تاثیر تلقیح میکوریزایی بر برخی ویژگی‌های فیــزیولوژیکی و عملکرد شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تنش خشکی

مدینه بیژنی[۱]، پرویز یدالهی ده‌چشمه[۲]، محمدرضا اصغری‌پور[۳*] و مسلم حیدری[۱]

چکیده

همزیستی قارچ‌های میکوریزا با ریشه گیاهان از طریق بهبود صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه می‌تواند سبب واکنش مثبت گیاهان، به‌ویژه در شرایط نامساعد محیطی، گردد. آزمایشی برای مطالعه تاثیر قارچ‌های میکوریزا در سطوح تنش خشکی بر رشد و عملکرد شنبلیله، به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در گلخانه دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارها شامل تنش خشکی در سه سطح شاهد (۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده)، تنش ملایم (۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده) و تنش شدید (۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده)، به عنوان عامل اصلی و سه گونه قارچ میکوریزا (*Glomus intraradices*، *G. versiform*، *G. mosseae*) و بدون قارچ به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. تاثیر تنش خشکی بر تمام خصوصیات مورد مطالعه معنی‌دار بود، به طوری‌که تنش شدید تعداد برگ در گیاه، ارتفاع ساقه، طول ریشه، محتوی کلروفیل b را به‌ترتیب ۲۲/۲۲، ۲/۹، ۲۶/۳، ۳/۱ درصد نسبت به شاهد (بدون تنش) کاهش و پرولین و کربوهیدرات برگ را به‌ترتیب به میزان ۳۶/۰۴ و ۲۰/۹۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. قارچ‌های میکوریزا بر میزان کربوهیدرات و پرولین برگ تاثیر معنی‌داری نداشتند. اثر متقابل قارچ و تنش خشکی بر برخی صفـات از جمله غلظت کلـروفیل a و کل، عملکرد دانه و همچنین درصـد کلون‌سازی (کلونیزاسیون) معنی‌دار بود. در بین سه گونه قارچ مورد استفاده، گونه *G. mosseae* عملکرد بهتری در بهبود صفات در شرایط تنش خشکی داشت. در نتیجه می‌توان چنین بیان داشت که در شدت‌های مختلف تنش خشکی، استفاده از قارچ‌های میکوریزا با افزایش درصد کلونیزاسیون و رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌تواند در کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد دانه در گیاه مؤثر واقع گردد.

واژگان کلیدی: تنش کم آبیاری، رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، کودهای بیولوژیک، گیاه دارویی.

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد زراعت دانشگاه زابل، ایران
۲- واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، باشگاه پژوهشگران جوان، شهرکرد، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه زابل، ایران (* نگارنده‌ی مسئول)
m_asgharipour@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۲۳
تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱۷

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاهی یک‌ساله و علفی از خانواده بقولات (Fabaceae) است و کاربرد خوراکی و دارویی دارد (Abbas Ali *et al*., 2012). این گیـــاه در تمام بخش‌های ایران کشت می‌شود و تولید سالانه علوفه آن ۸۰۰ تن و عملکرد دانه آن ۰/۸ تن در هکتار گزارش شده است (Sadeghzadeh-Ahari *et al*., 2010).

درک پاسخ گیاهان دارویی به تنش‌های محیطی جهت تولید و اصلاح ارقام متحمل به تنش کاملاً ضروری است (Lashkari, 2013). تنش خشکی از جمله تنش‌های محیطی مهم است که با ایجاد اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی (Soha *et al*., 2010)، تخریب پروتئین‌ها و آنزیم‌ها (Heidari and Karami, 2013)، کاهش سطح برگ (Arab, 2012) و ریزش گل و میوه (Safavi Gardini, 2013) موجب کاهش عملکرد (Farokhnia *et al*., 2011) گیاهان می‌شود. علاوه بر این گیاهان قادرند با تغییراتی نظیر کاهش سطح تعرق کننده، افزایش طول و حجم ریشه و تولید اسمولیت‌های سازگار اثرات تنش خشکی را تا حدود زیادی کاهش دهند (Omidbeigi, 1999). در همین راستا محققین گزارش کردند که اعمال تنش خشکی در گیاه سویا منجر به افزایش میزان پرولین گردید (Isazade Panjali Khorasbi, 2012).

