برهم‌کنش کمبود آب و قارچ‌های مایکوریزا بر عملکرد کمی و کیفی دانه اسپرس (*Onobrychis sativa* L.)

سکینه عبدی[1*] و علیرضا پیرزاد[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۸)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است. به‌منظور بررسی تأثیر همزیستی گونه‌های قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد دانه گیاه اسپرس در شرایط کم‌آبی، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با دو فاکتور و سه تکرار در سال ۱۳۹۳ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل پنج گونه قارچ میکوریزا (*Faneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices*، *Claroideoglomus claroideum*، *Funneliformis caledonius*، *Glomus versiforme* و شاهد) و دو سطح آبیاری [آبیاری مطلوب (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) و کم‌آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)] بودند. بیشترین عملکردهای دانه از گیاهان همزیست با گونه‌های *Rh. intraradices* (۹/۱۸۷ گرم در بوته) و *F. mosseae* (۸/۸۶۷ گرم در بوته) در حالت اعمال تنش کم آبی به‌دست آمد. با وجود کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در حالت بدون استفاده از میکوریزا و در تنش کم‌آبی، روابط میکوریزایی عملکرد دانه را نسبت به آبیاری مطلوب افزایش دادند. همچنین بیشترین درصد پروتئین دانه در همزیستی با گونه *G. versiforme* و برای فسفر دانه در همزیستی با گونه *F. mosseae* در شرایط تنش حاصل شد. به‌طورکلی، رابطه میکوریزایی با کاستن از حجم ریشه و تحریک رشد طولی آن، عملکرد و کیفیت دانه را در شرایط کم‌آبی بهبود بخشید. در این راستا گونه *G. versiforme* بیشترین تأثیر مثبت را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: اسپرس، اندازه ریشه، پروتئین دانه، تنش کم‌آبی، قارچ میکوریزا

۱. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی
۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، آذربایجان غربی
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.abdi@tabrizu.ac.ir

مقدمه

اسپرس (*Onobrychis sativa* L.) یکی از گیاهان علوفه‌ای خانواده بقولات (Fabaceae) است که در مناطق مرکزی، غربی و برخی نقاط شمالی کشور کشت می‌شود و به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی مانند مقاومت به خشکی، سرما و گرما، توانایی رشد در خاک‌هایی با میزان فسفر پایین، کیفیت بسیار خوب علوفه و مقاومت به خاک‌های شنی و آهکی همواره مورد توجه بوده است (۱۰). این گیاه مناسب کشت در دیم‌زارها و مراتع بوده به‌طوری که در نواحی کوهستانی و مرتفع به‌ویژه خاک‌هایی که به‌طور موقت آبیاری می‌شوند، رشد خوبی دارد (۲۳). کاهش رشد گیاهان و محصولات زراعی در اثر تنش خشکی (مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد و عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا) به مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است. ایران با میانگین بارندگی ۲۵۲ میلی‌متر و میزان تبخیر و تعرق شدید که شش درصد بیشتر از حد متعارف جهانی است، جزو سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک دنیا محسوب می‌شود (۲۸). قارچ‌های میکوریزا از با اهمیت‌ترین میکروارگانیسم‌های موجود در اغلب خاک‌های تخریب نشده هستند. به‌طوری که بر طبق تخمین‌های موجود حدود ۷۰ درصد از توده زنده جامعه میکروبی خاک‌ها را میسیلیوم این قارچ‌ها تشکیل می‌دهند (۴۳). مطالعه همزیستی میکوریزایی عدس، نخود، ماش، لوبیا چشم بلبلی، ماش سیاه، ماش سبز، ماشک و سویا از خانواده بقولات در مناطق مختلف آگرواکولوژیکی نشان داد که همه گیاهان لگوم مورد بررسی در حد بالایی میکوریزایی شده بودند و بیشترین قارچ موجود در خاک از جنس *Glomus* بوده است (۲۹). ریسه‌های میکوریزا می‌توانند وارد منافذ بسیار ریزی شوند که حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آن نبوده و بدین‌ترتیب باعث افزایش میزان جذب آب شوند. قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا اغلب میزان ورود و خروج آب به برگ گیاهان میزبان را تغییر می‌دهند. بنابراین محتوی آب بافت و فیزیولوژی برگ تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۵ و ۶). این قارچ‌ها با افزایش تغذیه معدنی به خصوص نیتروژن، فسفر و پتاسیم، تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی را برای گیاه فراهم می‌کنند (۱۵، ۴۱ و ۴۳). این نوع همزیستی از طریق بهبود هدایت هیدرولیکی، جذب مستقیم آب، تغییر روابط آبی، گسترش سیستم ریشه‌ای، بهبود تغذیه گیاه و تغییر متابولیسم گیاه باعث افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (۸). کم‌آبی سبب کاهش تارهای کشنده ریشه می‌شود و بر انشعابات ریشه صدمه وارد می‌کند، در نتیجه باعث کاهش جذب عناصر غذایی از طریق ریشه می‌شود. هیف‌های قارچ میکوریزا می‌تواند جانشین سیستم ریشه‌ای شده و عناصر غذایی را جذب کنند. می‌توان این گونه توصیف کرد که نقش همزیستی میکوریزایی در شرایط تنش کم‌آبی در جذب عناصر غذایی مهم‌تر از نقش آن در شرایط بدون تنش است (۴۹). گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا بیوماس ریشه و قسمت هوایی بیشتری داشته و پتانسیل آب برگ آنها کمتر کاهش یافته و اثر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر هدایت هیدرولیکی ریشه بیشتر است (۳۸). بررسی تلقیح میکوریزا آربوسکولار بر رشد و توسعه کنجد نشان داد که در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا سیستم ریشه‌ای با افزایش حجم و وزن خشک ریشه توسعه یافته و در گیاهان تلقیح شده با *G. intraradices* حجم ریشه ۲۳۳ درصد افزایش داشته است (۹). در یک تحقیق با بررسی مقاومت به خشکی گیاهان اسطوخودوس کلونیزه شده با گونه‌های *Glomus* گزارش شد که رشد ریشه در گیاهان همزیست با *G. mosseae* و *G. intraradices* به‌ترتیب ۳۵ درصد و ۱۰۰ درصد افزایش یافت (۲۶). در یک آزمایش مزرعه‌ای ارزیابی رشد و عملکرد سه ژنوتیپ بادام زمینی با تلقیح گونه *G. mosseae* باعث افزایش ۶۶ درصدی عملکرد دانه شد (۴). در گیاه گشنیز تحت تنش کم‌آبی، همزیستی میکوریزایی وزن خشک ریشه و عملکرد دانه را افزایش داد (۴۰). وجود شرایط متغییر محیطی و بروز تنش‌های متناوب خشکی در کشور، اهمیت مطالعه روی گیاهانی نظیر اسپرس که به دامنه وسیعی از شرایط نامساعد محیطی سازگار است را نمایان ساخته است. ایران با وجود دارا بودن تنوع اقلیمی وسیع و وجود منابع محیطی و ذخایر گیاهی غنی هنوز در زمره کشورهای وارد کننده علوفه دامی و نیز مواد پروتئینی قرار دارد و

