). Drought acclimation and the morphology of mycorrhizal *Rosa hybrida* L. cv.'Ferdy' is independent of leaf elemental content. *New Phytologist*, 115 (3), 503-510.
13. Khalvati, M., Bartha, B., Arthur Dupigny, A. & Schröder, P. (2010). Arbuscular mycorrhizal association is beneficial for growth and detoxification of xenobiotics of barley under drought stress. *Journal of Soils and Sediments*, 10 (1), 54-64.
14. Khandan-Mirkohi, A. & Schenk, M.K. (2009). Phosphorus efficiency of ornamental plants in peat-substrates. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172, 369-377.
15. Koltai, H. (2010). Mycorrhiza in floriculture: difficulties and opportunities. *Symbiosis*, 52 (2-3), 55-63.
16. Kormanik, P.P., Bryan, W.C. & Schultz, R.C. (1981). Effects of three vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on sweetgum seedlings from nine mother trees. *Forest science*, 27 (2), 327-335.
17. Koske, R. & Gemma, J. (1989). A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological research*, 92 (4), 486-488.
18. Long, L.K., Yao, Q., Huang, Y.H., Yang, R.H., Guo, J. & Zhu, H.H. (2010). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on zinnia and the different colonization between Gigaspora and Glomus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26 (8), 1527-1531.
19. Marulanda, A., Azcón, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 119 (4), 526-533.
20. Miller, M.H. (2000). Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: a review of Guelph studies. *Canadian Journal of Plant Science*, 80 (1), 47-52.
21. Nagahashi, G., Douds J. & Abney, G.D. (1996). Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation. *Mycorrhiza*, 6 (5), 403-408.
22. Nagarathna, T.K., Prasad, T.G., Bagyaraj, D.J. & Shadakshari, Y.G. (2007). Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus levels on growth and water use efficiency in Sunflower at different soil moisture status. *Journal of Agricultural Technology*, 3, 221-229.
23. Nowak, J. (2001). The effects of rooting media, CO_2 enrichment, P-nutrition and mycorrhizal inoculation on rooting and growth of *Osteospermum*. *International Symposium on Growing Media and Hydroponics*, 644.
24. Nowak, J. & Nowak, J.S. (2013). CO_2 Enrichment and mycorrizal effects on cutting growth and some physiological traits of cuttings during rooting. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 12 (6), 67-75.
25. Rillig, M.C. & Mummey, D.L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, 171 (1), 41-53.
26. Ruiz-Sanchez, M., Aroca, R., Muñoz, Y., Polón, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2010). The arbuscular mycorrhizal symbiosis enhances the photosynthetic efficiency and the antioxidative response of rice plants subjected to drought stress. *Journal of plant physiology*, 167 (11), 862-869.
27. Safir, G.R., Boyer, J.S. & Gerdemann J.W. (1972). Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Plant Physiology*, 49 (5), 700-703.
28. Secilia, J. & Bagyaraj, D. (1992). Selection of efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Biology and fertility of soils*, 13 (2), 108-111.
29. Secilia, J. & Bagyaraj, D. (1994). Selection of efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for wetland rice-a preliminary screen. *Mycorrhiza*, 4 (6), 265-268.
30. Sharma, A.K. (2002). *Biofertilizers for sustainable agriculture, Agrobios* (India). pp. 218.
31. Sheikh-asadi, M., Taheri, M.R., Khandan-Mirkohi, A. & Babalar, M. (2014). Evaluation of the symbiosis possibility of mycorrhizal fungus with some ornamental plants and its effect on yield of these plants. M.Sc. Thesis. Faculty of agricultural sciences and engineering department of horticultural sciences, Tehran. (In farsi).
32. Sylvia, D.M. & Burks, J.N. (1988). Selection of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus for practical inoculation of *Uniola paniculata*. *Mycologia*, 80 (4), 565-568.
33. Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *The Journal of Ecology*, 63, 995-1001.
34. Thomas, R.S., Dakessian, S., Ames, R.N., Brown, M.S. & Bethlenfalvay, G.J. (1986). Aggregation of a silty clay loam soil by mycorrhizal onion roots. *Soil Science Society of America Journal*, 50 (6), 1494-1499.

35. Treseder, K.K. (2004). A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO_2 in field studies. *New Phytologist*, 164 (2), 347-355.
36. Troeh, Z.I. & Loynachan, T.E. (2003). Endomycorrhizal fungal survival in continuous corn, soybean, and fallow. *Agronomy Journal*, 95 (1), 224-230.
37. Vasanthakrishna, M., Bagyaraj, J.D. & Nirmalnath, J.P. (1995). Selection of efficient VA mycorrhizal fungi for *Casuarina equisetifolia*-second screening. *New Forests*, 9 (2), 157-162.
38. 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 (4), 417-425.
39. Wu, Q.S., Xia, R.X. & Zou, Y.N. (2008). Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. *European Journal of Soil Biology*, 44 (1), 122-128.
40. Wu, Q. & Zou, Y. (2009). Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. *Plant Soil and Environment*, 55 (10), 436-442.