در سال‌های اخیر برای مقابله با کم آبی و تنش خشکی قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آربوسکولار در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Song, 2005). قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه همزیستی مسالمت آمیز با ریشه گیاهان است (Gogoi and Singh, 2011). تاثیر مثبت این قارچ بر گیاهان مختلف اعلام شده است (Karagiannidis *et al*., 2012; Moradi *et al*., 2011). قارچ‌های همزیست مواد کربوهیدراتی را عمدتاً به شکل ساکارز از گیاه دریافت و عناصر غذایی (عمدتاً فسفر) را در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Marulanda and Barea, 2009). به این ترتیب که عناصر غذایی از غشای آربوسکول از طریق حامل‌های غشایی که با شیب پروتون عمل می‌کنند به صورت فعال در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و مواد کربوهیدراتی موجود در آوند آبکش گیاه ابتدا توسط قارچ به گلوگز و فروکتوز تبدیل شده و سپس توسط حامل‌ها جذب می‌گردد (Smith *et al*., 2010). به طور کلی، محققان در طی مطالعات خود، تأثیر همزیستی میکوریزایی بر روابط هورمونی (Redecker and Morton, 2000)، افزایش تنظیم اسمزی (Smith and Read, 2008)، افزایش جذب آب از طریق افزایش تراکم ریشه (Blumwald *et al*., 2000)، حمایت در برابر صدمات اکسیداتیو ناشی از خشکی (Auge *et al*., 2003)، بهبود تغذیه (Janjansa *et al*., 2008) و تغییرات در خواص نگهداری آب در خاک (Alizadeh, 2007) را در شرایط تنش خشکی در گیاهان میزبان مطرح کرده‌اند. در همین ارتباط شولتون و همکاران (Scholten *et al*., 2006) در پیاز و فلفل مشاهده نمودند که با افزایش کاربرد ماده تلقیحی *Glomus mosseae* سودمندی کلونیزاسیون میکوریزایی بر رشد و اجزای عملکرد در گیاهان تحت تنش آبی و بدون تنش آبی افزایش یافت. لذا، بررسی تأثیر سطوح مختلف خشکی و رابطه آن با کاربرد قارچ‌های میکوریزا اهمیت می‌یابد (Heidari and Karami, 2013). بنابراین، با توجه به اهمیت زراعت و تولید گیاهان دارویی و معطر و کمبود آب آبیاری و نزولات در مناطق مختلف کشور، این آزمایش به منظور مطالعه اثر قارچ‌های میکوریزا کاهش اثرات تنش

خشکی در شنبلیله از طریق بررسی صفات مرفوفیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه این گیاه، انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش گلدانی به منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریزا و تنش خشکی بر عملکرد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه شنبلیله به صورت اسپیلت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۲ به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری در سه سطح شاهد (آبیاری در۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده)، تنش ملایم (آبیاری در ۵۰ رطوبت قابل استفاده)، تنش شدید (آبیاری در ۳۰ رطوبت قابل استفاده) به عنوان عامل اصلی و گونه‌های میکوریزا در چهار سطح (قارچ‌های گونه *G. intraradices*، *G. versiform*، *G. mosseae* و شاهد بدون قارچ) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از طریق وزن نمودن گلدان‌ها انجام گرفت. برای تعیین ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت قابل استفاده از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. پس از مشخص شدن میزان رطوبت قابل دسترس، از خاک نمونه‌برداری و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین گردید و فواصل روز آبیاری در تیمارهای مختلف به‌دست آمد. خاک مورد استفاده در این آزمایش از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه تهیه شده بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ ارایه شده است.