جدول ۱. شرایط آب و هوایی منطقه آزمایش

	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه دما (درجه سانتی‌گراد)	۳۱/۴	۳۷/۴	۳۳/۴	۳۷/۰	۳۲/۰
کمینه دما (درجه سانتی‌گراد)	۶/۴	۷/۴	۱۲/۸	۱۳/۸	۸/۰
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۵۴	۴۹	۴۶	۳۶	۵۶
مجموع روزهای آفتابی	۲۷۱	۲۹۹	۳۰۹	۳۳۶	۲۶۷

هر ساله نیز تقاضا برای مواد پروتئینی افزایش می‌یابد. بنابراین تولید دانه و علوفه اسپرس با عملکرد کمی و کیفی قابل قبول و با مصرف آب کمتر از اهداف اصلی تحقیق حاضر است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق گلدانی (در فضای آزاد) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار انجام شد که هر تکرار شامل چهار گلدان (هر گلدان شامل سه بوته) بود. فاکتورهای طرح شامل پنج گونه قارچ میکوریزا از جنس *Glomus* به‌همراه شاهد (بدون تلقیح خاک با میکوریزا) و دو سطح آبیاری [آبیاری مطلوب (۸۰ درصد ظرفیت زراعی) و کم‌آبیاری (۵۰ درصد ظرفیت زراعی)] بود. از قارچ‌های *Faneliformis mosseae* (مترادف: *G. mosseae*)، *Rhizophagus intraradices* (مترادف: *G. intraradices*) و *Claroideoglomus claroideum* (مترادف: *G. claroideum*)، *Funneliformis caledonius* (مترادف: *G. caledonium*) و *Glomus versiforme* (مترادف: *G. versiform*) به‌صورت مخلوطی از اسپور، هیف و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده به عنوان تلقیح کننده در عمق دو سانتی‌متری زیر هر بذر استفاده شد. به‌طور کلی تیمارهای آزمایش شامل ۱۲ تیمار تلقیح گیاهان با *F. mosseae* و آبیاری مطلوب، *Rh. intraradices* و آبیاری مطلوب، *C. claroideum* و آبیاری مطلوب، *F. caledonius* و آبیاری مطلوب، *G. versiforme* و آبیاری مطلوب، بدون تلقیح با میکوریزا و آبیاری مطلوب، *F. mosseae* و کم‌آبیاری، *Rh. intraradices* و کم‌آبیاری، *C. claroideum* و کم‌آبیاری، *F. caledonius* و کم‌آبیاری، *G. versiforme* و کم‌آبیاری و بدون تلقیح با میکوریزا و کم‌آبیاری بود. تحقیق در سال ۱۳۹۳ و در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر با مختصات ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی انجام گرفت. شرایط آب و هوایی منطقه در طول آزمایش در جدول (۱) ارائه شد. مایه تلقیح میکوریزایی از دانشگاه ارومیه (گروه گیاهپزشکی، دکتر رضایی دانش) تهیه شد. خاک مورد آزمایش، خاک زراعی با بافت رسی‌لومی، اسیدیته ۷/۲۵، هدایت الکتریکی ۰/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی ۰/۷۸ درصد، نیتروژن ۰/۰۳ درصد و میزان فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ۹/۸ و ۳۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود که از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. خاک هوا خشک و از الک پنج میلی‌متری عبور داده شد. در ابتدا در هر گلدان با قطر دهانه و عمق ۲۲ سانتی‌متر، بذرهای اسپرس کشت شدند که در هفته سوم به سه بوته در هر گلدان تنک شد. گلدان ها را تا پنج سانتی‌متر مانده به سر گلدان، از خاک مورد نظر که با نسبت یک به سه با کود کاملاً پوسیده دامی ترکیب شده بود پر کرده، سپس ۲۰ گرم از مایه تلقیح حاوی میکوریزا را در نقطه کشت قرار داده و بذرها روی این مایه تلقیح کشت و روی آن یک تا دو سانتی‌متر با خاک زراعی پوشانده شد (در مجموع پنج کیلوگرم خاک در هر گلدان ریخته شد).

بعد از اتمام مرحله کاشت در تاریخ ۲۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۳، گلدان‌ها در ابتدا به‌طور کامل آبیاری شده و پس از استقرار گیاهان (تشکیل سه برگ‌چه اولیه) تیمار کم‌آبیاری (آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و رساندن رطوبت خاک به FC) اعمال شد. مقدار آب استفاده شده در هر نوبت آبیاری برای حالت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی ۵۵۰ میلی‌لیتر و برای حالت ۸۰ درصد ظرفیت زراعی ۲۲۰ میلی‌لیتر بود. برای این منظور از تانسیومتر استفاده

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی اسپرس تیمار شده با گونه‌های مختلف میکوریزا در شرایط اعمال تنش کم‌آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		ریشه			دانه		
		طول	حجم	وزن خشک	عملکرد	پروتئین	فسفر
میکوریزا	۵	۱۸۵/۱۴**	۶/۸۴**	۱۱/۶۲**	۳۸/۶۱**	۱۱۲/۴۶**	۲۳۲۱۲/۴۴**
تنش کم‌آبی	۱	۳۴۹/۳۸**	۰/۶۷**	۱۵/۰۸**	۲۶/۴۸**	۲۴۶/۸۵**	۱۱۸۴۴/۶۹**
میکوریزا × تنش کم‌آبی	۵	۱۷/۱۳**	۱/۲۹**	۰/۷۱**	۱/۶۹**	۹/۶۷**	۱۹۳۹/۱۱**
اشتباه آزمایشی	۲۴	۰/۳۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۱۲۷	۶/۰۷۶
درصد ضریب تغییرات		۲/۴۴	۲/۵۳	۴/۶۰	۳/۴۸	۴/۸۰	۴/۷۰

