اثر قارچ‌های میکوریز آربسکولار بر رشد و جذب عناصر غذایی پایه نارنج در شرایط تنش کم آبی

زهرا پیمانه و مهدی زارعی[1]*

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ **z.paymaneh@yahoo.com**

استادیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ **Mehdizarei@shirazu.ac.ir**

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک کمبود آب سبب کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود. مرکبات کشور در سال‌های اخیر در پی خشکسالی‌های مستمر با کاهش تولید و افت سطح باغات مواجه است. قارچ‌های میکوریز آربسکولار با مکانیسم‌های مانند افزایش جذب عناصر غذایی به کاهش اثرات کم آبی در گیاهان میزبان کمک می‌کند. در این پژوهش اثر قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* بر رشد و جذب عناصر غذایی در پایه نارنج در یک آزمایش گلخانه‌ای در خاک استریل بررسی گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه فاکتور شامل قارچ میکوریز آربسکولار در سه سطح شامل *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* و شاهد، کم آبی در 4 سطح (دورهای آبیاری 2، 4، 6 و 8 روز) و پایه نارنج در سه تکرار صورت گرفت. کم آبی میانگین وزن خشک ریشه و اندام هوایی و جذب عناصر غذایی اندام هوایی و ریشه (فسفر، نیتروژن، آهن، مس و منگنز) را کاهش، در حالی جذب روی اندام هوایی و ریشه را افزایش داد. میزان وزن خشک ریشه و اندام هوایی، جذب فسفر، نیتروژن، آهن، منگنز، مس و روی در اندام هوایی پایه نارنج تلقیح شده با قارچ میکوریزی نسبت به پایه غیرمیکوریزی در شرایط تنش کم آبی، بالاتر بود. درصد کلنیزاسیون ریشه در تیمارهای دارای قارچ بیشتر از تیمارهای بدون قارچ بود. در پایه نارنج تلقیح شده با قارچ میکوریزی با افزایش تنش کم آبی درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: *گلوموس موسه*، *گلوموس ورسیفرم*، مرکبات، تنش کم آبی، عناصر غذایی

مقدمه

مرکبات یکی از محصولات اقتصادی مهم در بخش‌های شمالی و جنوب کشور ایران است. کشور ایران با تولید تقریباً 3/5 درصد مرکبات جهان جزء 7 کشور عمده تولید کننده این محصول در دنیاست و استان فارس به عنوان دومین استان تولید کننده، تقریباً 30 درصد از تولید مرکبات کشور را به خود اختصاص داده است (جیحونی، 1390). ایران با قرار گرفتن در عرض جغرافیایی 25 تا 38 درجه جزء مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید. محققین ایران را در سال‌های آتی جزء گروه کشورهای دچار تنش آبی شدید معرفی می‌نمایند (آلکامو و همکاران 2000، اسماکتین و همکاران 2004). با توجه به این موضوع و همچنین وقوع خشکسالی‌های اخیر، توجه به مسأله کم آبی نیز بیشتر شده است. بکارگیری صحیح از کود بیولوژیک میکوریزی، ضمن کاهش مصرف کود و سم که آلودگی‌های زیست محیطی را کاهش می‌دهد و نیل به

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، کیلومتر 12 جاده شیراز، اصفهان، منطقه باجگاه، دانشکده کشاورزی، بخش علوم خاک، کد پستی 7175757584

* دریافت: 91/10/15 و پذیرش: 92/2/5

Archive of SID

www.SID.ir

کشاورزی و توسعه پایدار را در بر خواهد داشت، کاهش مصرف آب، استفاده بهینه از آن و مقابله با سایر تنش‌های غیر زنده را نیز در پی دارد (اسمیت و رد، 2008). قارچ‌های میکوریز آربوسکولار ریزجانداران خاکزی هستند که با ریشه گیاهان مختلف ازجمله مرکبات رابطه همزیستی ایجاد می‌کنند و تأثیر گسترده‌ای بر رشد آنها دارند. ریشه‌های ضخیم مرکبات تمایل زیادی برای برقراری رابطه با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار دارند. برای نمونه زنگنه و همکاران (1384) در تحقیقی 23 گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار را در ریزوسفر مرکبات ایران شناسایی نمودند. این قارچ‌ها رشد مرکبات را (خصوصاً در خاک‌های آهکی) افزایش می‌دهند (گراهام و سورتسن، 1985) و بیشتر به گونه‌های *گلوموس* تعلق دارند (دیویز و البرگو، 1994). این قارچ‌ها در استقرار اولیه گیاه در شرایط خشکسالی موثر می‌باشند. قارچ‌های میکوریز آربسکولار از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی در شرایط تنش کم آبی مقاومت گیاه به این شرایط را افزایش می‌دهند (آگ، 2001؛ آل کراکی و آل رداد 1997). در شرایط تنش کم آبی در اثر افزایش سطح ریشه و طول ریشه‌های میکوریزی هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بهتر از گیاهان غیر میکوریزی می‌باشد. همچنین هدایت آبی 2 تا 3 برابر در واحد طول ریشه افزایش نشان می‌دهد (تروزا، 2003). کم آبی بواسطه افزایش جذب آب، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه‌ها، تنظیم اسمزی، تغییرات در کنترل روزنه‌ای و خاصیت ارتجاعی دیواره سلولی به کمک هیف‌های قارچ میکوریز آربوسکولار تعدیل می‌شود (آل کراکی و آل رداد، 1997). تنش کم آبی تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش می‌دهد و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی بوسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ‌های میکوریز قارچ میکوریز آربسکولار می‌تواند جانشین سیستم‌های ریشه شود و عناصر غذایی را جذب نماید. نقش همزیستی میکوریزی در شرایط تنش کم آبی در جذب عناصر غذایی مهمتر از نقش همزیستی میکوریزی در شرایط بدون تنش می‌باشد (وو و زو، 2009). علاوه بر این محققین مختلف، تغییر در الاستیسیته برگ، بهبود در پتانسیل آب و آماس برگ، باز نگه داشتن روزنه‌ها و افزایش تعرق، افزایش در طول و عمق نفوذ ریشه‌ها، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، افزایش جذب آب در سطوح پایین رطوبت توسط هیف‌های برون ریشه‌ای، تغییر در انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش فعالیت فتوسنتزی، تجمع پرولین و کربوهیدرات‌ها و افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌ها در گیاهان میکوریزی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی، در شرایط تنش کم آبی را گزارش نموده‌اند (آگ، 2001؛ پورسل و همکاران، 2003). در ایران تاکنون حقیقت نیا و همکاران (2011) نشان دادند که کلنی سازی میکوریزی پایه مرکبات ولکامرانیا، بویژه تلقیح گیاه با گونه *گلوموس اینترارادیسز* بواسطه تأثیر مثبت بر پارامترهای مورفولوژیک، جذب عناصر غذایی (پتاسیم، فسفر و کلسیم)، مقدار کلروفیل و رطوبت نسبی آب برگ تحت شرایط تنش خشکی، سبب اصلاح مقاومت به تنش خشکی در گیاه گردیده است. نارنج، نخستین پایه‌ای است که در مرکبات کاری استفاده شده است. درختانی که بر روی پایه نارنج قرار دارند دارای قدرت رشد متوسط و اندازه استاندارد می‌باشند. این پایه درختانی تولید می‌کنند که دارای محصول خوبی می‌باشند ولی در مقایسه با درختانی که بر روی سایر پایه‌ها هستند عملکردش کمتر است. نارنج دارای سیستم ریشه‌ای محدود است (رادنیا، 1375). با توجه به اینکه در ارتباط با اثرات قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر پایه نارنج بومی کشور هیچگونه اطلاعاتی منتشر شده‌ای وجود نداشت. در این تحقیق اثرات تلقیح دو گونه مختلف قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر رشد و جذب عناصر غذایی این پایه در شرایط تنش کم آبی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