برای انجام این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۸ سانتی‌متر استفاده گردید. در کف گلدان‌ها تا ارتفاع دو سانتی‌متری شن دانه درشت شسته شده ریخته و در هر گلدان ۳ کیلوگرم خاک با مشخصات ذکر شده اضافه شد. برای اعمال تیمار قارچ‌های میکوریزا (تهیه شده از شرکت زیست فناوران توران شاهرود) قبل از کاشت، خاک رویی گلدان به اندازه سه تا چهار برابر عمق کاشت بذر کنار زده و مقدار ۵۰ گرم قارچ به خاک گلدان اضافه گردید. تعداد پروپاگول‌های مایه تلقیح مورد استفاده 10^8 عدد در هر گرم ماده حامل بود. بذرها (تهیه شده از توده بومی زابل) پس از اضافه کردن محلول غذایی (۱۵۰ گرم سولفات پتاسیم، ۳۵ گرم فسفات پتاسیم و ۱۵۰ گرم اوره)، کشت شدند (Aslani *et al*., 2009). آبیاری گلدان‌ها بر اساس مقدار رطوبت هر روز صورت گرفت. پس از سبز شدن بذرها، تنک کردن گیاهچه‌ها در چند مرحله انجام و در نهایت در هر گلدان ۷ بوته نگهداری شد. ۱/۵ ماه بعد از کشت (مرحله ۴ تا ۶ برگی شدن) تیمارهای خشکی بر گلدان‌ها اعمال گردید. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از طریق وزن نمودن گلدان‌ها انجام گرفت. آبیاری تیمارها بر اساس مقدار رطوبت خاک برای تیمارهای شاهد، ۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰ ٪ انجام شد. در طول دوره اعمال تنش، رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR[1] اندازه‌گیری شده و در زمان‌های معین بر اساس تیمارهای آزمایشی آبیاری انجام گردید.

پارامترهای کمّی شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول ریشه و عملکرد دانه در مرحله رسیدگی کامل اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کلروفیل کل در مرحله گلدهی، از دستگاه اسپکتروفتومتر و روابط زیر استفاده شد (Tabatabaii, 2009).

Chl a mg/gt=12.7 (A663) – 2.69 (A645) × V/1000 w

Chl b mg/gt =22.9 (A645) – 4.68 (A663) × V/1000 w

Total Chl a mg/gt =20.2 (A645) – 8.02 (A663) × V/1000 w

۱- *time-domain reflectometer (TDR)*

که chl a و chl b به‌ترتیب کلروفیل a و کلروفیل b، A: جذب طول موج ویژه، W: وزن تر، V: حجم نهایی کلروفیل و کاروتنوئید در استن ۸۰ درصد می‌باشد.

برای تعیین درصد عنصر غذایی فسفر در بخش هوایی، از روش اسپکتوفتومتری و در طول موج ۴۲۰ نانومتـر (Rayan *et al*., 2001) استفاده گردید. اندازه‌گیری کربوهیدرات در مرحله قبل از گلدهی، با استفاده از اتانول ۹۵٪ و استخراج کربوهیدرات برگ بر اساس روش اسید سولفوریک انجام شد (Schlegel, 1956). اندازه‌گیری میزان پرولین نیز با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) انجام گرفت. تعیین درصد کلونیزاسیون، پس از رنگ آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش تلاقی خطوط شبکه (Grid line intersect method) تعیین گردید (Dalpe, 1993).