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

شد که قبلاً واسنجی شده بود، در گلدان‌های شاهد قرار گرفت و به‌صورت روزانه کنترل شد. در نهایت گیاهان به‌منظور اندازه گیری صفات در مرحله رسیدگی کامل دانه‌ها (۱۲ شهریور) برداشت شدند. نمونه‌ها را پس از خشک کردن در آون (۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) به‌وسیله آسیاب پودر کرده و درنهایت با هضم به روش سوزاندن خشک عصاره تهیه شد. و سپس یک گرم از نمونه آسیاب شده هر تیمار توزین و طی مراحل مختلف آزمایش توسط دستگاه کجلدال مقدار پروتئین نمونه‌ها به‌صورت درصد تعیین شد (۳۶). میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (۳۱ و ۴۸). به‌منظور اندازه‌گیری طول و حجم ریشه، در انتهای فصل رشد ریشه‌های سه بوته در هر گلدان با دقت کامل از خاک خارج شد و پس از شستشو طول ریشه‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد و پس از آن حجم ریشه‌ها با قرار دادن آنها در داخل یک استوانه مدرج که در حجم مشخص با آب پرشده بود و با میزان حجم آب جابه‌جا شده حجم ریشه‌ها به‌دست آمد (۱۵). سپس میانگین طول و حجم ریشه تعیین شد. پس از آن ریشه‌ها در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس میانگین آنها به‌عنوان وزن خشک ریشه مد نظر قرار گرفت. برای عملکرد دانه در هر بوته پس از برداشت (۱۲ شهریور)، خورجین‌ها به آزمایشگاه منتقل شده وزن و عملکرد دانه بر اساس میزان رطوبت ۱۳ درصد تنظیم و در محاسبات آماری مورد استفاده قرار گرفت.

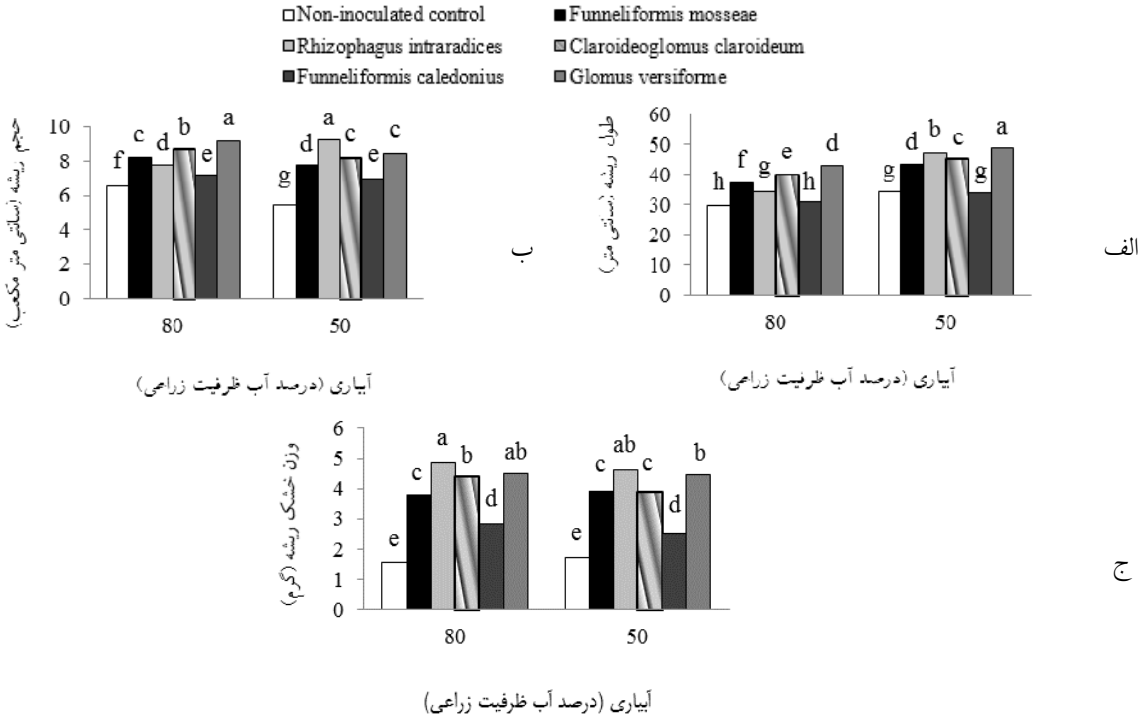
برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایش از نرم‌افزار کامپیوتری MSTAT-C استفاده و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف- اسمیرنوف در نرم‌افزار MINITAB ۱۴ تأیید شد.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) مشاهده شد که اثر گونه‌های مختلف میکوریزا و تنش کم آبی و همچنین اثر متقابل گونه‌های مختلف میکوریزا × تنش کم آبی بر طول ریشه، حجم ریشه، وزن خشک ریشه، عملکرد دانه، درصد پروتئین و فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود.

اندازه (طول، حجم و وزن) ریشه

تنش کمبود آب، هم در گیاهان شاهد و هم گیاهان میکوریزایی، باعث طویل‌تر شدن ریشه در گیاه اسپرس شده است. ریشه گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تحت شرایط تنش آبی، طویل‌تر از ریشه گیاهان تلقیح شده با میکوریزا و عدم اعمال تنش بود. گیاهان همزیست با *G. versiforme* در حالت اعمال تنش کم‌آبی دارای طویل‌ترین ریشه (۴۸/۶۶ سانتی‌متر) بودند و به‌ترتیب



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل گونه‌های مختلف میکوریزا و آبیاری بر صفات الف) طول ریشه، ب) حجم ریشه و ج) وزن خشک ریشه اسپرس. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

گیاهان تلقیح شده با *Rh. intraradices* (۴۷/۳۴ سانتی‌متر) و *C. claroideum* (۴۵/۵۳ سانتی‌متر) در رده‌های بعدی به لحاظ طول ریشه قرار گرفتند (شکل ۱- الف). گیاهان غیرمیکوریزایی در حالت بدون اعمال تنش کم آبی کوتاه‌ترین (۲۹/۶۳ سانتی‌متر) ریشه را به خود اختصاص دادند. در حالت بدون اعمال تنش نیز بین گیاهان همزیست، گونه *G. versiforme* (۴۲/۸۶ سانتی‌متر) طویل‌ترین ریشه اسپرس را داشت.

افزایش طول ریشه در شرایط تنش خشکی به‌منظور نفوذ بیشتر ریشه در خاک و برای جذب آب است. تنش خشکی سبب ظهور ژن‌های تولیدکننده پروتئین اکپنسین (نوعی پروتئین غیرآنزیمی در دیواره سلولی گیاهان که نقش اساسی در رشد سلول‌ها دارد) می‌شود. این پروتئین در ریشه سبب سست شدن پیوندهای بین رشته‌های سلولزی در دیواره سلولی می‌شود و به دنبال آن جذب آب و تورژسانس سلولی افزایش می‌یابد و همچنین افزایش رشد طولی ریشه اتفاق می‌افتد (۵۰). این افزایش رشد طولی ریشه در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا بیشتر از گیاهان غیرمیکوریزایی اتفاق می‌افتد که دلیل آن افزایش جذب عناصر غذایی چون نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه است (۱۷). مطالعه انجام شده روی گیاه لگوم لوبیای سودانی (*Cajanus cajan* L.)، افزایش چشمگیری در سیستم ریشه‌ای و فعالیت ریشه‌های گیاهان تلقیح شده با میکوریزا در حالت تنش خشکی نشان داد (۳۲). گزارشاتی مبنی بر افزایش طول ریشه در گیاهان گشنیز (۱۳) و ذرت (۸) در شرایط همزیستی با قارچ‌های میکوریزا ارائه شده است.