میوه‌های تازه نارنج از موزه نارنجستان شیراز تهیه شد. میوه‌های تازه به خوبی با آب شستشو و سپس با محلول وایتکس دارای هیپو کلریت سدیم 5 درصد به مدت 15 دقیقه ضد عفونی شده و خشک گردیدند. در ادامه بذرهای آنها بیرون آورده شد و در الکل 70 درصد برای مدت 5 دقیقه غوطه ور و ضدعفونی سطحی و سپس چندین مرتبه با آب مقطر شستشو گردید (وو و همکاران 2007). گلدان‌های پلاستیکی حاوی بستری با نسبت حجمی 1:1:1 از مخلوط سترون (اتوکلاو) شده خاک برگ، ماسه بادی و خاک آماده گردید. تعداد سه عدد از بذرهای خشک شده در هر گلدان کاشته شد. گلدان‌ها به طور روزانه آبیاری و به مدت سه ماه نگهداری گردیدند. در پایان این دوره دانهال‌های یکسان و هم‌اندازه به دست آمده به کشت اصلی منتقل گردید.

خاک به مقدار مورد نیاز کشت اصلی از افق سطحی (صفر تا 20 سانتی متری) از سری دانشکده با نام علمی Cambisols Calcic (در سیستم طبقه بندی فائو) وfine, mixed, mesic, calcixerollic, Xerochrept (در طبقه بندی امریکایی) برداشت و سترون (اتوکلاو) شد.

Archive of SID

www.SID.ir

خاک بر اساس روش‌های استاندارد تجزیه گردید. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول 1 ارائه شده است. برای اعمال تیمارهای کم آبی، گلدان‌های محتوی 5 کیلوگرم خاک انتخاب و مقدار رطوبت آنها به حد ظرفیت زراعی (که مقادیر ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم قبلاً با صفحه فشاری اندازه‌گیری شده بود) رسانده شد. سپس روزانه در ساعت مشخصی رطوبت خاک اندازه‌گیری گردید و تا زمان رسیدن به نقطه پژمردگی دائم (حدود 15 روز)، ادامه یافت. مقدار کاهش رطوبت در هر روز با استفاده از فرمول زیر بدست آمد (سپاسخواه و یرمی، 2009):

θ_{FC} - $\theta_{specific\ day}$

$\theta_{FC} - \theta_{pwp}$

سپس منحنی رطوبتی با استفاده از مقادیر بدست آمده رطوبت طی 15 روز رسم گردید و با استفاده از این نمودار، دورهای آبیاری 2، 4، 6 و 8 روز مشخص گردید که در هر دور آبیاری، با وزن نمودن، رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه می‌رسید (سپاسخواه و یرمی، 2009).

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام گردید. فاکتورهای مورد استفاده در آزمایش شامل قارچ میکوریز آربسکولار در سه سطح شامل *گلوموس موسه*، *گلوموس ورسیفرم* و شاهد، کم آبی در 4 سطح شامل دورهای آبیاری 2، 4، 6 و 8 روز گلدان‌های بدون زهکش انتخاب و با الکل سترون سطحی گردید. خاک به مقدار 5 کیلوگرم به هر گلدان افزوده گردید. بر اساس آزمون خاک عناصر مورد نیاز به خاک اضافه شد. دانهال‌ها به تعداد 2 عدد در هر گلدان منتقل شد. مایه تلقیح قارچ‌ها از بخش علوم خاک دانشگاه شیراز تهیه و به روش تله تکثیر گردیدند. برای تلقیح قارچ‌ها ی میکوریز آربسکولار مقدار 70 گرم از مایه تلقیح هر قارچ شامل اسپور (10-9 اسپور در هر گرم بستر)، هیف و قطعات کلنیزه شده (80-85%) و کلنیزه نشده ریشه‌ای و بستر در 5 سانتیمتری خاک گلدان و در کنار ریشه دانهال‌ها قرار داده شد. به منظور حفظ جمعیت میکروبی غیر از قارچ میکوریز و یکسان شدن وزن گلدان‌ها، مقدار 70 گرم از بستر گلدان‌های شاهد تلقیح نشده با قارچ‌ها که در مرحله کشت تله نگهداری شده بودند به تیمارهای بدون قارچ در کشت اصلی اضافه گردید. بعد از گذشت یک ماه از کشت اصلی (تلقیح قارچ ها) تیمارهای تنش آبی اعمال گردید (حقیقت نیا و همکاران، 2011). بعد از گذشت 6 ماه از کشت اصلی برداشت گیاه صورت گرفت. مقداری از ریشه‌ها (0/5 گرم) نمونه‌برداری و برای اندازه‌گیری درصد کلنیزاسیون ریشه در محلول فرمالدئید- اسید استیک -الکل نگهداری گردید (وو و همکاران، 2007). رنگ‌آمیزی ریشه به روش کورمانیک و مک گرو (1982) انجام و به روش خطوط متقاطع درصد کلنیزاسیون ریشه تعیین گردید. اندام‌های گیاه شامل اندام هوایی و ریشه با استفاده از آب مقطر شستشو و در آون در دمای 70 درجه سلسیوس تا زمانی که وزن خشک آنها ثابت شود قرار داده شدند و سپس وزن آنها تعیین گردید. اندام هوایی و ریشه‌های خشک شده آسیاب و برای اندازه‌گیری غلظت عناصر تجزیه گردیدند. یک گرم از نمونه‌های پودر شده در دمای 550 درجه سلسیوس در کوره الکتریکی خاکستر و سپس در 5 میلی‌لیتر اسید کلدریک دو نرمال حل کرده و محلول توسط کاغذ صافی و پس از شستشوی مواد باقی مانده بر سطح کاغذ صافی با آب مقطر، حجم نهایی به 50 میلی‌لیتر رسانده شد. غلظت‌های فسفر به روش آمونیوم مولیبدات وانادات (امامی، 1375)، غلظت آهن، مس، روی و منگنز توسط دستگاه جذب اتمی (Shimatzu AA-670)، نیتروژن به روش کلدال (برمنر، 1996) اندازه‌گیری گردید. تجزیه آماری با کمک نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD انجام و نمودارها با Excel رسم گردید.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر قارچ و تنش کم آبی بر تمام پارامترها معنی‌دار بوده است و اثر برهمکنش قارچ و تنش کم آبی بر کلنیزاسیون ریشه، جذب آهن و منگنز در اندام هوایی(جدول 2) و جذب نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و روی در ریشه (جدول 3) معنی‌دار بوده است.

