نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

اثر تنش کم‌آبی و قارچ‌های میکوریزی *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae* بر خصوصیات رشدی و جذب برخی عناصر در عدس

*حسینعلی علیخانی[۱]، بهرام ابوالفضلی[۲] و فرهاد رجالی[۳]

[۱]استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، [۲]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران،
[۳]دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در سال‌های اخیر ریزسازواره‌های مفید به‌عنوان یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش تولید محصول در کشاورزی پایدار ارزیابی‌شده‌اند. بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر رشد و جذب برخی عناصر گیاه عدس (رقم بیله سوار) تحت تنش شرایط کم‌آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایشی در آرایش فاکتوریل به‌صورت طرح کامل تصادفی شامل دو فاکتور، تنش رطوبتی در چهار سطح (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل دسترس) و فاکتور دوم نوع قارچ میکوریزی در چهار سطح *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae*، مخلوط دو گونه و شاهد در اتاقک‌های رشد در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران طراحی و در سال ۲۰۱۳ انجام گرفت. پس از طی دوره رشد، صفات رشدی شامل ماده خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، تعداد غلاف، کلروفیل برگ، کلنیزاسیون ریشه، ارتفاع گیاه و عناصر N، P، K، Fe و Zn در شاخساره اندازه‌گیری شد و تجزیه تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در اثر تنش کم‌آبی تمام صفات گیاهی اندازه‌گیری‌شده کاهش یافت به‌طوری‌که ماده خشک شاخساره، وزن خشک ریشه، تعداد غلاف، شاخص کلروفیل برگ، کلنیزاسیون ریشه و ارتفاع گیاه در بالاترین سطح تنش S_1 نسبت به شاهد NS به‌ترتیب ۴۹/۹۹، ۴۱/۱۲، ۱۱/۲، ۲۴/۴، ۲۶/۰۶، ۲۸/۰۹ و ۲۲/۱۵ درصد کاهش یافتند. هم‌چنین اثر متقابل تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریز بر تمام صفات اندازه‌گیری‌شده به‌جز ارتفاع بوته، وزن خشک ریشه، عدد کلروفیل، روی، فسفر و پتاسیم در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. تمام صفات اندازه‌گیری شده در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریزی با گیاهان غیرمیکوریزی بالاتر بود. بیش‌ترین تعداد غلاف، وزن خشک شاخساره و آهن در تیمار M_1NS به‌دست آمد که به‌ترتیب نسبت به شاهد ۵۱، ۳۶/۰۷، ۷۹/۴۸ درصد بیش‌تر بود. بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون ریشه در تیمار S_3M_2 به‌میزان ۸۷/۳ درصد و کم‌ترین مقدار در تیمار S_1NM به‌میزان ۸/۲۵ درصد به‌دست

* مسئول مکاتبه: halikhan@ut.ac.ir

آمد. هم‌چنین قارچ‌های میکوریزی *R. intraradices*، *F. mosseae* و مخلوط دو گونه محتوای آهن در شاخساره را به‌ترتیب ۸۹/۲، ٤٥/۰، ۳۳/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.

نتیجه‌گیری: تنش کم‌آبی تأثیر منفی بر تمام شاخص‌های رشد داشت اما بیش‌ترین کاهش در وزن خشک ریشه و شاخساره دید شد. کاربرد قارچ‌های میکوریز تأثیر معنی‌داری بر صفات رشدی و جذب عناصر داشت. استفاده از قارچ‌های میکوریزی *R. intraradices* و *F. mosseae* اثرات منفی تنش کم‌آبی را کاهش داد و افزایش رشد و جذب بیش‌تر عناصر را به‌دنبال داشت.

واژه‌های کلیدی: صفات گیاهی، وزن خشک شاخساره، کلنیزاسیون ریشه، آهن، تعداد غلاف

مقدمه

بیش از ۸۲ درصد زمین‌های کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است که متوسط بارندگی آن در حدود ۲۸۰ میلی‌متر است. همین مقدار نیز از توزیع زمانی و مکانی مناسب برخوردار نیست (٤). کمبود آب و خشکی یکی از عوامل محدودکننده مهم برای تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (۲۲). علائم و نشانه‌های خشکی به‌صورت پژمردگی گیاهان، کاهش نرخ خالص فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، راندمان مصرف آب، محتوای آب نسبی و کاهش محتوای کلروفیل برگ آشکار است. تنش خشکی با اختلال در سیستم انتقال الکترون، منجر به شکل‌گیری اکسیژن فعال می‌گردد (٤٤). در سال‌های اخیر ریزسازواره‌های مفید به‌عنوان یکی از راه‌کارهای کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش تولید محصول در کشاورزی پایدار ارزیابی شده‌اند. ۸۰ درصد کل گیاهان کشاورزی، جنگلی، و باغی نوعی همزیستی میکوریزی دارند و این ریزسازواره‌ها نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی در زیست‌بوم‌های مختلف دارند (۱۷ و ٦۳). در مناطق خشک با بهبود جذب آب و عناصر غذایی مقاومت گیاهان را در برابر خشکی افزایش می‌دهند. قارچ‌های میکوریزی پتانسیل قابل‌توجهی در افزایش تحمل گیاهان به خشکی دارند (۸) در حقیقت قارچ‌های میکوریزی با جذب و انتقال آب از هیف‌ها به گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها، تحمل گیاهان را به خشکی افزایش می‌دهند (۸، ۱۰ و ۱۱). نقش قارچ‌های میکوریزی در رفع کمبود روی در خاک‌ها و افزایش غلظت روی مواد غذایی در مناطقی که از کمبود روی در رژیم غذایی رنج می‌برند دارای اهمیت شایان توجهی است (۲۵). این ریزسازواره‌های مفید با القای تولید پرولین و آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان همزیست سبب افزایش مقاومت میزبان در مقابل تنش‌های محیطی می‌شوند (٦ و ۲۸). در مناطق خشک وجود مقادیر بالای آهک در خاک بر پیچیدگی موضوع می‌افزاید و سبب اختلال در جذب فسفر و برخی عناصر ریزمغذی می‌گردد. رشد و عملکرد گیاهان لگوم در این مناطق تحت‌تأثیر فسفر و عناصری مانند آهن و روی است. هم‌چنین به‌دلیل نقش فسفر و آهن در تثبیت نیتروژن، کمبود عناصر مذکور عملکرد و رشد را به شدت کاهش می‌دهد. قارچ‌های میکوریزی با فراهمی آهن و فسفر عناصر دیگر نقش فراوانی در افزایش عملکرد در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارند (٤٦، ٤٨، ۲۱ و ۱۵). رجالی (۲۰۰٤) گزارش کرد استفاده از گونه‌های