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۱- ب)، مشاهده شد که بیشترین حجم ریشه در حالت اعمال تنش کم آبی و در مورد گیاهان همزیست با *Rh. intraradices* (۹/۲۶ سانتی‌متر مکعب) بود که این مقدار با حجم ریشه گیاهان همزیست با

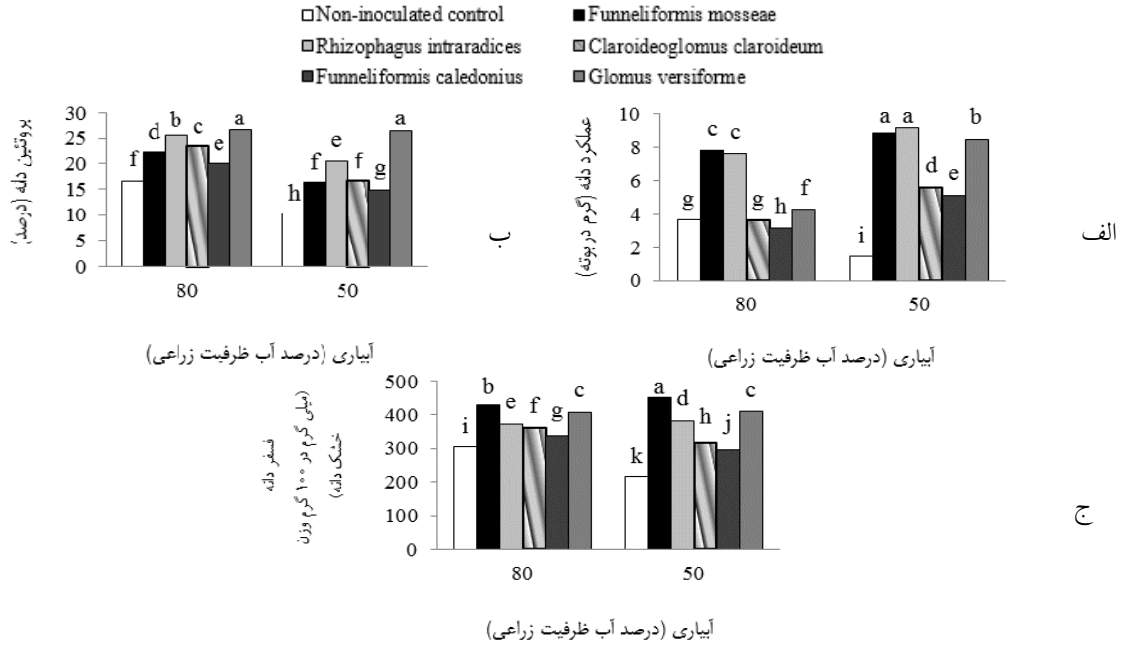
جدول ۳. ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی اسپرس تیمار شده با گونه‌های مختلف میکوریزا در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبیاری

صفات	طول ریشه	حجم ریشه	وزن خشک ریشه	عملکرد دانه	پروتئین دانه	فسفر دانه
طول ریشه	۱					
حجم ریشه	۰/۶۱**	۱				
وزن خشک ریشه	۰/۲۶	۰/۸۳**	۱			
عملکرد دانه	۰/۰۵	۰/۶۱**	۰/۶۹**	۱		
پروتئین دانه	۰/۱۱	۰/۷۹**	۰/۸۹**	۰/۸۴**	۱	
فسفر دانه	۰/۲۸	۰/۸۲**	۰/۷۱**	۰/۸۷**	۰/۸۳**	۱

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

G. versiforme در حالت بدون تنش کم آبی و آبیاری مطلوب (۹/۲۴ سانتی‌متر مکعب) اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین در حالت اعمال تنش کم آبی بین گیاهان تلقیح شده با *G. versiforme* (۸/۴۱ سانتی‌متر مکعب) و *C. claroideum* (۸/۱۶ سانتی‌متر مکعب) نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. حجم ریشه در گیاهان غیرمیکوریزایی و تلقیح شده با میکوریزا اختلاف معنی‌دار داشت و گیاهان غیر میکوریزایی در هر دو حالت بدون تنش و تنش کم‌آبی کمترین مقدار حجم ریشه را داشتند. منشعب شدن ریشه‌های گیاهان میکوریزایی می‌تواند به‌طور اساسی سطح ریشه را بدون تغییر در بیوماس ریشه افزایش دهد که این ممکن است مقاومت ریشه را برای جذب آب کاهش دهد (۳). به همین دلیل جذب آب در گیاهان میکوریزایی به‌دلیل سیستم ریشه‌ای بلند و واکنش روزنه‌ای سریع، بالاتر از گیاهان غیرمیکوریزایی است (۱۶). همچنین همزیستی گیاه با میکوریزا از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای، بهبود هدایت هیدرولیکی و جذب مستقیم آب، باعث افزایش مقاومت آن به شرایط تنش خشکی می‌شود (۸). مکانیسم‌های متعددی برای بیان اثر افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه، تنظیم اسمزی گیاه میزبان و بهبود تماس با ذرات خاک از طریق اتصال هیف وجود دارد که قادر می‌سازد آب از منافذ ریزتر خاک استخراج شود (۵ و ۶). در گیاهان اطلسی همزیست با میکوریزا و تحت تنش آبی، میزان حجم و ماده خشک ریشه بیشتر از گیاهان تحت تنش آبی یا گیاهان غیرهمزیست با آبیاری مطلوب بود (۴۲). افزایش طول و حجم ریشه در اثر تلقیح با میکوریزا به گیاه کمک می‌کند تا جذب آب بیشتری داشته و در شرایط خشکی خاک ریشه‌ها دچار آبکشیدگی نشوند (۲۵). مطابق جدول (۳) بین طول و حجم ریشه همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت.