با افزایش شدت تنش کم آبی درصد کلنیزاسیون ریشه در پایه نارنج به شدت کاهش یافته، درصد کلنیزاسیون در تیمارهای تلقیح شده با قارچ میکوریز بین 80/82 و 34/25 بوده است. درصد کلنیزاسیون ریشه گونه *گلوموس موسه* در مقایسه با *گلوموس ورسیفرم* در همه دورهای آبیاری بیشتر بود. این مقدار افزایش در دور آبیاری 2 روز در مقایسه با سایر دورها معنی‌داری بود. در تیمارهای بدون تلقیح قارچ در تمام سطح‌های تنش کم آبی هیچ نوع از اندام‌های قارچ مشاهده نشد (شکل 1). وو و همکاران (2006) گزارش کردند که بالاترین درصد کلنیزاسیون ریشه مرکبات در کاربرد با قارچ میکوریز زمانی بود که گیاه تحت تأثیر تنش کم آبی نباشد. آنان عنوان کردند تنش کم آبی، درصد کلنیزاسیون ریشه مرکبات را کاهش می‌دهد. با کاهش رطوبت خاک، کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای تغییر می‌کند که بر روی

Archive of SID

www.SID.ir

تندش اسپور تأثیر می‌گذارد. کاهش رطوبت همچنین به طور مستقیم بر تندش اسپور تأثیر می‌گذارد (اسمیت و رد، 2008). وو و همکاران (2005) دریافتند که درصد کلنیزاسیون ریشه در گیاه نارنج سه برگ مایه‌زنی شده با قارچ *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی به طور معنی‌داری کاهش یافته است و هیچ گونه اندام قارچی در گیاهان شاهد مشاهده نشده است. نتایج این تحقیق با تحقیقات وو و همکاران (2011 و 2008) و وو و زو (2009) بر روی مرکبات در شرایط تنش کم آبی مشابه بوده است.

با افزایش شدت تنش کم آبی وزن خشک ریشه و اندام هوایی کاهش یافت (شکل 2). تنش‌های کم آبی طولانی مدت موجب کاهش رشد سیستم ریشه‌ای و وزن خشک آنها می‌شوند که علت آن محرک‌های شیمیایی است که موجب کاهش هدایت سیستم ریشه‌ای در شرایط تنش کم آبی می‌شود و در نتیجه شیره گیاهی از ریشه کمتر عبور می‌کند (هوتون، 2004) و یا افزایش مقاومت مکانیکی خاک می‌باشد. در تمام دورهای آبیاری، بین دو گونه قارچ تلقیح شده اختلاف معنی‌دار در وزن خشک اندام هوایی و ریشه وجود نداشت (شکل 2). از آنجا که در دورهای آبیاری 4، 6 و 8 روز، بین درصد کلنیزاسیون ریشه دو گونه قارچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی دو گونه نیز در این دورهای آبیاری، تفاوت معنی‌داری نداشتند. در حالیکه در دور آبیاری 2 روز درصد کلنیزاسیون ریشه گونه قارچ *گلوموس موسه* به طور معنی‌دار از *گلوموس ورسیفرم* بیشتر بود (شکل 1) ولی این افزایش بر وزن خشک اندام-ها تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد (شکل 2) در حالیکه در جذب برخی عناصر تأثیر داشت (شکل‌های 3، 4، 5 و 6). در تمامی دورهای آبیاری، وزن خشک ریشه تیمارهای تلقیح شده با قارچ از تیمارهای بدون قارچ به طور معنی-داری بالاتر بود. در ارتباط با اندام هوایی نیز، گونه‌های قارچی به طور معنی‌داری آن را به خصوص در دورهای آبیاری 6 و 8 روز افزایش داده است (شکل 2). کلنیزه شدن گیاهان بوسیله قارچ سبب تنظیم اسمزی بهتر و بهبود رابطه آب گیاه می‌شود. قارچ باعث افزایش میزان جذب آب در گیاه نسبت به تیمارهای بدون قارچ می‌شود و افزایش جذب آب، سبب تورژسانس در سلول‌ها می‌گردد که خود یک عامل محرک طویل شدن سلول‌ها است. قارچ سبب گسترش سیستم هیف در اطراف ریشه و متعاقباً افزایش تماس ریشه با خاک می‌شود و در نتیجه توانایی جذب آب در آنها بیشتر می‌گردد. علاوه بر این قارچ موجب افزایش جذب عناصر غذایی از خاک و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی می‌گردد که سبب افزایش رشد ریشه و اندام هوایی و عملکرد ماده خشک آنها می‌باشد. برخی محققین تأثیر قارچ میکوریز بر رشد گیاهان میزبان در طول کم آبی را وابسته به بهبود تغذیه فسفر بیان نموده‌اند و همچنین هیف‌های خارج ریشه‌ای قارچ‌های میکوریز، تنظیمات روزنه‌ای و جذب آب را در ریشه‌های میکوریز افزایش می‌دهند (جانسون و همل، 1985). در دور آبیاری 2 روز بین تیمارهای تلقیح شده با قارچ و تیمارهای بدون قارچ اختلاف معنی‌دار در وزن خشک اندام هوایی وجود نداشت، در حالیکه قارچ وزن خشک ریشه ها را به طور معنی‌داری افزایش داده بود (شکل 2). در این تحقیق در شرایط بدون تنش و تنش کم آبی، به طور کلی در همه تیمارها، مقدار ماده خشک اندام هوایی در مقایسه با ماده خشک ریشه بیشتر بوده است (شکل 2). اینکه در تیمارهای قارچی در شرایط بدون تنش رشد ریشه‌ها دو برابر شده ولی اندام هوایی تغییر نکرده است شاید به دلیل خصوصیات نوع گیاه و گونه قارچی و نتایج برهمکنش آنها بر تعادلات هورومونی گیاه باشد. نارنج دارای سیستم ریشه‌ای محدود است و در شرایط تنش و بدون تنش وقتی با قارچ همزیست می‌گردد ممکن است قارچ سبب رفع محدودیت رشد ریشه گردد و رشد آن را افزایش دهد. معمولاً در شرایط تنش، که ریشه ها رشد کمتری در مقایسه با اندام هوایی دارند قارچ‌ها رشد ان را افزایش می‌دهند (حقیقت نیا و همکاران، 2011).