مختلف قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کشت گندم در سطوح مختلف تنش خشکی منجر به افزایش عملکرد و جذب عناصر روی، مس و فسفر شد. هم‌چنین ساب رامانیان.و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند کلنیزاسیون ریشه گیاه گوجه‌فرنگی با قارچ *R. intraradices* در شرایط تنش خشکی، تعداد گل و میوه و عملکرد گیاه را در تمام سطوح تنش افزایش می‌دهد. اجیرلو و فرخپور (۲۰۱٤) گزارش کردند تلقیح گیاه کاهو با قارچ‌های میکوریزی سبب بهبود شاخص‌های رشد و افزایش جذب عناصر پتاسیم و کلسیم شد. عدس به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک زراعی که در سطح وسیعی که به‌صورت دیم کشت می‌شود. که به‌دلیل مواجهه گیاه با کمبود آب در اواخر فصل رشد، عملکرد محصول به‌صورت محسوس کاهش می‌یابد. علی‌رغم پژوهش‌های گسترده که در مورد همزیستی قارچ‌های میکوریزی با گیاهان زراعی صورت گرفته است در ایران پژوهش‌های اندکی در رابطه با همزیستی قارچ‌های میکوریزی با گیاه عدس انجام گرفته است. از این‌رو این آزمایش با هدف بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزی بر افزایش جذب عناصر غذایی و شاخص‌های رشد عدس در شرایط تنش کم‌آبی به‌صورت کشت گلخانه‌ای انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشی در آرایش فاکتوریل به‌صورت طرح کامل تصادفی شامل دو فاکتور، تنش رطوبتی در چهار سطح (۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده) و فاکتور دوم گونه قارچ میکوریزی در چهار سطح *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae*، مخلوط دو گونه و شاهد در اتاقک‌های رشد در گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران طراحی و در سال ۲۰۱۳ انجام گرفت. علائم S_1، S_2، S_3، NS به‌ترتیب ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد (بدون تنش) رطوبت قابل دسترس را و علائم M_1، M_2، M_3، NM نیز به‌ترتیب *Funneliformis mosseae*[1]، *Rhizophagus intraradices*[2]، مخلوط دو گونه و شاهد (بدون تلقیح) را نشان می‌دهند.

نقشه تیمارها

جدول ۱- نقشه تیمارها.

Table 1. Treatments map.

سطح تنش / قارچ میکوریز	.02PAW S_1	.04 PAW S_2	.06 PAW S_3	.08 PAW NS
(M_1) *F. mosseae*	M_1S_1	M_1S_2	M_1S_3	M_1NS
(M_2) *R. intraradices*	M_2S_1	M_2S_2	M_3S_3	M_2NS
(M_3) F.m * R.i	M_3S_1	M_3S_2	M_3S_3	M_3NS
(NM) BLAK	NMS_1	NMS_2	NMS_3	NMNS

۱- نام جدید قارچ میکوریزی *گلوموس موسه*- قارچ *فانلی فرمیس‌موسه* می‌باشد که در متن نام جدید آورده شده است (۳۷).

۲- نام جدید قارچ *گلوموس اینترارادیسیز* قارچ *رایزوفاگوس اینترارادیسیز* می‌باشد که در متن نام جدید آورده شده است (۳۷).

مایه تلقیح میکوریزی و باکتریایی: یک جدایه باکتری *Rhizobium Leguminosarum Biovar Viciae* برای تلقیح عدس از بانک ژن گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران تهیه و آزمون گرهزایی بر روی آن انجام گرفت و سپس ۵۰۰ میلیلیتر محلول محیط کشت استریل YMB تهیه و جدایه مورد نظر در محیط کشت مایع YMB روی شیکر با ۱۵۰ دور بر دقیقه در دمای ۲۶ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت رشد داده شدند. در نهایت مایه تلقیح با چگالی نوری ۰/۶ در طول موج ۶۰۰ نانومتر جمعیت حداقل ۱×۱۰^{۷} به‌دست آمد (۲۰). مایه تلقیح قارچ‌های میکوریزی *R. intraradices* و *F. mosseae* از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه و سپس شمارش جمعیت فعال قارچی با روش واحد آلوده‌کننده صورت گرفت (۴۵) و مایه تلقیح قارچ میکوریزی *R. intraradices* و *F. mosseae* به‌ترتیب دارای جمعیت فعال ۱۴۵۰ و ۱۵۱۰ در ۱۰۰ گرم خاک بودند (۱۸).

تهیه بذر و کشت: بذر عدس *Lens culinaris* رقم بیله سوار از مرکز تحقیقات دیم مراغه تهیه گردید. ابتدا بذرهای سالم و هم‌اندازه انتخاب با استفاده از الکل ۹۶ درصد (به‌مدت ۳۰ ثانیه) و هیپوکلریت سدیم ۲/۵ درصد (۲ تا ۳ دقیقه) ضدعفونی سطحی، سپس با آب مقطر چند بار شستشو شدند. سپس بر روی آگار (محلول آب آگار یک درصدو نیم) پخش و به‌مدت ۲۴ ساعت در انکوباتور در دمای ۲۷ تا ۲۸ سانتی‌گراد قرار نگهداری شده تا جوانه‌دار گردند (۲۵).

آماده‌سازی بستر و کشت گیاه عدس: نمونه‌برداری خاک از منطقه کردان کرج در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری صورت گرفت. به‌منظور یکنواخت‌سازی خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و پس از تجزیه خاک و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن، نیاز کودی (۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌عنوان آغازگر، ۲۰ کیلوگرم سولفات آهن) تعیین، و کودهای مورد نظر به خاک اضافه شدند و به خوبی با خاک مخلوط گردید. سپس ۳ کیلوگرم خاک وزن و در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی با تراکم یکسان ریخته شد. سپس آبیاری با آب مقطر تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت و بعد از ۲۴ ساعت ۷۰ گرم مایه تلقیح قارچی *R. intraradices*، *F. mosseae* و مخلوط این دو گونه، در عمق ۳ سانتی‌متری قرار داده شد و ۸ بذر عدس جوانه‌دار شده بر روی آن قرار داده و به‌ازای هر بذر یک میلی‌لیتر مایه تلقیح باکتریایی اضافه گردید و سپس روی بذرها با خاک مرطوب پوشانده و ۲۴ ساعت بعد رطوبت به حد ظرفیت مزرعه رسانیده شد. دو هفته پس از سبز شدن بذرها ۴ گیاهچه نگهداری شد و تیمارهای رطوبتی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل دسترس، با توزین روزانه هر گلدان و کمبود رطوبت تا سطح مورد نظر اضافه گردید. گیاهچه‌ها در اتاقک رشد با دمای ۲۸-۲۲ درجه و نور ۱۲۰۰۰ لوکس و ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی در ۳۰ روز اول و ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی در ۳۰ روز دوم، به‌مدت دو ماه نگهداری شدند (۴۱).

اندازه‌گیری صفات رشدی و تعیین حدود رطوبتی: شاخص کلروفیل برگ با دستگاه SPAD مدل CL-01 اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاهان، پس از رشد کامل در مرحله تولید بذر اندازه‌گیری گردید. پس از برداشت گیاه سپس نمونه‌های تر در دمای ۷۰ به‌مدت دو روز در آون خشک شدند و سپس وزن خشک شاخساره و ریشه توزین شد. برداشت گیاه در مرحله رسیدگی دانه‌ها انجام گرفت و تعداد غلاف‌ها شمرده

شد. جهت تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه، با استفاده از روش رنگ‌آمیزی فیلیپس و هیمن (۳۸) صورت گرفت و سپس از روش خطوط متقاطع (۵۸) استفاده گردید.

رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم با دستگاه پرشر پلیت اندازه‌گیری شد (۷) و رطوبت قابل دسترس گیاه از رابطه زیر محاسبه و سطوح تنش مشخص شد.

$$PAW=FC-PWP$$

اندازه‌گیری عناصر: غلظت آهن و روی در عصاره‌های گیاهی آماده‌شده به روش هضم تر، توسط دستگاه جذب اتمی مدل AA-670 Shimadzu قرائت شد (٤٠). ابتدا محلول‌های استاندارد تهیه شده و با توجه به طول موج اختصاصی برای هر عنصر، منحنی کالیبراسیون رسم گردیده و سپس اقدام به قرائت نمونه‌ها شد. فسفر نمونه‌های گیاهی با روش رنگ‌سنجی وانادات- مولیبدات در طول موج ٤٣٠ نانومتر، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (۱۷) میزان پتاسیم در عصاره تهیه شده، به روش نورسنجی شعله با استفاده از دستگاه فلایم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (۳۱). اندازه‌گیری نیتروژن با استفاده از روش گرهارد و دستگاه کجلدال که شامل سه مرحله هضم، تقطیر و تیتراسیون است انجام گرفت (۱۳).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: تجزیه تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین اثر تیمار با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد و نمودارها با نرم‌افزار Excel رسم گردید.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد اثر اصلی گونه قارچ میکوریزی و تنش کم‌آبی بر ماده خشک شاخساره و ریشه، کلنیزاسیون ریشه، تعداد غلاف، ارتفاع در سطح یک درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار است در صورتی‌که اثر متقابل تنش کم‌آبی و گونه قارچ بر روی صفات ماده خشک شاخساره و تعداد غلاف معنی‌دار و بر روی صفات ماده خشک ریشه و ارتفاع تأثیر معنی‌داری نداشت. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی تنش کم‌آبی نشان داد در سطح یک درصد با کاهش رطوبت از سطح (بدون تنش) ۰/۸ به ۰/۲ آب قابل استفاده ماده خشک شاخساره و ریشه، تعداد غلاف، ارتفاع گیاه و کلنیزاسیون ریشه به‌ترتیب از ۰/٦۷، ٦/۷۱، ۳۲/۵۵، ٦٤/٤۱، ٦۱/۵۳ به ۰/٤۹، ٤/۷٦، ۱٦/۲۸، ٤۸/٦٤، ۵٤/۱۳ کاهش یافت (جدول ٤).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 2. Some physical and chemical properties of soil used in experiment.

کربن آلی OC %	رطوبت نقطه پژمردگی دائم PWP (درصد)	رطوبت ظرفیت مزرعه FC (درصد)	N	P	Zn	Fe	k	بافت خاک soil texture	هدایت الکتریکی EC ($ds\ m^{-1}$)	pH
			mg kg $^{-1}$							
0.6	14.2	21	0.03	12.87	1.8	2.5	420	لوم شنی Sandy Loam	0.77	8.5

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزا بر برخی صفات گیاه.

Table 3. Variance Analysis effects of mycorrhizal fungi species and water deficit on some plant characteristics.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Sum of square					
		وزن خشک شاخساره Shoot dry Weight	وزن خشک ریشه Root dry Weight	ارتفاع گیاه Plant Height	کلنیزاسیون ریشه Root colonization	تعداد غلاف Number sheath	شاخص کلروفیل Chlorophyl index
قارچ میکوریز Mycorrhiza	3	10.383**	0.044**	181.875**	287.19**	12.699**	211.954**
تنش کم‌آبی water deficit	3	8.527**	0.116**	460.282**	1870.63**	24.716**	89.918**
قارچ میکوریزا × تنش کم‌آبی Mycorrhiza fungi × water deficit	9	0.813**	0.001ns	11.8ns	46.098**	1.729**	4.129ns
خطا Error	48	0.248	0.0019	8.04	15.37	0.559	8.108
ضریب تغییرات (CV%)	-	8.53	7.74	5.61	6.563	12.8	8.25

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری.

**, * and ns Significant at 1%, 5% level of probability, respectively and non-significant.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر اصلی گونه قارچ میکوریزا و تنش کم‌آبی بر برخی صفات گیاهی.

Table 4. Mean comparison of effect of mycorrhizal fungi species and plant water stress on some Plant characteristics.

تیمار Treatments	صفات گیاهی Plant parameters						
قارچ میکوریزا Mycorrhizal fungi (M)	تعداد غلاف (در گیاه) Number of sheath (per plant)	کلنیزاسیون ریشه (درصد) Root colonization (%)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant Height (cm)	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان) Shoot dry weight (gr vase^{-1})	وزن خشک‌ریشه (گرم در گلدان) Root Dry weight (gr vase^{-1})	عدد کلروفیل Chlorophyll (SPAD)
M_1	27.23^a	61.9^c	59.59^a	6.5^a	0.6^b	35.56^a
M_2	26.39^b	81.68^a	56.5^a	6.18^b	0.602^a	35.6^a
M_3	20.87^c	76.45^b	52.86^b	5.18^b	0.59^a	35.9^a
NM	20.52^c	9.14^b	51.4^b	4.18^c	0.49^b	30.93^b
تنش کم‌آبی water deficit (S)						
S_1	16.28^d	54.13^b	48.54^b	4.76^c	0.49^c	30.28^d
S_2	19.44^c	57.1^b	52.91^b	5.84^b	0.51^c	32.74^c
S_3	26.44^b	61.9^a	57.01^a	6.02^b	0.6^b	36.34^b
NS	32.55^a	61.53^a	61.48^a	6.71^a	0.69^a	38.95^a

میانگین‌هایی با حروف مشترک عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

S_1، S_2، S_3، NS به‌ترتیب ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده و M_1، M_2، M_3، NM نیز به‌ترتیب *R. intraradices*، *F. mosseae*، مخلوط این دو گونه و شاهد.

Means by the same letter were not significantly different according to Dancans (P<0.05).

S_1, S_2, S_3, NS, 20%, 40%, 60% and 80% of available water and M_1, M_2, M_3, NM respectively *R. intraradices*, *F. mosseae*, a mixture of two species and control.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزا بر برخی صفات گیاهی و محتوای آهن و نیتروژن.

Table 5. Mean comparison of effects of water stress and mycorrhizal fungi species on plant characteristics and iron and nitrogen content.

عناصر Plant nutrients		صفات گیاهی Plant parameters			تیمار Treatment s	
نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	آهن Iron ($mg\ kg^{-1}$)	وزن خشک شاخساره (گرم) Shoot dry weight ($gr\ vase^{-1}$)	تعداد غلاف در گیاه Number of sheath (per plant)	کلنیزاسیون ریشه Root colonization (%)	قارچ میکوریزا Mycorrhizal fungi (M)	تنش کم‌آبی water deficit (S)
4.732^{d-f}	180^{c}	4.7^{e}	18.67^{eg}	65.58^{fg}	M_1	S_1
3.99^{d-f}	142^{f}	5.65^{d}	17.37^{fg}	70.38^{e}	M_2	S_1
3.97^{ef}	140^{h}	4.53^{e}	13.5^{h}	71.32^{e}	M_3	S_1
3.442^{g}	104^{j}	4.16^{e}	15.5^{gh}	8.22^{h}	NM	S_1
4.62^{c-e}	200^{b}	6.38^{cd}	22.51^{cd}	64.8^{g}	M_1	S_2
4.057^{def}	147^{f}	6.25^{d}	18.9^{ef}	82.65^{a-c}	M_2	S_2
4.658^{ab}	146^{f}	6.11^{cd}	17^{e-h}	73.45^{de}	M_3	S_2
3.79^{f}	110^{f}	4.62^{e}	19.6^{d-f}	8.3^{h}	NM	S_2
4.296^{cd}	206^{b}	7.28^{ab}	31.75^{b}	71.92^{e}	M_1	S_3
4.45^{bc}	165^{d}	6.08^{cd}	32.24^{b}	87.31^{a}	M_2	S_3
4.434^{bc}	140^{f}	5.89^{d}	21.37^{de}	78.89^{cd}	M_3	S_3
3.942^{f}	112^{i}	4.83^{e}	22.2^{cd}	9.47^{h}	NM	S_3
4.795^{a}	210^{a}	7.62^{a}	37.25^{a}	74.85^{de}	M_1	NS
4.562^{a-c}	182^{c}	6.74^{bc}	37.07^{a}	86.45^{ab}	M_2	NS
4.82^{a}	161^{e}	6.74^{bc}	31.24^{b}	81.12^{bc}	M_3	NS
4.07^{def}	117^{h}	5.65^{d}	24.62^{c}	10.57^{h}	NM	NS

میانگین‌هایی با حروف مشترک عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

S_1، S_2، S_3، NS به‌ترتیب ۲۰، ٤٠، ٦٠ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده و M_1، M_2، M_3، NM نیز به‌ترتیب *R. intraradices*، *F. mosseae*، مخلوط این دو گونه و شاهد.