بیشترین مقدار وزن خشک ریشه متعلق به گیاهان تیمار شده با *Rh. intraradices* در حالت بدون تنش (۴/۸۵۳ گرم) بود که این مقدار با گیاهان تلقیح شده با همین گونه میکوریزا و در حالت اعمال تنش کم آبی (۴/۶۱۳ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱- ج). همچنین گیاهان تیمار شده با *G. versiforme* در حالت آبیاری مطلوب (۴/۵۲۰ گرم) و اعمال تنش کم‌آبی (۴/۴۶۰ گرم) نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اختلاف بین گیاهان همزیست با *F. mosseae* و *F. caledonius* نیز در حالت اعمال تنش کم آبی با آبیاری مطلوب معنی‌دار نبود. گیاهان تلقیح شده با گونه‌های میکوریزا در دو حالت بدون تنش و تنش کم‌آبی با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشته و در مقایسه با سایر تیمارها کمترین مقدار وزن خشک ریشه را داشتند (شکل ۱- ج). تلقیح مرکبات با قارچ میکوریزای *G. fesciculatum* نشان‌دهنده افزایش وزن ماده خشک اندام‌های هوایی و ریشه‌های گیاه بود (۲۴). همچنین گیاه *Strophostyles helvala* تلقیح شده با گونه *G. mosseae* به‌طور معنی‌داری وزن خشک اندام هوایی و ریشه بیشتری نسبت به



شکل ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل گونه‌های مختلف میکوریزا و آبیاری بر صفات دانه الف) عملکرد دانه، ب) پروتئین دانه و ج) فسفر دانه اسپرس. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

گیاهان غیرمیکوریزایی داشت (۴۴). تنش کم‌آبی همراه با قارچ میکوریزا *G. mosseae* باعث افزایش وزن خشک ریشه گیاه ذرت شد (۱).

وجود افزایش معنی‌دار در طول ریشه گیاهان تلقیح شده با گونه‌های میکوریزایی *F. mosseae* و *G. versiforme* در شرایط تنش کم‌آبی و عدم اختلاف معنی‌دار بین وزن خشک ریشه تلقیح شده با همین گونه‌ها در حالت آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی حکایت از آن دارد که افزایش طول ریشه‌ها بدون تغییر در بیوماس آنها به‌منظور افزایش سطح جذب آب ریشه از خاک بوده است (شکل‌های ۱. الف و ۱. ج). از طرفی افزایش طول و حجم ریشه گیاهان تلقیح شده با گونه میکوریزایی *Rh. intraradices*، بدون اختلاف معنی‌دار در وزن خشک ریشه این گیاهان نشان دهنده افزایش طول به‌منظور افزایش در جذب آب بوده است که در اثر افزایش مقدار آب ریشه، افزایش حجم نیز در این ریشه‌ها مشاهده شده که تأثیر چندانی در افزایش وزن خشک ریشه نداشته است (۸ و ۱۶).

دانه (عملکرد، پروتئین و فسفر)

با کاهش میزان آب آبیاری (افزایش فاصله آبیاری) از ۸۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد دانه در گیاه اسپرس کاهش چشمگیری در حدود ۶۰ درصد نشان داد (شکل ۲- الف). این روند کاهش عملکرد در گیاهان میکوریزایی معکوس شده و همراه با کاهش دسترسی به آب، عملکرد دانه افزایش یافت. طوری‌که بیشترین عملکردهای دانه از گیاهان همزیست با گونه *Rh. Intraradices* (۹/۱۸۷ گرم در بوته) و *F. mosseae* (۸/۸۶۷ گرم در بوته) در حالت اعمال تنش کم آبی به‌دست آمد (شکل ۲- الف). کمترین عملکرد دانه (۱/۴۹۰ گرم در بوته) متعلق به گیاهان غیرمیکوریزایی با تنش کم آبی بود. با وجود کاهش معنی دار در عملکرد دانه گیاهان تحت تنش (تا حد کمترین عملکرد)، گیاهان میکوریزایی عملکرد دانه را به بالاتر از عملکرد دانه گیاهان غیرمیکوریزایی بدون تنش افزایش داده است. به عبارت دیگر گیاهان میکوریزایی تحت تنش با گونه‌های *F. mosseae*، *Rh. intraradices*، *C. claroideum*،

F. caledonius و *G. versiforme* به‌ترتیب با افزایش ۱۴۱، ۱۵۰، ۵۲، ۳۹ و ۱۳۰ درصد، عملکرد بیشتری نسبت به شاهد بدون تنش داشتند (شکل ۲- الف). عملکرد به‌عنوان پیچیده‌ترین خصوصیت گیاه تحت تأثیر تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی است و کرد قابل اندازه‌گیری این فرایندها در صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تجلی می‌یابد (۷). در شرایط عدم وجود تنش خشکی مواد پرورده بیشتری به دانه‌ها منتقل شده و وزن نهایی دانه‌ها و به‌دنبال آن عملکرد نهایی دانه افزایش می‌یابد ولی با اعمال تنش، فتوسنتز جاری گیاه و انتقال مواد پرورده به دانه‌ها کاهش یافته که به‌صورت کاهش در میزان عملکرد دانه مشاهده می‌شود (۳۹). در شرایط اعمال تنش، گیاهان تلقیح شده با میکوریزا عملکرد دانه بالاتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی تولید کردند. بنابراین هر چند تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه گیاه می‌شود ولی میکوریزا شدت اثر آن را کاهش می‌دهد (۲ و ۱۸). اختلاف در عملکرد تیمارهای میکوریزا و رژیم‌های مختلف آبیاری به مقدار جذب آب و عناصر غذایی معدنی مربوط می‌شود، به‌طوری که گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تعادل آبی گیاهان را در تنش خشکی تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نتیجه به‌علت جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی عملکرد محصول افزایش می‌یابد. ریسه‌های میکوریزا می‌توانند وارد منافذ بسیار ریزی شوند که حتی تارهای کشنده قادر به نفوذ در آن نبوده و بدین‌ترتیب باعث افزایش میزان جذب آب می‌شود (۴۵). بررسی اثر تلقیح میکوریزا با گیاه باقلا تحت شرایط خشکی نشان‌دهنده افزایش عملکرد دانه در گیاهان میکوریزایی به‌دلیل جذب بالای نیتروزن و فسفر بود (۱۹). گزارشاتی مبنی بر کاهش اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه گیاهان نخود (*Cicer arietinum* L.) (۳۰) و ماش (*Vigna radiate* L.) (۱۴) در شرایط تلقیح با قارچ‌های میکوریزا ارائه شده است. بین عملکرد دانه و حجم و وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳).