داده‌های مربوط به آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شده و از Excel جهت رسم شکل‌ها استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات رویشی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تنش خشکی بر صفات رویشی شنبلیله شامل تعداد برگ، ارتفاع ساقه و طول ریشه معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). با افزایش شدت تنش خشکی، کمّیت صفات رویشی کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین مقادیر برای تمامی صفات در تیمار آبیاری کامل و کمترین نیز در شرایط تنش آبی شدید (۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده) به‌دست آمد (جدول ۳). اگرچه سطح شاهد و تنش ملایم از نظر آماری در صفات مذکور در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد، و لیکن تنش شدید باعث کاهش ۲۲/۲، ۲/۹ و ۲۶/۳ درصدی به‌ترتیب در تعداد برگ، ارتفاع ساقه و طول ریشه نسبت به شاهد گردید (جدول ۳). اصلانی و همکاران (Aslani *et al*., 2011) و علی‌آبادی فراهانی و ولدآبادی (Aliabadi Farahani and Valadabadi, 2010) نیز کاهش تعداد و سطح برگ، طول ریشه، و ارتفاع بوته گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. به نظر می‌رسد که رشد کم، یک حالت سازگار کننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به جای استفاده برای رشد شاخساره، به سمت مولکول‌های نگهدارنده در برابر تنش، هدایت می‌کند (Khalid, 2006). بر اساس نتایج ارایه شده تعداد برگ و ارتفاع ساقه ($p \leq ۰/۰۱$) و طول ریشه شنبلیله ($p < ۰/۰۵$) به طور معنی‌داری تحت تأثیر عامل قارچ‌ای میکوریزا قرار گرفتند (جدول ۲). مکانیسم‌های مختلفی در ارتباط با تاثیر میکوریزا بر رشد رویشی گیاهان ذکر شده است. از مهم‌ترین این مکانیسم‌ها، تاثیر میکوریزا بر جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک است (Abdelhafez and Abdel-Monsief, 2006). همین امر سبب گردیده تا این کودهای زیستی موجب افزایش قابل توجهی در بهبود صفات رویشی شنبلیله شوند، به‌طوری‌که گونه *G. mosseae* افزایش ۳۱/۶، ۱۵/۲، ۱۵/۱ درصدی را به‌ترتیب در تعداد برگ، ارتفاع ساقه و طول ریشه نسبت به شاهد، برای گیاه شنبلیله به دنبال داشته است (جدول ۳). در همین راستا کوپیتا و همکاران (Copetta *et al*., 2006) به نتایج مشابهی در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) دست یافتند.

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۱$) تحت تاثیر تنش خشکی، قارچ‌های میکوریزا و اثر متقابل

این دو عامل قرار گرفتند (جدول ۲). در شرایط مطلوب آبیاری، بیشترین عملکرد دانه در اثر استفاده از قارچ *G. mosseae* با میانگین ۲۰۲/۸۵ گرم در گلدان به‌دست آمد، البته بین این قارچ و بقیه گونه‌ها از نظر عملکرد دانه اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط تنش کم آبی (۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده) گلدان‌های تحت تیمار قارچ *G. versiform* دارای عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر گونه‌ها بودند (شکل ۱). اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد دانه گیاهان امری واضح بوده و توسط محققان متعددی به اثبات رسیده است (Lashkari, 2013; Alizadeh, 2007). از سوی دیگر، پتانسیل قارچ‌های میکوریزا در افزایش تحمل گیاه در شرایط تنش غیرزنده در مدت زمان طولانی شناخته شده است (Smith and Read, 2008) و دست‌کاری آنها در سیستم‌های کشاورزی پایدار از اهمیت فوق العاده‌ای برای کیفیت خاک و تولیدات زراعی تحت شرایط آب و هوایی سخت خواهد بود (Lal, 2009). مطالعات اخیر نشان می‌دهد همکاری میکروارگانیسم‌های مفید خاک و قارچ میکوریزا باعث بهبود تحمل گیاه زراعی در برابر تنش غیرزنده و رشد گیاه تحت تنش خشکی می‌شود (Heidari and Karami, 2013; Marulanda and Barea, 2009). با توجه به نتایج به‌دست آمده در مطالعه حاضر حتی در شرایط تنش رطوبتی شدید عملکرد دانه در گونه *G. mosseae* بیشتر از تیمار ترکیبی عدم کاربرد قارچ میکوریزا و تنش متوسط بود (شکل ۱).

محتوی فسفر اندام‌های هوایی

تاثیر تنش خشکی بر درصد فسفر اندام هوایی در گیاه شنبلیله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). درصد فسفر در بافت‌های گیاهی در شرایط تنش خشکی به سرعت کاهش یافت. به طوری‌که در تنش شدید (۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده) این کاهش نسبت به شاهد ۲۷/۵ درصد بوده است (جدول ۳). علیزاده (Alizadeh, 2007) و لشکری (Lashkari, 2013) نیز نتایج مشابهی درباره محتوای فسفر گیاه نسبت به تنش خشکی گزارش کردند.