Means by the same letter were not significantly different according to Dancans ($P<0.05$).
S_1, S_2, S_3, NS, 20%, 40%, 60% and 80% of available water and M_1, M_2, M_3, NM respectively *R. intraradices*, *F. mosseae*, a mixture of two species and control.

صفات رشدی گیاه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۵) کم‌ترین مقدار ماده خشک در تیمار NMS1 و بیش‌ترین مقدار ماده خشک در تیمار M1NS به‌دست آمد. تنش خشکی عملکرد خشک شاخساره و ریشه را در گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی را کاهش داد. کاربرد قارچ میکوریزا می‌تواند به‌طور محسوس اثرات تنش خشکی را کاهش دهد. قارچ‌های میکوریزی با جذب و انتقال آب به گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، تحمل گیاهان را به خشکی افزایش می‌دهند (۱۰ و ۳۵). هم‌چنین سینک و همکاران (۲۰۱۱) ماده خشک بیش‌تر گیاه میکوریزی را به مقدار بالاتر NPK و فتوسنتز بیش‌تر نسبت می‌دهند. غلام‌حسینی و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که گونه‌های مختلف قارچ میکوریزی در شرایط تنش خشکی ماده خشک گیاه و عملکرد دانه را در گیاهان آفتاب‌گردان تحت تنش خشکی را به‌میزان قابل‌توجهی افزایش دادند.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بین گونه‌های قارچی تفاوت معنی‌داری ازنظر وزن خشک ریشه وجود نداشت (جدول ٤). با کاهش رطوبت وزن خشک ریشه کاهش یافت و کم‌ترین مقدار ماده خشک ریشه در سطح تنش S_1 به‌دست آمد (جدول ٤). تأثیر سوء تنش خشکی بر رشد ریشه بیش از شاخساره است، که این امر ممکن است ناشی از افزایش در مقاومت مکانیکی خاک (٥٦) و یا همراه با یک کاهش در هدایت هیدرولیکی ریشه باشد (٣٤). تنش خشکی می‌تواند تعداد تارهای کشنده ریشه را کاهش دهد و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد کند که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد. در این زمان، هیف‌های قارچ میکوریزا آربوسکولار می‌تواند سطح جذب‌کننده ریشه را افزایش دهد. نقش همزیستی میکوریزی در شرایط تنش خشکی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش همزیستی میکوریزی در شرایط بدون تنش است (٦٠).

مقایسه میانگین اثر تنش آبی و گونه قارچ میکوریزی نشان داد (جدول ٥) کم‌ترین تعداد غلاف در تیمار NMS1 و بیش‌ترین تعداد غلاف M3NS و با افزایش شدت تنش تعداد غلاف کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد غلاف در سطح بدون تنش NS و کم‌ترین تعداد غلاف در سطح تنش S_1 به‌دست آمد (جدول ٤). بروز تنش خشکی در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی به سبب تأثیری که تنش بر اندام‌های زایشی و کاهش سطح برگ می‌گذارد، اثر بیش‌تری دارد. احتمال دارد تنش خشکی در روند انتقال مواد فتوسنتزی از بوته‌ها به غلاف‌ها و دانه‌ها تأثیر منفی گذاشته و در نتیجه منجر به کاهش وزن بذرها، چروکیدگی بذرها و نهایت کاهش عملکرد بذر و کاهش تعداد غلاف شود (٥).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ٤) ارتفاع بوته به‌طور معنی‌دار تحت شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی را کاهش یافت. ارتفاع گیاهان میکوریزی در تمام سطوح تنش کم‌آبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از گیاهان غیرمیکوریزی بود. بیش‌ترین ارتفاع در کاربرد *F. mosseae* درسطح رطوبت NS (بدون تنش آبی) مشاهده شد در مقابل بین تیمارهای M_2، M_3 و NM اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ٤). ارتفاع گیاهان با افزایش شدت تنش در تیمارهای میکوریزی و غیرمیکوریزی به‌طور محسوس کاهش می‌یابد در صورتی‌که در گیاهان همزیست با میکوریزا این کاهش کم‌تر است. احتمالاً قارچ‌های میکوریزی با افزایش جذب آب و عناصر ارتفاع گیاه را بهبود بخشیدند. گوپتا و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند هم‌زیستی قارچ میکوریزی با ریشه نعناع، جذب آب و عناصر غذایی افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش فتوسنتز و تولید فرآورده بیش‌تر و بهبود رشد و ارتفاع گیاه گردید. وو و زیا (۲۰۰۷) نشان دادند در شرایط تنش آبی و هم در شرایط آبیاری طبیعی ارتفاع گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی بالاتر است. وفادر و همکاران (۲۰۱٤) نیز گزارش کردند کاربرد قارچ میکوریزی ارتفاع گیاه را به‌طور محسوس افزایش می‌دهد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر اصلی کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزا در سطح یک درصد بر کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار بوده است ولی اثر متقابل این دو عامل در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون در M_2 و کم‌ترین در NM دیده شد و بین گونه‌های

قارچی تفاوت معنی‌داری در کلنیزاسیون ریشه وجود دارد (جدول ٤) که توانایی گونه‌های مختلف را در کلنیزاسیون ریشه نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش گونه قارچ میکوریزا و تنش کم‌آبی نشان داد بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون ریشه در تیمار S_3M_2 به‌میزان ۸۷/۳۱ درصد و کم‌ترین مقدار در تیمار S_1NM به‌میزان ۸/۲۵ درصد به‌دست آمد. تنش کم‌آبی کلینزاسیون ریشه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد و کم‌ترین و بیش‌ترین میزان کلنیزاسیون ریشه به‌ترتیب در سطح (بدون تنش) NS و S_1 به‌دست آمد. این امر را می‌توان به کاهش میزان ترشحات ریشه در شرایط تنش نسبت داد. وو و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که بیش‌ترین درصد کلنیزاسیون ریشه مرکبات در کاربرد قارچ میکوریزا زمانی بود که گیاه تحت تنش خشکی نباشد. آنان عنوان کردند تنش خشکی، درصد کلونیزاسیون ریشه مرکبات را کاهش می‌دهد به‌نظر می‌رسد با کاهش رطوبت میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد این عامل بر روی کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای اثر می‌گذارد که به‌طور غیرمستقیم بر روی جوانه‌زنی اسپور تأثیرگذار است. کاهش رطوبت هم‌چنین به‌طور مستقیم بر جوانه‌زنی اسپور و گسترش هیف‌های میکوریزی تأثیر می‌گذارد (٤۳ و ۲۹). سایر پژوهش‌گران نیز به کاهش درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه در شرایط تنش رطوبتی اشاره نموده‌اند (۲۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ٤) شاخص کلروفیل با افزایش تنش کاهش می‌یابد. شاخص کلروفیل در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. در حالی‌که بین سطوح قارچ میکوریزی تفاوت معنی‌دار نبود. تنش خشکی سبب تغییر در نسبت کلروفیل a به b و کارتنوئیدها می‌گردد (۱۹). کیانی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند. میزان کلروفیل در گیاه آفتاب‌گردان تحت تنش به‌میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب آهن و روی و عناصر میزان کلروفیل را در گیاه افزایش می‌دهند (٦۱). بوبی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند قارچ‌های میکوریزی به‌طور جداگانه و همراه با باکتری‌های محرک رشد میزان کلروفیل گیاه را افزایش می‌دهند. الارکون و همکاران (۲۰۰٤) افزایش در میزان کلروفیل II به تغییرات متابولیسمی نسبت دادند.