کمبود آب موجب کاهش درصد پروتئین دانه اسپرس هم در گیاهان شاهد غیرمیکوریزایی و هم گیاهان میکوریزایی به استثنای گیاهان تلقیح شده با گونه *G. versiforme* شده است. گیاهان همزیست با گونه *G. versiform* دارای بیشترین مقدار پروتئین دانه با میانگین ۲۶/۵۵ درصد در حالت بدون تنش بود (شکل ۲- ب) که این میزان با اعمال تنش کم آبی برای گیاهان همزیست با همین گونه میکوریزا (۲۶/۳۲ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت. در حالی‌که در مورد گیاهان همزیست با سایر گونه‌های میکوریزا، کاهش معنی‌دار در میزان درصد پروتئین دانه مشاهده شد، به‌طوری که در حالت اعمال تنش کم آبی گونه‌های *F. mosseae*، *Rh. intraradices*، *C. claroideum* و *F. caledonius* به‌ترتیب باعث کاهش ۵/۶۴، ۵/۰۸، ۶/۷۵ و ۵/۳۵ درصدی در پروتئین دانه شد و کمترین درصد پروتئین هم مربوط به حالت بدون تلقیح با میکوریزا و در تنش کم آبی بود (شکل ۲. ب). سنتز پروتئین‌ها در اثر اعمال تنش کمبود آب کاهش می‌یابد. در واقع سنتز پروتئین‌ها در شرایط تنش خشکی ملایم، کند و در صورت تشدید شرایط خشکی و ایجاد آبکشیدگی برای بافت‌ها ممکن است کاملاً متوقف شود که می‌تواند در اثر کاهش شدید میزان فتوسنتز در این گیاهان باشد، کاهش فتوسنتز منجر به مهار برخی مواد ضروری در ساخت پروتئین می‌شود، بنابراین کاهش شدید میزان پروتئین و یا حتی توقف ساخت آن مشاهده می‌شود (۲۱). پژوهشگران نشان داده‌اند که همزیستی با میکوریزا در تنش خشکی بر میزان پروتئین دانه گیاهان تأثیری نداشته و با افزایش شدت تنش، پروتئین دانه کاهش یافته است (۱۱). این مطلب را به فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز نسبت دادند که در شرایط تنش خشکی بین تیمارهای تلقیح شده و بدون تلقیح اختلاف معنی داری نداشت، هرچند فعالیت آنزیم‌های کلیدی مؤثر در احیای نیترات مانند نیترات ردوکتاز، گلوتامین سنتتاز و گلوتامات سنتتاز به‌ویژه در شرایط خشکی تحریک می‌شود ولی کاهش در میزان سنتز این آنزیم‌ها در شرایط اعمال تنش اتفاق می‌افتد (۳۵). همچنین مشخص شده است که میزان پروتئین در اثر تنش خشکی در گیاه گوجه‌فرنگی در مراحل اولیه رشد افزایش ولی در مراحل بعدی کاهش داشته است (۱۲). افزایش در مراحل اولیه رشدی گیاه نوعی واکنش اسمزی گیاه به کم بودن آب در

مراحل اولیه رشد است لیکن کاهش در مراحل بعدی رشد نشانی از کاهش فتوسنتز در اثر تنش خشکی است. بررسی همزیستی قارچ‌های میکوریزا و گیاه سدر تحت تنش خشکی نشان داده است که تجمع اسیدآمینه‌ها و پروتئین در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزایی افزایش داشته است (۲۷). افزایش ۴۵ درصدی در میزان پروتئین دانه گیاهان میکوریزایی در شرایط اعمال تنش کم آبی نسبت به حالت شاهد و بدون تلقیح با قارچ میکوریزا گزارش شده است (۱). نتایج تحقیق در گیاهان لوبیای چشم‌بلبلی نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان عناصر معدنی مانند نیتروژن در این گیاه کاهش معنی‌داری داشت، این در حالی است که تلقیح با میکوریزا باعث افزایش محتوای نیتروژن تا ۱۷ درصد در شرایط تنش کم، ۳۰ درصد در تنش متوسط و ۲۲ درصد در شرایط تنش زیاد شد (۴۶). در آزمایش انجام شده روی گیاهان *Erythrina veriegata* کاهش میزان پروتئین با افزایش میزان تنش خشکی مشاهده شد، لیکن در گیاهان تلقیح شده با *G. mosseae* میزان پروتئین در تمام سطوح خشکی بیشتر از حالت شاهد و بدون تلقیح با میکوریزا بود که نشان می‌دهد قارچ‌های میکوریزا نوعی مقاومت در برابر تنش خشکی در گیاهان ایجاد می‌کند (۲۵).

گیاهان تیمار شده با گونه *F. mosseae* در حالت اعمال آبیاری در ۵۰ درصد FC بیشترین مقدار فسفر دانه را داشتند که این مقدار بیشتر از گیاهان تیمار شده با همین گونه و در حالت بدون تنش بود (شکل ۲- ج). در مورد گیاهان تلقیح شده با *Rh. intraradices* نیز با اعمال تنش کم آبی افزایش در میزان فسفر دانه مشاهده شد. همچنین در مورد گیاهان همزیست با *G. versiforme*، بین حالت آبیاری مطلوب و اعمال تنش اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با وجود کاهش فسفر دانه در گیاهان تلقیح شده با سایر گونه‌های میکوریزا، در شرایط تنش نسبت به آبیاری مطلوب فسفر دانه در کلیه گیاهان میکوریزایی در هر دو سطح آبیاری، بیشتر از گیاهان شاهد غیرمیکوریزایی بود. کمترین مقدار فسفر نیز متعلق به گیاهان بدون تلقیح با میکوریزا و در حالت آبیاری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۳۵/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن خشک دانه) بود (شکل ۲. ج). تنش خشکی در گیاهان علیرغم کاهش غلظت عناصر غذایی مانند فسفر در اندام های رویشی مانند برگ‌ها موجب افزایش غلظت این عنصر در دانه می‌شود که علت این امر کاهش عملکرد دانه با افزایش میزان تنش خشکی است که به‌دلیل کوچک شدن مخزن فیزیولوژیکی عناصر (دانه) و در نتیجه افزایش غلظت عناصر در دانه است (۳۳). از طرفی افزایش جذب فسفر در گیاهان همزیست با میکوریزا می‌تواند در اثر افزایش رشد طولی ریشه و حجم آن، افزایش انتقال ارتوفسفات در محلول خاک و یا افزایش تبادلات فسفر آلی از طریق ریسه‌های میکوریزایی باشد. افزایش جذب عناصر غیرمتحرکی مانند فسفر در همزیستی با میکوریزا می‌تواند در اثر افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز ریشه نیز باشد (۳۴)، از این‌رو در تحقیق حاضر کاهش میزان فسفر دانه گیاهان تلقیح شده با گونه‌های میکوریزایی *C. claroideum* و *F. caledonius* را می‌توان به رشد طولی کم ریشه و کاهش حجم ریشه گیاهان همزیست با این گونه‌های میکوریزایی و عدم کارایی این گونه‌ها در کاهش اثر تنش کم‌آبی دانست. از طرفی گیاهان همزیست با گونه‌های *F. mosseae* و *Rh. intraradices* با وجود افزایش عملکرد دانه، فسفر دانه بیشتری نیز داشته‌اند که این امر نشان می‌دهد که در شرایط کم آبی و همچنین شرایط مطلوب آبیاری مؤثرتر از سایر گونه‌های میکوریزا عمل کرده‌اند. نقش اصلی قارچ‌های میکوریزا تأمین فسفر برای ریشه گیاه است، زیرا فسفر خاک عنصری فوق‌العاده کم‌تحرک است. حتی در صورتی که فسفر به شکل محلول به خاک اضافه شود، به سرعت به اشکال تثبیت شده و به‌صورت غیرمتحرک در می‌آید و زمانی که تنش خشکی ایجاد می‌شود، از تحرک این عنصر بیشتر کاسته شده و سرعت انتشار آن در خاک محدود می‌شود. بنابراین قارچ های میکوریزا در افزایش جذب مواد معدنی، به‌ویژه فسفر و تجمع زیست‌توده بسیاری از محصولات، در خاک‌های با فسفر کم، تأثیر مثبت دارند (۴۷). اسپور قارچ‌های میکوریزا پس از تلقیح در محیط اطراف ریشه گسترش یافته و بخشی از ریسه های حاصل وارد سیستم ریشه گیاه میزبان شده و سبب کاهش