درصد فسفر گیاه تحت تاثیر کاربرد قارچ میکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). گونه *G. versiform* باعث افزایش ۳۰/۸۹ درصدی فسفر برگ گیاه نسبت به شاهد شده، ولی سایر گونه‌های قارچ میکوریزا از نظر آماری در یک گروه قرار داشته و تنها با سطح شاهد تفاوت معنی‌دار دارند. قارچ‌های میکوریزا با گسترش ریسه‌های خارجی، سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش می‌دهند (James *et al*., 2008). همچنین، تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های میکوریزا باعث می‌شود که فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد (Song, 2005). در همین زمینه، ماهاور و الوک (Mahaveer and Alok, 2000) گزارش کردند که تلقیح پیاز (*Allium cepa* L.) با قارچ میکوریزا موجب افزایش معنی‌دار فسفر اندام هوایی نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید که با نتایج ما در مطالعه حاضر مطابقت دارد.

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا بر غلظت کلروفیل a، b و کل برگ شنبلیله در مرحله گلدهی معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۴). اندازه‌گیری محتوی کلروفیل a و b نشان داد که اگر چه غلظت هر دو با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابند، ولی به دلیل حساسیت بیشتر کلروفیل a به تنش خشکی، کاهش محتوای کلروفیل a بیشتر از b بود. میزان کاهش کلروفیل a در سطوح دوم و سوم تنش نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۱/۳۴ و

۱۰/۰ درصد بود، در حالی‌که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار ۲/۵ و ۳/۱ درصدی کلروفیل b به‌ترتیب در سطوح دوم و سوم تنش نسبت به شاهد گردید (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش محتوای کلروفیل در هنگام مواجه با تنش خشکی، در اثر تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و متعاقب آن پراکسیداسیون لیپیدها و تخریب کلروفیل بوده است (Xiao *et al*., 2008). اصلانی و همکاران (Aslani *et al*., 2011) اظهار داشتند که تنش آبی اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل ریحان داشت به‌طوری‌که با کاهش مقدار آب خاک، مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهش یافت که با نتایج ما در این مطالعه مطابقت دارد.

محتوی کلروفیل b در اثر کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت، به‌طوری‌که گونه *G. mosseae* با میانگین ۴/۴۰ میکروگرم بر گرم وزن تر، بیشترین مقدار صفت مذکور را به خود اختصاص داد (جدول ۵). یکی از مهم‌ترین نقش‌های میکوریزا افزایش محتوای کلروفیل می‌باشد (Gogoi and Singh, 2011). با توجه به اینکه قارچ‌های میکوریزا به افزایش جذب منیزیم در گیاه کمک کرده (Elahi *et al*., 2010) و می‌توانند سنتز کلروفیل را افزایش دهند (Wu *et al*., 2011) و در نتیجه افزایش عملکرد به دست آمده در مطالعه حاضر قابل توجیه می‌باشد.

اثر متقابل تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر غلظت کلروفیل a و کل ($p \leq ۰/۰۱$) نیز معنی‌دار شد (جدول ۴). قارچ میکوریزا در سطح تنش ملایم خشکی در افزایش میزان کلروفیل از کارایی خوبی برخوردار بوده و میزان انباشت کلروفیل را در بافت برگ به مقدار زیادی در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده افزایش داده است، بنابراین بیشترین میزان کلروفیل a و کل به‌ترتیب با میانگین‌های ۱۴/۴۳ و ۱۸/۸۹ میکروگرم بر گرم وزن تر در تیمار ترکیبی عدم تنش (۷۰ درصد رطوبت قابل استفاده) و قارچ *G. intraradices* به دست آمد (شکل‌های ۲ و ۳). علاوه بر دلایل فوق‌الذکر برای افزایش میزان کلروفیل با کاربرد قارچ‌های میکوریزا، تانگ و همکاران (Tang *et al*,. 2009) افزایش در میزان کلروفیل گیاه میکوریزایی شده را به افزایش جذب نیتروژن توسط سیستم میکوریزایی نسبت دادند. در همین راستا سانچز بلانکو و همکاران (Sanchez- Blanco *et al*., 2004) بیان کردند که گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis*) میکوریزایی تحت شرایط تنش خشکی، محتوای کلروفیل بالاتری را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی داشتند.