محتوای عناصر شاخساره: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزا بر محتوای عناصر آهن، فسفر، روی، نیتروژن و پتاسیم شاخساره در سطح یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرات متقابل تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزا بر جذب آهن در سطح یک درصد و نیتروژن در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل تنش و نوع قارچ میکوریزا بر محتوای پتاسیم، روی و فسفر شاخساره تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ٦).

با توجه به (جدول ۷) نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی گونه قارچ نشان داد اختلاف معنی‌داری بین سطوح قارچ میکوریزا و شاهد وجود دارد بیش‌ترین میزان روی به‌میزان ٦۳/۲۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربرد قارچ M_2 و کم‌ترین مقدار با ٤٥/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در NM مشاهده شد. در بین سطوح تنش بیش‌ترین جذب روی در سطح بدون تنش NS و کم‌ترین جذب در سطح تنش S_1 به‌دست آمد. کاربرد قارچ‌های M_1، M_2 و M_3 میزان روی در شاخساره به‌ترتیب ۹/۳٤، ۳۸/۱۸ و۱۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. تنش خشکی تجمع عنصر روی را در

شاخساره و بذرها کاهش می‌دهد در صورت که کاربرد قارچ‌های میکوریزی میزان روی دانه و شاخساره را افزایش دادند (۸). علت افزایش میزان جذب عناصر کم‌مصرف را پتانسیل ریداکس پایین‌تر در ریزوسفر، افزایش ترشحات کلات‌کننده و کاهش بیش‌تر pH در ریزوسفر گیاهان همزیست با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان بدون قارچ دانستند (۵۵). در کشت‌های گلخانه‌ای و آزمایش‌های مزرعه‌ای نشان داده‌اند که اثر قارچ‌های میکوریزی بر جذب عناصر کم‌مصرف نسبت به عناصر پر مصرف بیش‌تر است. ساب رامانیان و همکاران (۲۰۱۱) جذب بیش‌تر روی در گیاهان میکوریزی را به فعالیت بالای آنزیم‌های کربنیک انهیدراتاز و سوپراکسید دیسموتاز نسبت دادند. سنت و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند میزان آهن و روی در بذر همبستگی منفی با اسید فتیک دارد. قارچ‌های میکوریزی با افزایش فعالیت فیتازها و کاهش مقدار اسید فیتیک روی و آهن را در بذر افزایش می‌دهند.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۵) بیش‌ترین میزان آهن شاخساره در تیمار M1NS به‌میزان ۰/۲۱۰ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آمد. کم‌ترین مقدار آهن با ۱۰٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم هم در تیمار NMS1 بدون کاربرد قارچ میکوریزی به‌دست آمد. هم‌چنین بین گونه‌های قارچ میکوریزی با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. کاربرد قارچ‌های M_1، M_2 و M_3 محتوای آهن اندام هوایی را به‌ترتیب ۸۹/۱۹، ٤۵/۰٤، ۳۳/٦٦ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۷). کرس و همکاران (۱۹۸٦) نشان دادند میزان جذب آهن در تیمارهای میکوریزی نسبت به شاهد بسیار بالاتر است که احتمال دارد آزاد شدن سیدروفورهایی از گروه هیدروکسامات‌ها توسط قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار سبب جذب مقادیر بالای آهن در گیاهان میکوریزی نسبت گیاهان شاهد است. در خاک‌های آهکی نیز قارچ‌های میکوریزی جذب آهن را افزایش می‌دهند زو و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند قارچ‌های میکوریزی به‌ترتیب میزان آهن گیاه را به‌میزان ۱۲/٦ و ۸/۳ درصد در خاک‌های آهکی استریل‌شده و غیراستریل‌شده افزایش می‌دهند و نقش قابل‌توجهی در افزایش فراهمی آهن در خاک‌های آهکی دارند. نقش این قارچ‌ها در خاک‌های غیرآهکی نیز مشهود است و با مکانسیم‌هایی مانند اسیدی کردن ریزوسفر، افزایش فعالیت رداکتاز آهن، قابلیت استفاده از ترکیبات غیرمحلول آهن را افزایش می‌دهند (۵۰). ترکیبات فنولی حلالیت ترکیبات نامحلول آهن را افزایش می‌دهند. گزارش شده در گیاهان تلقیح‌شده با میکوریزا میزان ترکیبات فنولی آزاد و متصل به دیواره سلولی را افزایش می‌یابد. رودریگوئز- سلما (۲۰۱۳) افزایش مقدار ترکیبات فنولی ریشه گیاهان میکوریزی را در رابطه با القای بیان ژن مربوط به تولید ترکیبات فنولی توسط قارچ‌های میکوریزی دانستند. اسید ساسیلیک یکی از ترکیبات مهم فنولی است که میزان ترشح آن در گیاهان همزیست با میکوریزا بالاتر از گیاهان غیرمیکوریزی است (۳۸).

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) اثر تنش کم‌آبی و گونه قارچ میکوریزی نشان داد با افزایش شدت تنش میزان فسفر شاخساره کاهش می‌یابد بالاترین میزان جذب در سطح (بدون تنش) NS و کم‌ترین مقدار نیز در سطح تنش S_1 به‌دست آمد. هم‌چنین بین سطح قارچ میکوریزی M_1 و M_2 تفاوت معنی‌داری در جذب مشاهده نشد ولی نسبت به سطوح NM و M_3

اختلاف معنی‌داری داشتند. آگه و همکاران (۲۰۰٤) بیان کردند که همزیستی میکوریزا در شرایط تنش خشکی معمولاً سبب افزایش جذب فسفر می‌شود. در گیاهان کاهو تلقیح‌شده با قارچ میکوریزا افزایش جذب فسفر را در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی مشاهده کردند. برخی پژوهش‌گران تأثیر قارچ میکوریزا بر رشد گیاهان میزبان در طول تنش خشکی را وابسته به بهبود تغذیه فسفر بیان نموده‌اند (٤٦) افزایش جذب فسفر به‌وسیله تسهیل انتقال فسفر از خاک به ریشه گیاهان و محلول ساختن فسفر در اثر ترشح آنزیم‌های فسفاتازی صورت می‌گیرد (٤٩). هم‌چنین لبیدی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند قارچ‌های میکوریزی با ترشح آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی در خاک‌های آهکی جذب فسفر را افزایش می‌دهند. قارچ با گسترش انشعابات میسلیومی خود سبب افزایش حجم قابل دسترس خاک که به نوبه خود سبب افزایش سطح جذب‌کننده ریشه می‌شود. میسلیوم‌های قارچ از طرف دیگر با تولید آنزیم‌های فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و با تولید عوامل اسیدی و کلات‌کننده‌ها سبب انحلال فسفات‌های معدنی می‌شود (۵۱) بدین‌ترتیب مجموعه این عوامل، جذب فسفر افزایش می‌دهد.