غلظت اسید آبسیزیک گشته و میزان سیتوکینین را افزایش می دهند، این عمل باعث گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش جذب آب می‌شود. ریسه‌ها با ترشح اسیدهای آلی حل کننده فسفات های نامحلول مانند اسید مالیک، جذب فسفر توسط گیاه میزبان را افزایش می‌دهند (۲۲). مطالعات انجام شده روی گیاه اسپرس (۲۰) و نخود (۳۷) تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است که میزان فسفر افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده داشته‌اند. جدول (۳) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فسفر دانه و حجم و وزن خشک ریشه، عملکرد و پروتئین دانه نشان داد.

نتیجه‌گیری

طول ریشه در شرایط تنش بیشتر از آبیاری مطلوب بود ولی از حجم ریشه به‌طور معنی‌دار کاسته شد. این کاهش حجم ریشه در مقابل افزایش طول ریشه حتی در روابط میکوریزایی در شرایط تنش نیز باعث کاهش و یا ثابت ماندن هزینه کربوهیدراتی تولید ریشه شده است. عملکرد دانه با اعمال تنش کم آبی کاهش معنی‌داری نشان داده است، لیکن جبران این کاهش در گیاهان میکوریزایی در شرایط محدودیت آبیاری بیشتر از آبیاری مطلوب بود. انباشت پروتئین و فسفر در دانه اسپرس مشابه عملکرد دانه نشان‌دهنده توانایی میکوریزا در جذب نیتروژن و فسفر حتی با وجود اعمال تنش کم‌آبی است. درنهایت می‌توان عنوان کرد که گونه‌های میکوریزایی *Rh. Intraradices* و *G. versiforme* نسبت به‌گونه‌های دیگر در کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی موفق‌تر عمل کرده‌اند.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۲- ۳۵۱۰/ص/۲۷ مصوب ۹۲/۱۲/۲۵ معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abdelmoneim, T. S., A. A. Tarek, O. A. Moussa Almaghrabi, H. S. Alzahrani and I. Abdelbagi. 2014. Increasing plant tolerance to drought stress by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Life Science Journal* 11(1): 10-17.
2. Al-Karaki, G., B. McMicheal and J. Zak. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* 14: 263-269.
3. Allen, M. F., W. K. Smith, T. S. Moore and M. Christensen. 1981. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal and non-mycorrhizal Bouteloua gracilis H.B.K. Lag ex Steud. *New Phytologist* 88: 683–693.
4. Atayese, M. O. 2007. Field response of Groundnut (*Arachis hypogeal* L.) cultivars to mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer in Abekuta, South West Nigeria. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science* 2(1): 16-23.
5. Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
6. Auge, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science* 84: 373-381.
7. Bhatt, R. M. and N. K. Srinivasa-Rao. 2005. Influence of pod load on response of okra to water stress. *Indian Journal Plant Physiology* 10: 54-59.
8. Boomsma, C. R. and T. J. Vyn. 2008. Maize drought tolerance: potential importants through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108: 14-31.
9. Boureima, S., M. Diouf, T. A. Diop, M. Diatta, E. M. Leye, F. Ndiaye and D. Seck. 2007. Effects of arbuscular mycorrhizal inocolation on the growth and the development of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African Journal of Agricultural Research* 3(3): 234-238.
10. Delgado, I., J. Salivia, I. Bvil and C. Andres. 2008. The agronomic variability of a collection of sainfoin accessions. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3: 401-407.
11. Faghani, E., M. Godarzi and A. Safarnezhad. 2013. Effcts of Mycorrhizal Symbiosism on some physiological characters of Sesbania aculeta agains water defiient stess. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 104: 37-44.

12. Ghorbanli, M., M. Gafarabad, T. Amirkian and B. Allahverdi Mamaghani. 2013. Investigation of proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydro ascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology* 3(2): 651-658.
13. Gupta, M. L., A. Prasad, M. Ram and S. Kumar. 2006. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus Glomus fasiculatumon the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bio Resource Technology* 81: 77–79.
14. Habibzadeh, Y., A. R. Evazi and M. Abedi. 2014. Alleviation drought stress of mungbean (*Vigna radiate* L.) plants by using arbuscular mycorrhizal fungi. *International Journal of Agricultural Science and Natural Research* 1(1): 1-6.
15. Habibzadeh, Y., J. Jalilian, M. R. Zardashti, A. Pirzad and O. Eini. 2015. Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plants under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition* 38(11): 1754-1767.
16. Huang, R. S., W. K. Smith and R. S. Yost. 1985. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on growth, water relations, and leaf orientation in Leucaena leucocephala Lam. De Wit. *New Phytologist* 99: 229–243.
17. James, B., D. Rodel, U. Loretto, E. Reynaldo and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botani* 40: 2217-2224.
18. Jamshidi, E., A. Ghalavnd, A. Salahi, M. J. Zare and A. R. Jamshidi. 2009. Effect of Arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 11 (1):136-150.
19. Jia, Y., V. M. Gray and C. J. Straker. 2004. The influence of rhizobium and arbuscular mycorhizal fungi on nitrogen and phosphorus accumulation by *vicia faba*. *Annals of Botany* 94: 251-258.
20. Jing, K., P. Zongping, D. Min, S. Gan and Z. Xin. 2014. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought resistance of the mining area repair plant sainfoin. *International Journal of Mining Science and Technology* 24: 485-489.
21. Karimi, S., H. Abbaspour, J. M. Sinaki and H. Makarian. 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars caster bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Physiology and Biochemistry* 8(3): 160-169.
22. Khalvati, M. A., A. Mozafar and U. Schmidhaltar. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart* 7(6): 706-712.
23. Majidi, M. M. and A. Arzani. 2009. Study of relationship between morphological, agronomic and qualitative traits in sainfoin populations *(Onobrychis viciifolia* Scop). *Journal of Plant Production* 16(2): 159-172.
24. Manjunath, A., R. Mohan and D. J. Bagyaraj. 1983. Response of citrus to vesicular-arbuscular mycorrhiza inoculation in unsterile soil. *Canadian Journal of Botany* 61: 2729-2732.
25. Manoharan, P. T., V. Shamugaiah, N. Balasubramanian and S. Gomathinayagam. 2010. Influence of AM fungi on the growth and physiological status of *Erythrina variegate* L. Grown under different water stress conditions. *European Journal of Soil Biology* 46: 151-156.
26. Marulanda, A., R. Porcel, M. Barea and R. Azcon. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in laventies in lavender plants colonized by native drought-tolerant or drought-sensitive *Glomus* species. *Microbial Ecology* 54: 543-552.
27. Mathur, N. and A. Vyas. 2000. Influence of arbuscular mycorrhizae on biomass production, nutrient uptake and physiological changes in *Ziziphus mauritiana* L. under water stress. *Journal of Arid Environments* 45: 191-195.
28. Modarres, R. and V. P. Rodriguesda Silva. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70: 344-355.
29. Molla, M. N. and A. R. M. Solaiman. 2009. Association of arbuscular mycorrhizal fungi with leguminous crops grown in different agro-ecological zones of Bangladesh. *Agronomy and Soil Science* 55(3): 233-245.
30. Moradi, S. and H. Besharati. 2015. Effects of water stress and inoculation with mycorrhizal fungi and symbiotic bacteria on vegetative indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Soil Management and Sustainable* 5(3): 129-231.
31. Ohnishi, T., R. S. Gall and M. L. Mayer. 1975. An improved assay of inorganic phosphate in the presence of extralabile phosphate compounds: application to the ATPase assay in the presence of phosphocreatine. *Analytical Biochemistry* 69: 261–267.
32. Qiao, G., X. P. Wen, L. F. Yu and X. B. Ji. 2011. The enhancement of drought tolerance for *pigeon pea* inoculated by arbuscular mycorrhizae fungi. *Plant Soil and Environment* 57(12): 541-546.
33. Rafiee, M., H. A. Nadian, G. Nour-Mohammadi and M. Karimi. 2004. Effects of drought stress, phosphorous and zinc application on concentration and total nutrient uptake by corn (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Agricultural*