کم آبی جذب نیتروژن و فسفر در اندام هوایی و ریشه پایه نارنج را کاهش داده است. قارچ باعث افزایش جذب این عناصر در اندام هوایی و ریشه در شرایط تنش و بدون تنش شده است (شکل 3). مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، نظیر جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال بوسیله پدیده‌ی اسمز همگی، کم و بیش تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه می‌باشد و در صورت کاهش رطوبت، رشد گیاه کاهش می‌یابد و شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد. اگر چه بعضی از این سیستم‌های انتقالی عناصر نظیر انتشار به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و در این راستا با کاهش رطوبت تا حد آستانه بحرانی، باز هم روند جذب و انتقال بعضی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه دارد، اما از سوی دیگر، جریان توده‌ای وابستگی زیادی به مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که بوسیله این جریان انتقال می‌یابند روند جذب منفی نشان می‌دهند. با افزایش شدت کم آبی از جذب

Archive of SID

www.SID.ir

نیتروژن در برگ و ریشه کاسته شده است و قارچ میکوریزی باعث افزایش در رشد گیاه، غلظت و جذب نیتروژن نسبت به گیاهان بدون قارچ شده است (تایز و زایگر، 1998). ریوزولوزانو و آزکن (1995) در گیاهان کاهو میکوریزی در شرایط تنش کم آبی نتایج مشابه‌ای را گزارش نمودند. وو و زو (2009) در گیاه نارنج سه برگ تلقیح شده با قارچ *گلوموس ورسیفرم* گزارش کردند که قارچ تأثیری بر نیتروژن برگ و ریشه نداشته است. همین محققین دلیل نتایج مختلف را در گونه گیاه، قارچ و شرایط محیطی بیان نمودند. در حقیقت تنش کم آبی مقاومت مکانیکی خاک را افزایش می‌دهد و در نتیجه موجب کاهش رشد ریشه می‌شود. کاهش در رشد ریشه موجب کاهش توانایی گیاه برای جذب عناصر غذایی می‌شود. آگ (2001) بیان کردند که همزیستی میکوریز در شرایط تنش کم آبی معمولاً سبب افزایش جذب فسفر می‌شود. محققین علت افزایش جذب فسفر را افزایش رشد ریشه در شرایط تنش کم آبی دانستند. ریوزولوزانو و آزکن (1995) بر روی گیاهان کاهو تلقیح شده با قارچ میکوریز افزایش جذب فسفر را در هر دو شرایط تنش کم آبی و شرایط آب مناسب گزارش کردند. برخی محققین تأثیر قارچ میکوریز بر رشد گیاهان میزبان در طول تنش کم آبی را وابسته به بهبود تغذیه فسفر بیان نموده‌اند (جانسون و همل 1985). هیف‌های خارج ریشه‌ای، تنظیمات روزنه‌ای و به طور غیر مستقیم تغذیه فسفر و جذب آب را در ریشه‌های میکوریزی افزایش می‌دهند (رویزلازون و آزکن، 1995). قارچ از طریق انشعابات میسلیومی و ریسه‌ای خود سبب توسعه ریشه گیاه شده و از این طریق حجم قابل دسترس خاک گسترده‌تر می‌گردد. میسلیوم‌های قارچ از طرف دیگر با تولید آنزیم‌های فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و با تولید عوامل اسیدی و کلات کننده‌ها سبب انحلال فسفات‌های معدنی (سوری و همکاران، 2011) می‌شود و بدین ترتیب موجب تبدیل فسفر غیر قابل جذب به فسفر فراهم و قابل جذب برای گیاه می‌گردد و بنابراین باعث افزایش جذب فسفر و بالا رفتن مقدار کل فسفر گیاه می‌شود.

در پژوهش حاضر مشخص شد با افزایش شدت تنش کم آبی میزان جذب روی در اندام هوایی افزایش و جذب عناصر مس، آهن و منگنز کاهش پیدا می‌کند (شکل های 4، 5 و6). مس و روی در جذب با هم رقابت داشته و سیستم جذب و انتقال آنها یکسان است. بین روی و آهن نیز به همین صورت اثر متقابل وجود دارد. ممکن است با افزایش جذب روی در اندام هوایی، جذب عناصر آهن و مس کاهش یابد (لئون و کوشین، 1991). وو و زو (2009) گزارش کردند با افزایش شدت تنش کم آبی جذب روی در برگ دانهال‌های نارنج سه برگ شده افزایش پیدا کرده است. آگ (2001) گزارش نمودند که با افزایش شدت تنش کم آبی در گیاهان ذرت میکوریزی و غیر میکوریزی غلظت آهن و روی افزایش داشته است. فابر و همکاران (1990) گزارش نمودند در گیاهان ذرت میکوریزی غلظت و جذب روی در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزی بالاتر بوده است. در این پژوهش در تیمارهای قارچ و بدون قارچ با افزایش سطوح تنش کم آبی میزان جذب آهن، مس و منگنز کاهش و جذب روی افزایش یافت. با این وجود جذب عناصر یاد شده، در تیمارهای دارای قارچ نسبت به تیمارهای بدون قارچ بیشتر بوده است (شکل های 4، 5 و6). وو و زو (2009) بر روی نارنج سه برگ تلقیح شده با قارچ *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی نشان دادند که جذب آهن، مس و منگنز را در ریشه و برگ گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی بوده است. محققین علت افزایش میزان جذب عناصر کم مصرف را پتانسیل ریداکس پایین‌تر در ریزوسفر ، افزایش ترشحات کلات کننده، و کاهش بیشتر pH (وانگ و همکاران 2007) در ریزوسفر گیاهان دارای قارچ نسبت به گیاهان بدون قارچ دانستند. کشت‌های گلخانه‌ای و آزمایشات مزرعه‌ای نشان داده‌اند که اثر قارچها میکوریزی بر جذب عناصر کم مصرف نسبت به عناصر پر مصرف بیشتر است (سنا و همکاران، 2002) که با نتایج این پژوهش بخصوص در مورد آهن و منگنز در مقایسه با فسفر مشهود است. اثر قارچ میکوریز منعکس کننده بازدهی قارچ بر رشد پایه‌ها در سیستم همزیستی است که به شرایط محیطی وابسته است که معمولاً در این شرایط اثر قارچ بیشتر نمایان می‌گردد (ال کراکی و ال رداد، 1997). کم آبی موجب کاهش تعداد انشعابات ریشه و آسیب بر شکل ریشه می‌شود. در نتیجه آن جذب عناصر غذایی توسط ریشه کاهش می‌یابد که سبب کاهش عملکرد گیاهان در شرایط تنش کم آبی می‌شود. قارچ‌های میکوریزی به دلیل داشتن هیف‌های با قطر کوچکتر از ریشه، در منافذ ریز خاک وارد شده و رطوبت و عناصر غذایی خاک را جذب می‌کنند (اسمیت و رد، 2008). قارچ‌های میکوریز سبب تغییر در شکل و حجم ریشه از دو جنبه می‌شوند 1- تغییر وضعیت تغذیه‌ای گیاه 2- تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه (یائو و همکاران، 2006). تغییر در انشعابات و حجم ریشه تحت تأثیر عناصر غذایی بخصوص فسفر قرار دارد (لوپز-بایسو و همکارن، 2003). از طرف دیگر این موضع اثبات شده است که تغییر در تعداد انشعابات ریشه در اثر