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) نشان داد تنش کم‌آبی محتوای پتاسیم شاخساره را افزایش می‌دهد. بین سطوح تنش کم‌آبی S_1 و S_2 اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ولی نسبت به سطوح S_3 و NS تفاوت معنی‌داری دارند. هم‌چنین بین گونه‌های قارچ میکوریز M_1، M_2 و M_3 تفاوت معنی‌داری دیده نشد با این حال نسبت به شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌دار داشتند. وو و زیا (۲۰۰٦) نشان دادند کاربرد قارچ‌های میکوریزی سبب افزایش پتاسیم در گیاهان تحت تنش خشکی می‌گردد. شارداوامان و برنارد فلینو (۲۰۰۹) مایه تلقیح قارچ‌های *G. intaradices* و *G. mosseae* به‌صورت جداگانه و ترکیبی به‌کار بردند. نتایج نشان داد که استفاده از قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش پتاسیم در برگ گیاهان شد بیش‌ترین تأثیر در افزایش مربوط به *G. mosseae* بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد (جدول ۷) کاربرد قارچ‌های میکوریزی محتوای نیتروژن شاخساره را در تمام سطوح تنش افزایش داد بیش‌ترین نیتروژن شاخساره در تیمار M_2NS و کم‌ترین مقدار نیز در تیمار NMS_1 (گیاه شاهد) به‌دست آمد. اگرچه بین دو گونه قارچ میکوریز M_1 و M_2 و دو سطح M_2 و M_3 اختلاف معنی‌دار دیده نشد ولی نسبت به NM (شاهد) تفاوت معنی‌دار دارند. و کاربرد M_1، M_2 و M_3 به‌ترتیب نیتروژن گیاه عدس ۱٤/۲، ۱۷/٦ و ۱۲ درصد نسبت به گیاه شاهد افزایش دادند. وفادر و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند قارچ‌های میکوریزی با تأثیر به‌طور غیرمستقیم بر BNF[1] میزان نیتروژن را در گیاه افزایش می‌دهند. اگرچه جذب نیتروژن توسط قارچ‌های میکوریزی مانند فسفر به‌خوبی بررسی نشده اما آزمایش‌های نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزی می‌توانند جذب نیتروژن به مقدار قابل‌توجهی افزایش دهند. (۳ و ۳۰). قارچ‌های میکوریزی با فراهم نمودن فسفر و عناصر کم‌تحرک مانند روی و مس می‌توانند تثبیت نیتروژن را افزایش دهند (۳۵).

۱- تثبیت بیولوژیکی نیتروژن

جدول ٦- تجزیه واریانس تأثیر گونه قارچ میکوریزا و تنش کم‌آبی بر محتوای عناصر عدس.

Table 6. Analysis Variance effects of mycorrhizal fungi species and water deficit on the nutrients content in lentils.

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Sum of square				
		آهن Iron	روی Zinc	فسفر phosphorus	پتاسیم potassium	نیتروژن Nitrogen
قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungi	3	16869.58**	6371.08**	0.00288**	0.565**	1.376**
تنش کم‌آبی water deficit	3	14193.16**	208.69**	0.00208**	0.577**	1.135**
قارچ میکوریزا × تنش کم‌آبی Mycorrhiza fungi × water deficit	9	14.641**	12.60^{ns}	0.002^{ns}	0.0399^{ns}	0.0834*
خطا Error	48	46.37	46.34	0.00011	0.019	0.0361
ضریب تغییرات CV		4.37	7.01	3.96	5.74	4.01

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری.

**, * and ns Significant at 1%, 5% level of probability, respectively and non-significant.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر اصلی گونه قارچ میکوریزا و تنش کم‌آبی بر محتوا عناصر عدس.

Table 7. Mean comparison of main effects of mycorrhizal fungi species and water deficit on the nutrients content in lentils.

تیمار Treatments	محتوای عناصر شاخساره Plant nutrients				
قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungi (M)	روی Zinc (mg kg^{-1})	پتاسیم Potassium (%)	فسفر Phosphorus (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	آهن Iron (mg kg^{-1})
M_1	69.28^{c}	24.7^{a}	0.292^{a}	4.34^{ab}	216^{a}
M_2	81.68^{a}	24.5^{a}	0.289^{a}	4.27^{b}	160^{b}
M_3	76.4^{b}	25.3^{a}	0.286^{b}	4.47^{a}	140^{c}
NM	45.8^{c}	21.9^{b}	0.276^{c}	3.8^{c}	110^{d}
تنش کم‌آبی water deficit (S)					
S_1	54.13^{b}	25.81^{a}	0.275^{d}	4.56^{a}	142^{c}
S_2	57.1^{b}	25^{a}	0.28^{c}	4.293^{b}	151^{b}
S_3	61.87^{a}	23.51^{b}	0.285^{b}	4.19^{b}	155^{b}
NS	63.55^{a}	21.53^{c}	0.3^{a}	3.851^{c}	170^{a}

میانگین‌هایی با حروف مشترک عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد.

S_1، S_2، S_3، NS به‌ترتیب ۲۰، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده و M_1، M_2، M_3، NM نیز به‌ترتیب *R. intraradices*، *F. mosseae*، مخلوط این دو گونه و شاهد.

Means by the same letter were not significantly different according to Dancans ($P<0.05$).
S_1, S_2, S_3, NS, 20%, 40%, 60% and 80% of available water and M_1, M_2, M_3, NM respectively *R. intraradices*, *F. mosseae*, a mixture of two species and control.

نتیجه‌گیری کلی

در اثر تنش کم‌آبی بسیاری از صفات گیاهی تحت‌تأثیر قرار گرفت و تولید ماده خشک شاخساره و ماده خشک ریشه، ارتفاع، کلروفیل و محتوای عناصر شاخساره کاهش یافت. کاربرد قارچ‌های میکوریزی اثر منفی تنش کم‌آبی را کاهش می‌دهند. در تمام صفات اندازه‌گیری شده (ماده خشک شاخساره و ریشه، ارتفاع گیاه، تعداد گره، تعداد غلاف، کلروفیل برگ، کلنیزاسیون ریشه) در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد بیش‌تر بود. اگرچه تفاوت بسیار زیادی بین گونه‌های قارچی در صفات اندازه‌گیری‌شده وجود نداشت اما در برخی صفات اندازه‌گیری‌شده گونه *F. mosseae* برتری نسبی به *R. intraradices* داشت. در مورد صفات تعداد غلاف و غلظت آهن شاخساره گونه *F. mosseae* در تمام سطوح تنش نسبت به *R. intraradices* عملکرد بهتری داشته است. بین دو گونه قارچ میکوریز در افزایش غلظت نیتروژن شاخساره در سطوح پایین تنش کم‌آبی *R. intraradices* و در بالاترین سطح تنش کم‌آبی *F. mosseae* عملکرد بهتری داشتند. در صورتی که در صفت وزن خشک شاخساره وضعیت برعکس بود و در سطوح پایین تنش کم‌آبی *R. intraradices* عملکرد بهتری داشت. برقراری رابطه همزیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریزی جذب آب و عناصر معدنی را افزایش می‌دهد. در نتیجه میزان فتوسنتز و رشد گیاه در شرایط تنش افزایش می‌یابد. به‌طورکلی کاربرد میکوریزا می‌تواند اثرات تنش خشکی را کاهش و جذب عناصر را افزایش دهد. بنابراین با انجام آزمایش‌ها مختلف گلخانه‌ای و مرزعه‌ای، می‌توان از این ریزسازواره‌های مفید در مناطق خشک و نیمه‌خشک در جهت افزایش تولید محصولات زراعی و کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی را استفاده کرد.

منابع

1.Alarcon, A., Davies, F.T.Jr, Egilla, J.N., Fox, T.C., Estrada-Luna, A.A., and Ferrera-Cerrato, R. 2002. Short term effects of *Glomus claroideum* and *Azospirillum brasilense* on growth and root acid phosphatase activity of *Carica papaya* L. under phosphorus stress. Microbiologia. 44: 31-37.