Science 35 (1): 235-243.
34. Richardson, A. E. and R. J. Simpson. 2011. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. *Plant Physiologist* 156: 989-996.
35. Robert, M. A. 2001. Water relation, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11(1): 3-42.
36. Rossi, A. M., M. Villarreal, M. D. Juarez and N. C. Samman. 2004. Nitrogen contents in food: A comparison between the kejeldahl and hach methods. *Journal of the Argentine chemical Society* 92: 99-108.
37. Sadhana, B. 2014. Interaction effect of AM fungi, Rhizobium and drought stress on chickpea. *Asian Journal of Science and Technologies* 5(12): 819-827.
38. Sanchez-Blanco, M. J., T. Ferrandez, M. A. Morales, A. Morte and J. J. Alarcon. 2004. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology* 161: 675-682.
39. Sani, B. and H. Aliabadi Frahani. 2010. Effect of P_2O_5 on coriander induced by AMF under water deficit stress. *Journal of Ecology and Natural Environment* 2: 52-58.
40. Sanjari Pireivatlou, A., R. T. Aliyev and B. Sorkhi Lalehloo. 2011. Grain filling rate and duration in bread wheat under irrigation and drought stressed conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding* 1(1): 69-86.
41. Sawers, R. J. H., C. Gutjahr and U. Paszkowski. 2008. Cereal mycorrhiza: an ancient symbiosis in modern agriculture. *Trends in Plant Science* 13: 93–97.
42. Shamshiri, M. H., V. Mozafari, E. Sadaghati and V. Bagheri. 2011. Response of petunia plants (*Petunia hybrid* Cr Mix) inoculated with *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* to phosphorous and drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13: 929-942.
43. Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis, 3rd ed. Academic, London.
44. Tasang, A. and M. A. Maum. 1999. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. *Plant Ecology* 144: 159–166.
45. Tisdall, J. M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research* 29: 729–743.
46. Tsoata, E., S. R. Njock, E. Youmbi and D. Nwaga. 2015. Early effect of water stress on some biochemical and mineral parameters of mycorrhizal *Vigna subterranean* (L.) Verdc. (Fabaceae) cultivated in Cameroon. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 7(2): 21-35.
47. Turk, M. A., T. A. Assaf, K. M. Hameed and A. M. Tawaha. 2006. Significance of mycorrhizae. *World Journal of Agricultural Science* 2:16-20.
48. Watanabe, F. S. and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. *Proceedings- Soil Science Society of America* 29: 677–678.
49. Wu, Q. and Y. Zou. 2009. Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought stressed citrus. *Plant, Soil and Environment* 55(10): 436-442.
50. Wu, Y., E. T. Thorne, R. E. Sharp and D. J. Cosgrove. 2001. Modification of expansion transcript levels in the maize primary root at low water potentials. *Plant Physiology* 126: 1471-1479.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 1, Spring 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Interaction Efect between Water Deficit and Mycorrhizal Symbiosis on the Quantitative and Qualitative Yield of Sainfoin (*Onobrychis sativa* L.)

S. Abdi[1*] and A. R. Pirzad[2]

(Received: October 10-2017; Accepted: October 10-2018)

Abstract

Water stress is one of the most important factors limiting the growth and production of crops in arid and semi-arid regions. To evaluate the effect of mycorrhizal fungi species on the growth and yield (quantity and quality) of *Onobrychis sativa* under water deficit condition, a greenhouse factorial experiment based on completely randomized design (CRD) with three replications was conducted in 2014. Treatments included five species of mycorrhizal fungi (*Fanelormis mosseae, Rhizophagus intraradices, Claroideoglomus claroideum, Funneliformis caledonius, Glomus versiforme* and non-mycorrhizal control) and two levels of irrigation (irrigation at 80% [well watering] and 50% [water deficit] field capacity [FC]). The highest grain yield (9.187 g/plant) was obtained from the stressed plants inoculated with *Rh. intraradices* with the same grain yield of *F. mosseae* inoculated plants (8.867 g/plant). With a significant reduction in the grain yield of stressed plants, mycorrhizal relationships even increased the yield more than the well-watered plants. Despite the decreases in the grain protein and phosphorous of water-deficit stressed mycorrhizal plants, the highest grain protein content was obtained from the plants inoculated with *G. versiforme,* and the highest grain phosphorus content was obtained from the plants inoculated with *F. mosseae*. Mycorrhizal symbiosis enhanced the yield and the quality of Sanfoin grain in water deficit stressed plants due to reducing root volume against the stimulating root elongation. In this way, the species *G. versiforme* exhibited the greatest positive effect.

Keywords: Grain protein, Mycorrhiza fungi, Root, Sainfoin, Water deficit stress

1. Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
*: Corresponding Author, Email: s.abdi@tabrizu.ac.ir