Archive of SID

www.SID.ir

همزیستی قارچ میکوریز به علت تغییر در میزان هورمون‌های گیاهی از جمله ترکیبات پلی‌فنولیک که مانع اکسیداسیون اکسین می‌شوند است (پریز-پریز، 2007). تغییر در تعداد انشعابات ریشه مرکبات همزیست با قارچ میکوریز بیشتر به علت جذب عناصر غذایی است زیرا گیاهان مرکبات دارای ریشه‌های ضخیم با انشعابات کم می‌باشند بنابراین انشعابات ریزتر که توانایی جذب عناصر غذایی را دارند در این نوع از ریشه‌ها به تعداد کم وجود دارد (اسپیگل-روی و گلدسمیت، 1996) با کاهش ارتفاع، تعداد و سطح برگ و قطر ساقه، عملکرد ماده خشک گیاه نیز بطور معنی‌دار کاهش داشته است. از این جهت در شرایط شدید کم آبی اثر قارچ بر پارامترهای رشد گیاه و وابستگی گیاه به قارچ بیشتر مشهود است. محققین ازجمله آل‌کراکی و آل‌رداد (1997) بیان نموده‌اند که همزیستی میکوریزی در شرایط تنش کم آبی نسبت به شرایط آب مناسب اهمیت بیشتری دارد. همچنین در تحقیقات وو و همکاران (2008) و وو و زو (2009) بر روی مرکبات تلقیح شده با قارچ میکوریز در شرایط کم آبی، مشخص شد که قارچ‌های میکوریزی بر گیاهان مرکبات در شرایط تنش کم آبی و شرایط بدون تنش کم آبی اثر مثبت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

وزن ماده خشک و جذب عناصر غذایی پایه نارنج به جز روی به صورت معنی‌داری با افزایش دور آبیاری کاهش یافته است. در شرایط بدون تنش و تنش کم آبی، قارچ‌های میکوریز *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* بر درصد کلنیزاسیون ریشه، وزن ماده خشک اندام هوایی و ریشه، جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، آهن، روی، منگنز و مس در اندام هوایی و ریشه اثرات مثبت داشته اند. نتایج نشان داد که قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند با بهبود این پارامترها اثرات منفی تنش کم آبی را کاهش دهند.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

خصوصیات خاک (واحد)		خصوصیات خاک (واحد)	
بافت	لوم رسی شنی	ماده آلی (درصد)	0/93
رطوبت ظرفیت مزرعه (%)	23/7	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol+ kg^{-1}$)	24
رطوبت نقطه پژمردگی دائم (%)	9/83	فسفر محلول در بیکربنات سدیم ($mg\ kg^{-1}$)	9
پ‌هاش	7/96	مس قابل استخراج با دی.تی.پی.ا ($mg\ kg^{-1}$)	1/50
قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	0/33	آهن قابل استخراج با دی. تی. پی. ا ($mg\ kg^{-1}$)	2/66
روی قابل استخراج با دی. تی. پی. ا ($mg\ kg^{-1}$)	0/97	منگنز قابل استخراج با دی. تی. پی. ا ($mg\ kg^{-1}$)	4/30

جدول 2 - تجزیه واریانس کلنیزاسیون ریشه و عملکرد ماده خشک اندام هوایی و ریشه پایه نارنج میکوریزی و غیر میکوریزی در شرایط تنش کم آبی

		میانگین مربعات		
منابع تغییر	درجه آزادی	کلنیزاسیون ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
تنش کم آبی	3	1349/04***	204/87***	56/48***
قارچ	2	13171/86***	82/45***	106/10***
تنش کم آبی x قارچ	6	338/28***	3/85ns	3/62ns
خطا	24	18/17	4/95	1/63
ضریب تغییرات	-	11/20	12/10	12/81

***، ** و * به ترتیب در سطح 0/1، 1 و 5 درصد معنی‌دار است. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

جدول 3 - تجزیه واریانس نیتروژن، فسفر،آهن، منگنز، روی و مس جذب شده در اندام هوایی پایه نارنج میکوریزی و غیر میکوریزی در شرایط تنش کم آبی

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	N	P	Fe	Mn	Zn	Cu
تنش کم آبی	3	128813/90***	357/75***	1/25***	2/92***	100954/27***	15004/07***
قارچ	2	41422/61***	178/84***	1/04***	0/94***	47626/55**	9742/52***
تنش کم آبی x قارچ	6	1426/54ns	4/63ns	0/16***	0/02*	3952/32ns	500/52ns
خطا	24	1778/56	7/02	0/028	0/0075	1629/67	251/97
ضریب تغییرات	-	11/94	10/42	12/22	6/97	10/16	9/21