2.Al-Karaki, G., McMichael, B., and Zak, J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza. 14: 4. 263-269.

3.Ames, R.N., Reid, C.P.P., Porter, L.K., and Cambardella, C. 1983. N-15 uptake and transport by hyphae of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Phytopathology. 73: 840-841.

4.Amiri, M.J., and Eslamian, S.S. 2010. Investigation of climate change in Iran. J. Environ. Sci. Technol. 3: 4. 208-216.

5.Angadi, S.V., and Entz, M.H. 2002. Water Relations of standard height and dwarf sunflower cultivars. Crop Sci. 42. 152-159.

6.Apel, K., and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annual Review of Plant Biology. 55: 373-399.

7.Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A., and Dexter, A.R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant and soil. 335: 1-2. 229-244.

8.Augé, R.M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. Can. J. Soil Sci. 84: 4. 373-381.

9.Augé, R.M., Toler, H.D., Moore, J.L., Cho, K., and Saxton, A.M. 2007. Comparing contributions of soil versus root colonization to variations in stomatal behavior and soil drying in mycorrhizal Sorghum bicolor and Cucurbita pepo. J. Plant Physiol. 164: 10. 1289-1299.

10.Balsam, M., Qaddoury, A., and Goicoechea, N. 2014. Role of native and exotic mycorrhizal symbiosis to develop morphological, physiological and biochemical responses coping with water droughtof date palm, Phoenix dactylifera. Trees. 28: 161-172.
11.Bárzana, G., Aroca, R., Bienert, G.P., Chaumont, F., and Ruiz-Lozano, J.M. 2014. New insights into the regulation of aquaporins by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize plants under drought stress and possible implications for plant performance. Molecular Plant-Microbe Interactions. 27: 4. 349-363.
12.Boby, V.U., Balakrishna, A.N., and Bagyaraj, D.J. 2008. Interaction between *Glomus mosseae* and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. Microbiol Res. 163: 693-700.
13.Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S. 1982. Nitrogen-Total, P 595-624. In: Page, A.L. et al. (eds.), Methods of Soil Analysis. Agronomy Monograph 9, Part 2, 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison. WI.
14.Centeno, C., Viveros, A., Brenes, A., Canales, R., Lozano A., and Cuadra, C.D. 2001. Effect of several germination conditions on total P, phytate P, phytase and acid phosphatase activities and inositol phosphate esters in rye and barley. J. Agric. Food Chem. 49: 3208-3214.
15.Clark, R.B., and Zeto, S.K. 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. J. Plant Nutr. 23:867–902
16.Cottenie, A. 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendations. FAO Soils Bull 38/2 FAO, Rome.
17.Cress, W.A., Johnson, G.V., and Barton, L.L. 1986. The role of endomycorrhizal fungi in iron uptake by Hilaria jamesii. J. Plant Nutr. 9: 3-7. 547-55.
18.Dalpé, Y. 1993. Vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: Carter MR (Eds) Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, 287p.
19.Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development. 29: 185-212.
20.Fentahun, M., Akhtar, M.S., Muleta, D., and Lemessa, F. 2013. Isolation and characterization of nitrogen deficit Rhizobium isolates and their effect on growth of haricot bean. Afric. J. Agric. 8: 46. 5942-5952.
21.Franzini, V., Azcón, R., Mendes, F.L., and Aroca, R. 2010. Interactions between *Glomus* species and Rhizobium strains affect the nutritional physiology of drought-stressed legume hosts. J. Plant Physiol. 67: 614-619.
22.Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., and Khodaei-Joghan, A. 2013 .Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural water management. 117: 106-114.
23.Gong, M., Tang, M., Chen, H., Zhang, Q., and Feng, X. 2013. Effects of two Glomus species on the growth and physiological performance of Sophora davidii seedlings under water stress. New Forests, 44: 3. 399-408.
24.Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesiculararbuscula mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasiculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresour. Technology. 81: 77-79.
25.Hacisalihoglu, G., and Kochian L.V. 2003. How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants New Phytologist. 159: 341-350.
26.Heidari, and Carmi. 2013. Effect of drought stress and strains of mycorrhiza on yield and grain, sunflower chlorophyll and biochemical compounds. J. Environ. Stress Farm Sci. 6: 1. 17-26. (In Farsi)
27.Hojjat, S.S. 2011. Effects of seed size on germination and seedling growth of some Lentil genotypes (Lens culinaris Medik.). Inter. J. Agric. Crop Sci. 3: 1-5.

28.Hoque, M.A., Okuma, E., Banu, M.N.A., Nakamura, Y., Shimoishi, Y., and Murata, Y. 2007. Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenous betaine by increasing antioxidant enzyme activities. J. Plant Physiol. 164: 5. 553-561.
29.Huang, Z., Zou, Z., He, C., He, Z., Zhang, Z., and Li, J. 2011. Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three Glomus species under water deficit. Plant and soil. 339: 1-2. 391-399.
30.Johansen, A. 1993. Hyphal transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus of N applied to the soil as ammonium or nitrate. Biology and Fertility of Soils. 16: 66-70.
31.Kiani, S.P., Maury, P., Sarrafi, A., and Grieu, P. 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions.Plant Sci. 175: 565-573.
32.Knudsen, D., Peterson, G.A., and Pratt, P.F. 1982. Lithium, sodium, potassium, P 225-246. In: Page, A.L. (ed.), Methods of soil analysis, Part 2, Madison, WISC. ASA-SSSA.
33.Labidi, S., Jeddi, F.B., Tisserant, B., Yousfi, M., Sanaa, M., Dalpé, Y., and Sahraoui, A.L.H. 2015. Field application of mycorrhizal bio-inoculants affects the mineral uptake of a forage legume (*Hedysarum coronarium* L.) on a highly calcareous soil. Mycorrhiza. 25: 4. 297-309.
34.Ladjal, M., Huc, R., and Ducrey, M. 2005. Drought effects on hydraulic conductivity and xylem vulnerability to embolism in diverse species and provenances of Mediterranean cedars. Tree Physiology. 25: 1109-1117.
35.Li, X.L., Marschner, H., and George, E. 1991. Acquisition of phosphorus and copper by VA–mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover. Plant and Soil, 136: 49-57.
36.Michalis, O., Ioannides, I.M., and Ehaliotis, C. 2013. Mycorrhizal inoculation affects arbuscular mycorrhizal diversity in watermelon roots but leads to improved colonization and plant response under water stress only. Appl. Soil Ecology. 63p.
37.Miransari, M., Abrishamchi, A., Khoshbakht, K., and Niknam, V. 2014. Plant hormones assignals in arbuscular mycorrhizal symbiosis. Crit. Rev. Biotechnol. 34: 123-133.
38.Phillips, J.M., and Hayman, D.S. 1970. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transaction of British Mycological Society, 55: 158-161. Physiol. 164: 1289-1299.
39.Redecker, D., Schüßler, H., Stockinger, S., Stürmer, J., Morton, and Walker, C. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza* doi: 10.1007/s00572-013-0486-y.
40.Rejali, F. 2001. Preparation of arbuscular mycorrhiza fungi inoculation by invitro method and investigation the effect of its on nutrients uptake in wheat plant with drought stress. Ph.D. Thesis. University of Tarbiat Modares, Tehran. 220p. (In Persian)
41.Rivand, M. 2002. In agriculture bean Publications emission of mashahir, 240p.
42.Rodriguez-Celma, J., Lin, W.D., Fu, G.M., Abadia, J., Lopez-Millan, A.F., and Schmidt, W. 2013. Mutually exclusive alterations in secondary metabolism are critical for the uptake of insoluble iron compounds by Arabidopsis and Medicago truncatula. Plant Physiology. 162: 1473-1485.
43.Ryan, J., Estefan, G., and Rashid, A. 2007. *Soil and plant analysis laboratory manual*. ICARDA.
44.Sadolah, A.A., and Ismail, F. 2015. The effect of three species of mycorrhizal fungi on the growth, colonization rate and root phosphorus concentration African Marigold (Targets' erecta) J. Soil Water Tabriz Univ. 24: 4. 129-138. (In Farsi)
45.Saraswathi, S.G., and Paliwal, K. 2011. Drought induced changes in growth, leaf gas exchange and biomass production in Albizia lebbeck and Cassia siamea seedlings. J. Environ. Biol. 32: 2.
46.Sharda Waman, M.K., and Bernard Felinov, R. 2009. Studies on effects of arbuscular mycorrhizal (Am) fungi on mineral nutrition of *Carica papaya* L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 37: 183-186.