پرولین و کربوهیدرات

تیمار تنش خشکی تاثیر معنی‌داری ($p \leq ۰/۰۱$) بر میزان تجمع پرولین و کربوهیدرات در گیاه داشت (جدول ۴). با بررسی واکنش شنبلیله به تنش خشکی مشخص شد که افزایش تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار تجمع پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه شد. بیشترین مقدار پرولین با میانگین ۴/۰۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ و کربوهیدرات با میانگین ۱۲/۶۳ میکروگرم گلوکز در گرم وزن تر برگ از بالاترین سطح تنش حاصل شد (جدول ۵). افزایش غلظت اسمولیت‌های سازگار مانند کربوهیدرات و پرولین تحت تاثیر تنش‌های محیطی مانند شوری (Farhoudi *et al*., 2007) و خشکی (Heidari and Karami, 2013; Ma *et al*., 2001) به اثبات رسیده است. به نظر می‌رسد تجمع ترکیب‌هایی همانند پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز گیاه تحت تنش خشکی می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم آورد، اما اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و گیاه این هزینه را از طریق کاهش

عملکرد جبران می‌کند (Good and Zaplachiniski, 1994).

در بین گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های میکوریزا نیز بیشترین میزان پرولین و کربوهیدرات به‌ترتیب در تیمار همزیست *G. versiform* و*G. intraradices* مشاهده شد، ولی اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۳). نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات علی‌آبادی و همکاران (Aliabadi *et al*., 2007) روی گشنیز و حیدری و کرمی (Heidari and Karami, 2013) روی آفتابگردان مطابقت دارد. آنها گزارش کردند غلظت اسمولیت‌های سازگار تحت تاثیر همزیستی گیاه با قارچ‌های میکوریزا تحت شرایط تنش آبی قرار نگرفت. واضح است که همزیستی میکوریزا برای افزایش تحمل به تنش‌های غیرزنده باعث تحریک سنتز متابولیت‌های ثانویه گیاه می‌شود (Gianninazzi *et al*., 2010)، اما اثر مفید قارچ‌های AM[1] بر مواد معدنی و محتوی متابولیت‌های ثانویه نه تنها به گونه قارچ میکوریزا، بلکه به ژنوتیپ گیاه و رژیم کودی نیز وابسته می‌باشد (Chaudhary *et al*., 2008; Perner *et al*., 2008).

درصد کلونیزاسیون

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه شنبلیله به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) تحت تاثیر تنش خشکی، گونه‌های قارچ میکوریزا و اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت (جدول ۴). میانگین اثرات متقابل عامل‌های تنش خشکی و قارچ میکوریزا حاکی از آن بود که با کاهش رطوبت خاک، درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها نیز کاهش یافت. گیاهان تلقیح یافته با قارچ *G.mosseae* نسبت به گیاهان تلقیح یافته با قارچ *G. intraradices* و *G versiforme* در سطح شاهد و تنش ملایم درصد کلونیزاسیون بالاتری داشت. ولیکن با اعمال تنش شدید (۳۰ درصد رطوبت قابل استفاده) درصد کلونیزاسیون در گونه‌های قارچ میکوریزا به ۱۱ درصد تنزل یافت (شکل ۴). کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش احتمالاً به علت کاهش در تندش و رشد هیف‌ها است. مرحله مهم‌تر پس از تندش اسپورف، رشد هیف حاصل از تندش است که نقش اساسی در کلونیزاسیون ریشه ایفا می‌کند. به ظاهر رشد هیف بیشتر از تندش اسپور تحت تاثیر پتانسیل اسمزی قرار می‌گیرد (Aliasgharzadeh, 1997). در این تحقیق افزایش درصد کلونیزاسیون در یک گونه قارچی نسبت به گونه دیگر، به گونه گیاهی و نوع قارچ بستگی دارد و حتی ایزوله‌های یک گونه که از مناطق مختلف جمع‌آوری شده باشند از نظر درصد کلونیزاسیون اختلاف دارند (Gholami and Kochaki, 2001). نتایج تحقیقات نادیان (Nadian, 2011) بر سورگوم تاییدی بر نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد تنش خشکی روی خصوصیات کمّی و کیفی گیاه شنبلیله تاثیر زیادی دارد. اعمال تنش در مراحل مختلف تاثیرات منفی متفاوتی بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه می‌گذارد. از سوی دیگر تمام گونه‌های قارچ‌های میکوریزا به خصوص قارچ *G. mosseae* اثرات مثبتی در کاهش تنش خشکی و افزایش عملکرد این گیاه داشت. بنابراین، با توجه به اثربخش بودن همزیستی قارچ‌های میکوریزا برای کاهش اثرات تنش خشکی در شرایط گلخانه‌ای، انجام آزمایش‌های تکمیلی در کشت مزرعه‌ای نیز پیشنهاد می‌گردد.