***، ** و * به ترتیب در سطح 0/1، 1 و 5 درصد معنی‌دار است. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

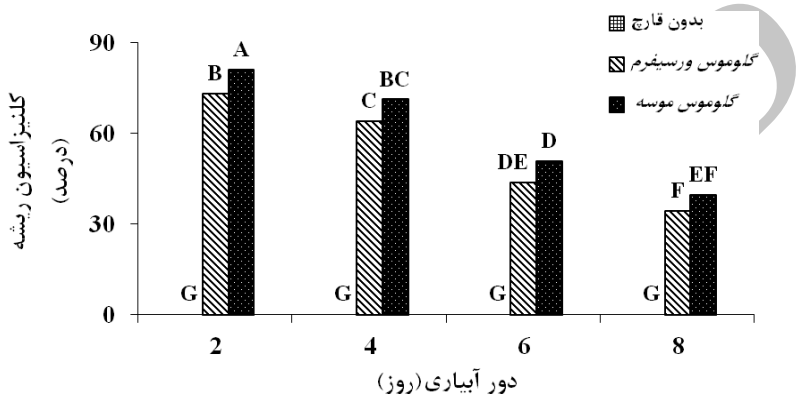
Archive of SID

www.SID.ir

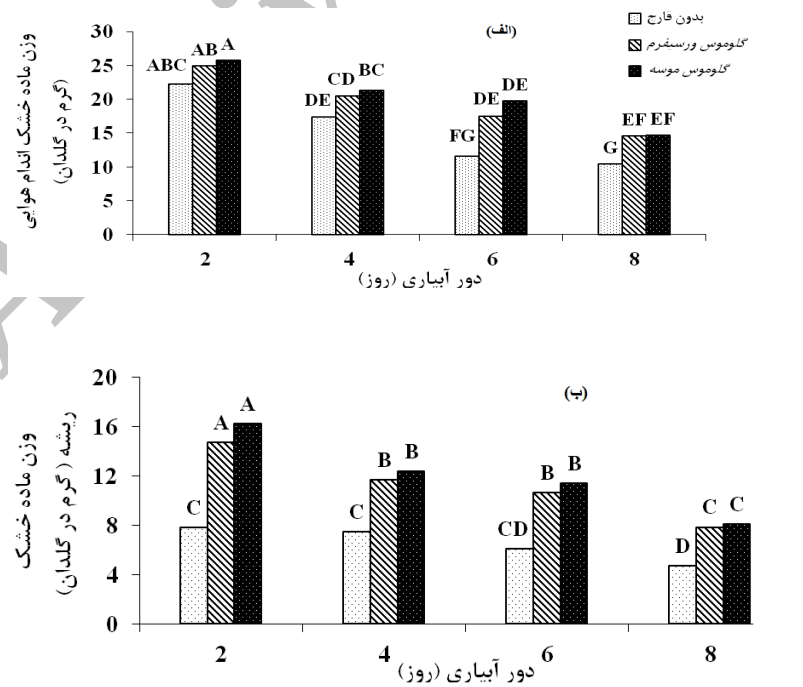
جدول 4 - تجزیه واریانس نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس جذب شده در ریشه پایه نارنج میکوریزی و غیر میکوریزی در شرایط تنش کم آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		N	P	Fe	Mn	Zn	Cu
تنش کم آبی	3	16014/62***	63/22***	4/10***	0/76***	1/24***	162413/29***
قارچ	2	24167/47***	75/85***	6/47***	1/73***	1/66***	215164/61***
تنش کم آبی × قارچ	6	1435/09*	3/16*	0/77***	0/068**	0/13***	3638/89ns
خطا	24	289/45	1/07	0/07	0/015	0/011	1927/88
ضریب تغییرات	-	13/59	11/26	13/99	13/11	9/66	7/34

***، ** و * به ترتیب در سطح 0/1، 1 و 5 درصد معنی‌دار است. ns از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.

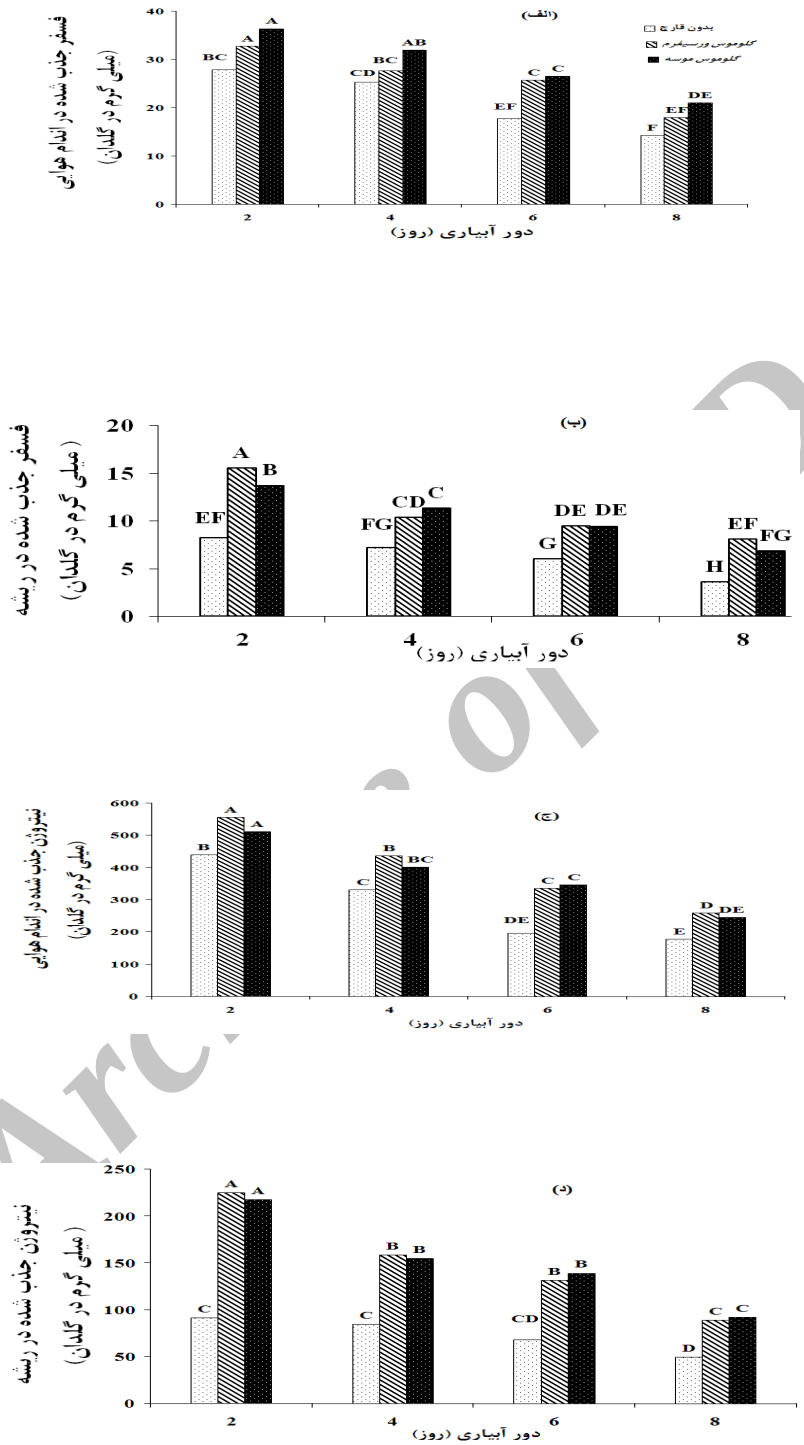


شکل 1- مقایسه میانگین درصد کلنیزاسیون ریشه در پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی



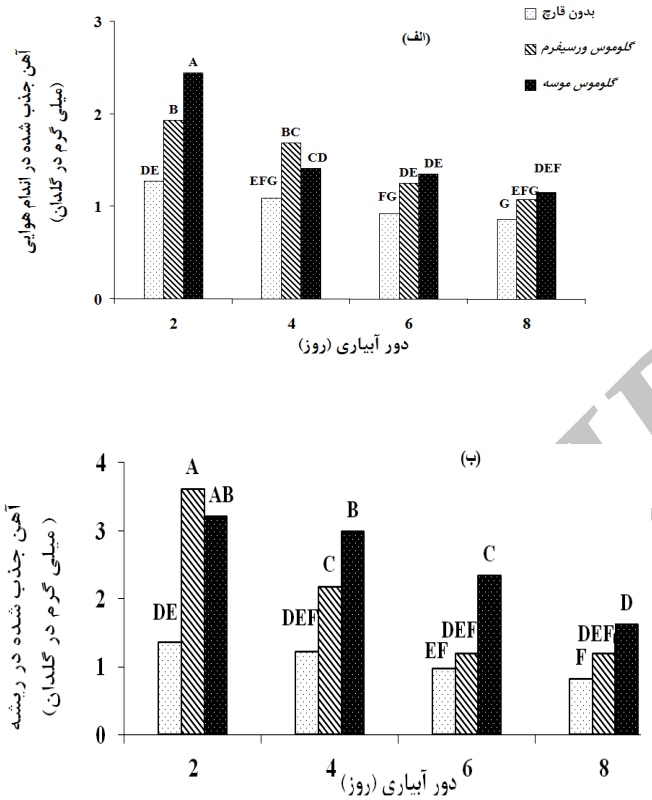
شکل 2- مقایسه میانگین وزن ماده خشک اندام هوایی (الف) و ریشه (ب) در پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی

www.SID.ir

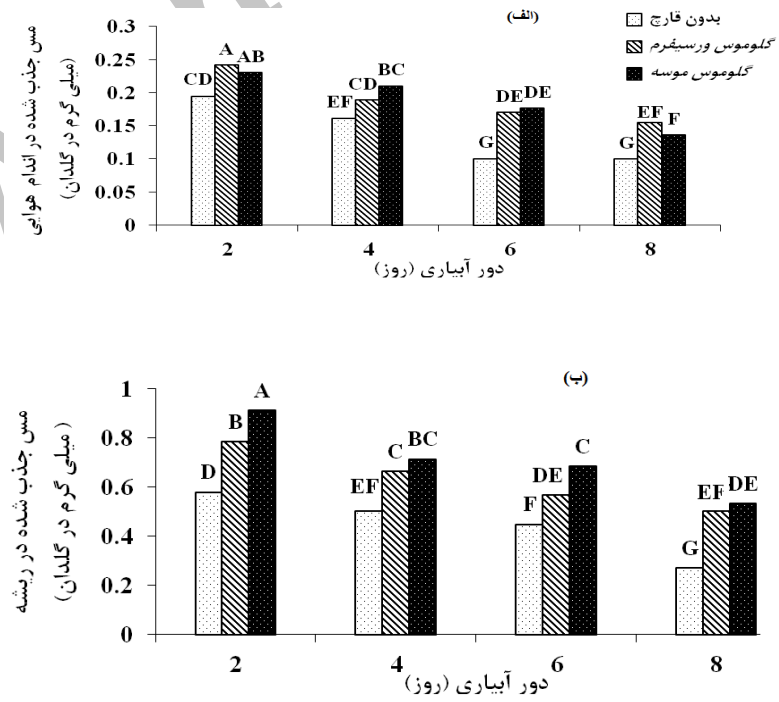


شکل 3- مقایسه میانگین فسفر جذب شده در اندام هوایی (الف)، ریشه (ب) نیتروژن جذب شده در اندام هوایی (ج) و ریشه (د) پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی

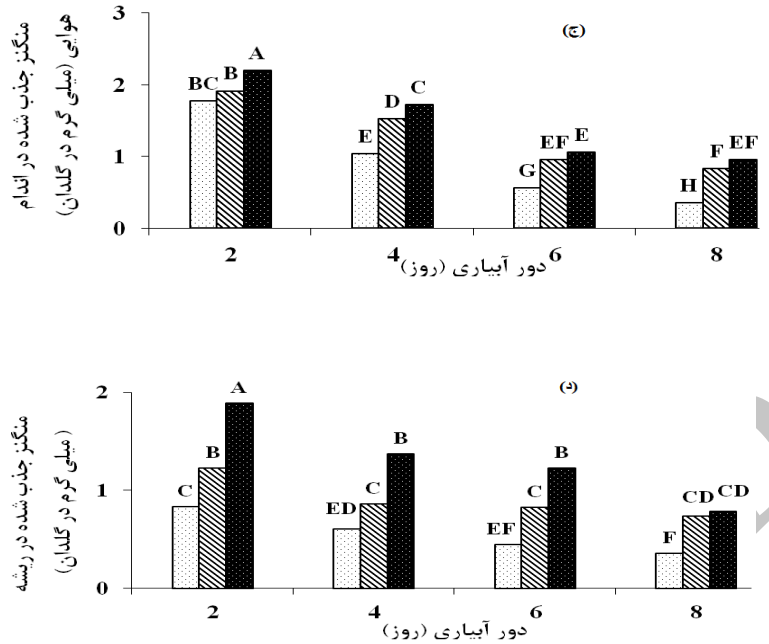
www.SID.ir



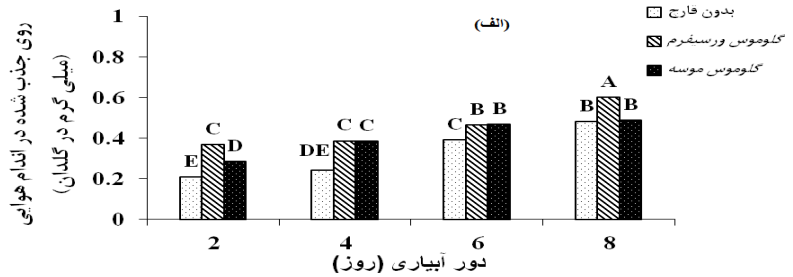
شکل 4- مقایسه میانگین آهن جذب شده در اندام هوایی (الف) و ریشه (ج) در پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی

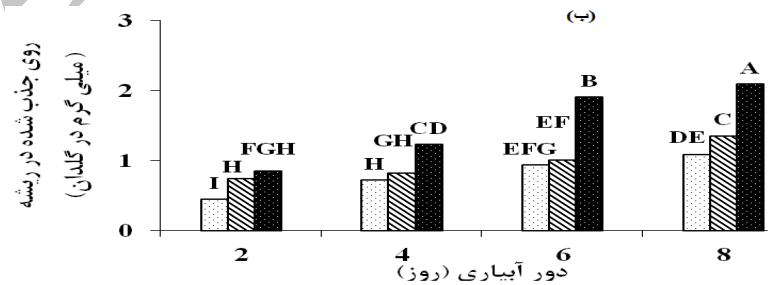


www.SID.ir



شکل 5- مقایسه میانگین مس جذب شده در اندام هوایی (الف)، ریشه (ب) منگنز جذب شده در اندام هوایی (ج) و ریشه (د) در پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی





شکل 6- مقایسه میانگین روی جذب شده در اندام هوایی (الف)، ریشه (ب) پایه نارنج تلقیح شده با قارچ *گلوموس موسه* و *گلوموس ورسیفرم* در شرایط تنش کم آبی.

www.SID.ir

فهرست منابع:

1. امامی، ع. 1375. روش‌های تجزیه گیاه .جلد اول، نشر آموزش کشاورزی، کرج، 128 صفحه.
2. جیحونی، م. 1390. اصول تغذیه درختان مرکبات ایران. شرکت کشاورزی حاصل نوین، 44 صفحه.
3. رادنیا، ح. 1375. پایه‌های درختان میوه. نشر آموزش کشاورزی کرج، 673 صفحه.
4. زنگنه، س.، علیان، ی.م.، نجفی نیا،م.، کرمپور، ف. و قلعه دزدانی، ح.ا. 1384. معرفی گونه‌های جدیدی از قارچ‌های آربوسکولار-میکوریزا از ریزوسفر مرکبات ایران. رستنیها 6: 32-77.
5. Al Karaki, G.N. and A. Al-Raddad. 1997. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance. Mycorrhiza 7:83–88.
6. Alcamo, J., T. Henrichs and T. R.osch. 2000. World water in 2025-global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the 21st century. center for environmental systems research, University of Kassel, Kurt Wolters Strasse 3, 34109 Kassel, Germany.
7. Auge R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11:3–42.
8. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Sparks, D. L. (Ed.). Soil Science Society of America. and American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 1085–1121.
9. Davies, F. S., and L. G. Albrigo. 1994. Citrus. In: Atherton, J., A. Rees, (Eds.), Crop Production Science in Horticulture, vol. 2. CAB International, Wallingford, UK.
10. Faber, B. A., R. J. Zakoski, R. G. Burau and K. Uriu. 1990. Zinc uptake by corn as affected by vesicular-arbuscular mycorrhizae. Plant and Soil 129:121–130.
11. Graham, J. H. and J. P. Syvertsen. 1985. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. New Phytologist 101:667-676
12. Haghighatnia H., H.A. Nadian and F. Rejali 2011. Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of Citrus volkameriana rootstock under drought stress. World Applied Sciences Journal 13 (5):1077-1084.
13. Hutton, R. J. 2004. Effects of cultural management and different irrigation regimes on tree growth, production, fruit quality and water relations of sweet orange *C. sinensis* (L.) Osbeck. PhD thesis, University of Sydney, Sydney, Australia.
14. Johnson, C. R. and R. L. Hummel. 1985. Influence of mycorrhizae and drought stress on growth of Poncirus × Citrus seedlings. Horticultural Science 20:754 –5.
15. Kormanik, P. P. and A. C. McGraw. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant root. In:Methods and principles of mycorrhizal reseach, ed. By Schenk N .C, The American Phytopathological Society, St. Paul 37-45.
16. Leon, V. and Kochain. 1991. Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plant. Pp. 229-285. In: Mortvelt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch (eds). Micronutrient in Agriculture. 2nd ed. Soil Science Society of America. Madison, Wl.
17. Lopez-Bucio, J., A. Cruz-Ramirez. L. Herrera-Estrella. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. Current Opinion in Plant Biology 6:280–287.
18. Nadian, H., S. E. Smith, A. M. Alston and R. S. Murray. 1996. The effect of soil compaction on growth and P uptake by *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. Plant and Soil 182:39-49.
19. Perez-Perez, J.M., 2007. Hormone signaling and root development: an update on the latest Arabidopsis thaliana research. Funct. Plant Biolology 34:163–171.

Archive of SID

www.SID.ir

20. Porcel, R., J. M. Barea, J. M. Ruiz-Lozano. 2003. Antioxidant activities in mycorrhizal soybean plants under drought stress and their possible relationship to the process of nodule senescence. New Phytologist. 157: 135–43.
21. Ruiz-Lozano, J. M. and R. Azcon. 1995. Hyphal contribution to water uptake in mycorrhizal plants as affected by the fungal species and water status. Plant Physiology 95:472-478.
22. Sena, J. O. A., C. A. Labate and E. J. B. N. Cardoso. 2002. Micronutrient accumulation in mycorrhizal citrus under different phosphorus regimes. Acta Scientiarum 24:1265–1268.
23. Sepaskhah, A. R. and N.Yarami. 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 84(2) :216-222.
24. Smakthin, V., C. Revenga and P. Doll. 2004. Taking into Account Environmental Water Requirements in Globalscale Water Resources Assessments. Comprehensive Asessment of Water Management in Agriculture Research Report 2, IWMI, Colombo, Sri Lanka.
25. Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, London.
26. Spiegel-Roy, P., E. E. Goldschmidt. 1996. Biology of Citrus. Cambridge University Press.
27. Suri, V. K., A. K. Choudhary, C. Girish, T. S. Verma, M. K. Gupta and N. Dutt. 2011. Improving phosphorus use through co-inoculation of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria in maize in an acidic Alfisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42 (18): 2265-2273.
28. Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Plant physiology (2nd ed.) Sinauer Associates. Inc. Publisher. Sunderland MA Chusetts. 757p.
29. Troehza loynachan, T. E. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal. 95(1): 224-230.
30. Wang, M. Y., R. X. Xia, L. M. Hu, T. Dong and Q. S.Wu. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate iron deficient chlorosis in *Poncirus trifoliata* L. Raf under calcium bicarbonate stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 82(5):776-780.
31. Wu, Q. S., Y. N. Zou, R. X. Xia, and M. Y. Wang. 2007. Five *Glomus* species affect water relations of *Citrus tangerine* during drought stress. Botanical Studies 48:147-154.
32. Wu, Q. S. and R. X. Xia and Y. N. Zou. 2006. Reactive oxygen metabolism in non-mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings subjected to water stress. Journal of Plant Physiology 163:1101-1110.
33. Wu, Q. S. and Y .N. Zou. 2009. Mycorrhizal Influence on nutrient uptake of citrus exposed to drought stress. The Philippine Agricultural Scientist 92(1):33-38.
34. Wu, Q. S., R. X. Xia and Y. N. Zou. 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.
35. Wu, Q. S., R. X. Xia and Z. J. Hu. 2005. Effects of arbuscular mycorrhiza on drought tolerance of Poncirus trifoliata. Chinese Journal of Applied Ecology 16:459–63.
36. Wu, Q. S., Y. N. Zou, R. X Xia and M. Y. Wangi. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. Soil, Environmental and Atmospheric Sciences 55(10):436–442.
37. Yao, Q., H. H. Zhu, J. Z. Chen. 2005. Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (Litchi chinensis Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. Horticultural Science 105(1):145–151.

Archive of SID

www.SID.ir