47. Sharma, A.K., Srivastava, P.C., and Johri, B.N. 1994. Contribution of VA mycorrhiza to zinc uptake in plants. Biochemistry of Metal Micronutrients in the Rhizosphere. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, Pp: 111-124.
48. Sheng-Li, G., Ting-Hui, D., and Ming-De, H. 2008. Phosphorus changes and sorption characteristics in a calcareous soil under long-term fertilization. Pedosphere 18: 248-256
49. Smith, S.E., and Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, third ed. Academic Press, London, UK.
50. Subramanian, K.S., Tenshia, V., Jayalakhshmi, K., and Ramachandran, V. 2009. Role of arbuscular mycorrhizal fungus (Glomus intraradices) - (fungus aided) in zinc nutrition of (in) maize. J. Agric. Biotechnol. Sust. Dev. 1: 029-038.
51. Subramanian, K.S., Santhanakrishnan, P., and Balasubramanian, P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia horticulturae*, 107: 3. 245-253.
52. Subramanian, K.S., Tenshia, J.V., Jayalakshmi, K., and Ramachandran, V. 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non-inoculated maize plants under zinc deficiency. Ind. J. Microbiol. 51: 1. 37-43.
53. Suri, V.K., Choudhary, A.K., Girish, C., Verma, T.S., Gupta, M.K., and Dutt, N. 2011. Improving phosphorus use through co-inoculation of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria in maize in an acidic Alfisol. Communicationsin Soil Science and Plant Analysis 42: 18. 2265-2273.
54. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 63: 995-1001.
55. Vafadar, F., Amooaghaie, R., and Otroshy, M. 2014. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK and chlorophyll content of Stevia rebaudiana. J. Plant Interact. 9: 1. 128-136.
56. Wang, M., Christie, P., Xiao, Z., Qin, C., Wang, P., Liu, J., Xie, Y., and Xia, R. 2008. Arbuscular mycorrhizal enhancement of iron concentration by *Poncirus trifoliata* L. Raf and Citrus reticulata Blanco grown on sand medium under different pH. Biology and Fertility of Soils. 45: 65-72.
57. Whitmore, A.P., and Whalley, W.R. 2009. Physical effects of soil drying on roots and crop growth. J. Exp. Bot. 6: 10. 2845-2857.
58. Wu, Q.S. 2011. Mycorrhizal efficacy of trifoliate orange seedlings on alleviating temperature stress. Plant Soil Environ. 10: 459-464.
59. Wu, Q.S., and Xia, R.X. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. J. Plant Physiol. 163: 4. 417-425.
60. Wu, Q.S., and Zou, Y.N. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus. Plant Soil Environ. 55: 10. 436-442.
61. Wu, Q.S., Xia, R.X., Zou, Y.N., and Wang, G.Y. 2007. Osmotic solute responses of mycorrhizal citrus (*Poncirus trifoliata*) seedlings to drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 29: 6. 543-549.
62. Wu, Q.S., Zou, Y.N., Xia, R.X., and Wang, M.Y. 2007. Five Glomus species affect water relations of Citrus tangerine during drought stress Botanical Studies, 48: 2. 147-154.
63. Yaseen, T., Burni, T., and Hussain, F. 2013. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on nutrient uptake, growth and productivity of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. Afric. J. Biotechnol. 10: 43. 8593-8598.
64. Zuo, Y., Ren, L., Zhang, F., and Jiang, R.F. 2007. Bicarbonate concentration as affected by soil water content controls iron nutrition of peanut plants in a calcareous soil. Plant Physiol Biochem. 45: 357-364.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(3), 2017
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Effects of water stress and mycorrhizal fungi *Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae* on growth characteristics and absorption of some nutrients in lentils

***H.A. Alikhani[1], B. Abolfazli[2] and F. Rejali[3]**

[1]Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran, [2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Tehran, [3]Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj

Received: 02/16/2016; Accepted: 05/08/2017

Abstract

Background and Objectives: water deficiency is one of the most limiting factors of agricultural production in arid and semiarid areas. In recent years beneficial microorganisms were evaluated as one of the techniquesto reduce the effects of drought stress and increase sustainable agricultural production. Therefore, this study was performed to evaluate the effect of mycorrhizal fungi on growth and uptake of some elements on lentil (variety bile savar) under drought stress conditions.

Materials and Methods: Experiment was performed as factorial test in a completely randomized design including two factors, Water stress at four levels (20%, 40%, 60% and 80% PAW) and mycorrhizal fungi at four levels (*Rhizophagus intraradices* and *Funneliformis mosseae*, a mixture of two fungal species and control), in growth chambers at Department of Soil Science and Engineering, Tehran University, 2014. After growth period, the effect of different treatments on growth traits such as number of nodules, shoot and root dry weights, number of sheaths, chlorophyll index, root colonization, plant height and content of elements of N, P, K, Fe and Zn in the shoot were measured and recorded. Analysis of variance and mean comparison of data were performed with SAS software and Duncan's test ($P<0.05$) respectively.

Results: The results showed that all measured plant traits due to the effect of water stress decreased, so that dry matter of shoot, root dry weight, number of sheaths, leaf chlorophyll index, root colonization and plant height at the highest level of stress S_1 than the control NS, respectively 49.99, 41.12, 11.2, 24.4, 26.06, 28.09 and 22.15 percent reduced. The interaction of water stress and mycorrhizal fungi on all measured traits except for plant height, root dry weight, chlorophyll index, zinc, phosphorus and potassium was significant ($P<0.05$). All the measured traits in plants inoculated with mycorrhizal fungi were higher than the non-mycorrhizal plants. The highest number of pods, shoot dry weight and iron was obtained in the treatment of M_1NS which compared to the control respectively 51, 36.07, 79.48 percent was higher. Most root colonization rate in treatment S_3M_2 to the 87.3 percent and lowest in treatment S_1NM to the 8.25 percent were obtained respectively. Also Mycorrhizal fungi of *R. intraradices, F. mosseae* and mix of the two types respectively 89.2, 45.0, 33.7 percent increased the iron content in the shoot compared to the control.

Conclusion: Water stress had a negative impact on all indicators of growth, but the greatest reduction in root and shoot dry weight was seen. The use of mycorrhizal fungi had a significant effect on growth traits and nutrient uptake. The use of mycorrhizal fungi *R. intraradices and F. mosseae* reduced the negative effects of water stress and led to the increase of growth and more absorption of elements.

Keywords: Plant characteristics, Shoot dry weight, Root colonization, Iron, Number of sheaths

* Corresponding Author; Email: halikhan@ut.ac.ir