۱- *Arbuscular Mycorrhizal* fungus

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physio-chemical properties of soil

بافت خاک Soil texture	شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	کربن آلی Organic C	نیتروژن N	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
	(٪)			mg/Kg					(٪)			
لوم شنی	41	32	27	3.1	4.2	8.2	250	12	0.29	0.03	7.8	2.2

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات رویشی، عملکرد دانه و محتوای فسفر اندام هوایی گیاه شنبلیله تحت تاثیر تنش خشکی و قارچ‌های میکوریزا در گیاه شنبلیله

Table 2- Analysis of variance for vegetative growth, seed yield and P concentration in shoot influenced by drought stress and mycorrhiza in fenugreek

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		تعداد برگ در گیاه Leaf Number in plant	ارتفاع ساقه Plant height	طول ریشه Root length	عملکرد دانه Seed yield	محتوی فسفر اندام‌های هوایی P concentration in shoot
تکرار Replication	2	0.25	28.58	22.00	111.85	0.011
تنش Drought	2	79.00 **	65.35 **	86.94 **	1565.85 **	0.77 **
خطای اصلی Main error	4	15.50	3.22	4.81	140.52	0.065
همزیستی میکوریزی Myco. Sym.	3	85.70 **	15.33 **	13.46 *	3609.81 **	0.49 **
تنش × همزیستی میکوریزی Drought× Myco. Sym.	6	7.59 ns	2.64 ns	6.55 ns	371.99 **	0.04 ns
خطای فرعی Minor error	18	7.59	2.12	4.01	63.98	0.05
ضریب تغییرات CV (%)		14.12	7.86	11.23	4.79	15.59

ns، * و **: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر صفات رویشی، عملکرد دانه و محتوای فسفر اندام هوایی در گیاه شنبلیله

Table 3- Vegetative growth, seed yield and P concentration in shoot influenced by drought stress and mycorrhiza in fenugreek

	تعداد برگ در گیاه Leaf Number in plant	ارتفاع ساقه Plant height (cm)	طول ریشه Root length (cm)	عملکرد دانه Seed yield ($g.pot^{-2}$)	محتوی فسفر اندام هوایی P concentration in shoot (%)
			تنش خشکی Drought stress		
شاهد Control	22.50 a	20.57 a	20.34 a	176.93 a	1.87 a
تنش ملایم Mild stress	19.00 ab	19.01 b	18.17 a	169.34 a	1.63 a
تنش شدید Sever stress	17.50 b	19.98 b	14.99 b	154.48 b	1.29 b
			گونه های قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungi species		
شاهد Control	16.11 b	16.79 b	16.53 b	139.23 c	1.23 b
G. intraradices	18.89 ab	19.34 a	17.87 ab	174.40 b	1.64 a
G. versiform	20.11 ab	18.26 ab	17.47 ab	174.74 ab	1.78 a
G. mosseae	23.55 a	19.70 a	19.46 a	186.29 a	1.61 a

*در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by the same letter within the same columns do not differ significantly at p =5%

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس خصوصیات فیزیولوژیکی شنبلیله تحت تاثیر تنش خشکی و همزیستی میکوریزا در گیاه شنبلیله

Table 4- Analysis of variance for vegetative growth, seed yield and P concentration in shoot influenced by drought stress and mycorrhiza in fenugreek

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات					
		محتوی کلروفیل a Chl. a	محتوی کلروفیل b Chl. b	کلروفیل کل Total chl.	پرولین Proline	کربوهیدرات Carbohydrate	درصد کلونیزاسیون Infection percentage
تکرار Replication	2	1.17	0.005	1.26	0.04	1.43	6.86
تنش Drought	2	19.91 **	0.059 **	22.05 **	6.63 **	21.86 **	108.37 **
خطای اصلی Main error	4	0.34	0.008	0.38	0.076	14.65	8.19
همزیستی میکوریزی Myco. Sym.	3	6.36 **	0.037 **	7.02 **	0.105 ns	0.62 ns	538.99 **
تنش × همزیستی میکوریزی Drought× Myco. Sym.	6	7.65 **	0.006ns	7.82	0.04 ns	0.96 ns	13.67 **
خطای فرعی Minor error	18	0.84	0.005	0.78	0.077	0.83	12.19
ضریب تغییرات CV (%)		8. 47	1.78	5.84	8.13	7.59	12.93

ns، * و **: به ترتیب نمایانگر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, *, **: non-significant and significant at 5 and 1%, respectively.

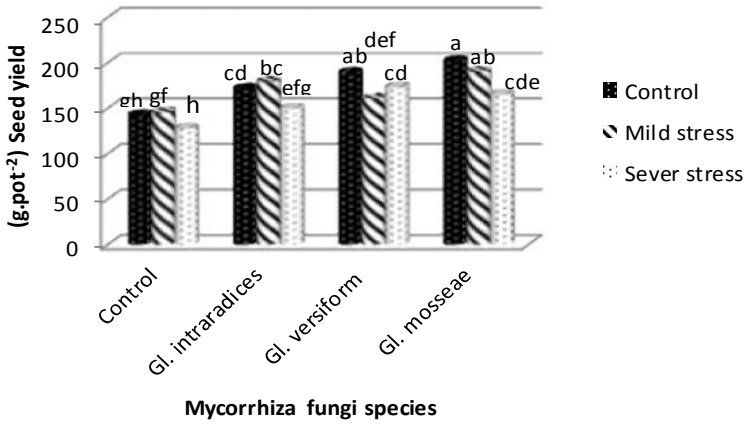
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و قارچ ملیکوریزا بر غلظت کلروفیل b، پرولین و کربوهیدرات

Table 5- Concentration of chlorophyll b, proline and carbohydrate influenced by drought stress and mycorrhiza in fenugreek

	محتوی کلروفیل b Chl. b (mg/g)	**پرولین** Proline (µmol/g)	**کربوهیدرات** Carbohydrate (µg.g)
	تنش خشکی Drought stress		
شاهد Control	4/41 a	2/59 c	9/98 c
تنش ملایم Mild stress	4/30 ab	3/59 b	11/57 b
تنش شدید Sever stress	4/27 b	4/05 a	12/63 a
	گونه های قارچ میکوریزا Mycorrhiza fungi species		
Control	4/25 b	3/40 a	11/46 a
G. intraradices	4/36 ab	3/30 a	11/65 a
G. versiform	4/31 ab	3/56 a	11/62 a
G. mosseae	4/40 a	3/38 a	11/08 a

*در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Values followed by the same letter within the same columns do not differ significantly at p =5%

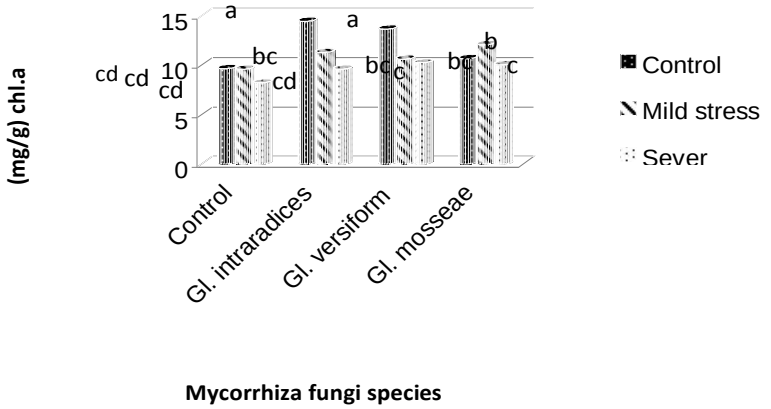


شکل ۱- برهمکنش تنش خشکی و همزیستی با گونه‌های قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه گیاه شنبلیله

Figure 1- Interaction of drought and mycorrhizae symbiosis on grain yield of fenugreek

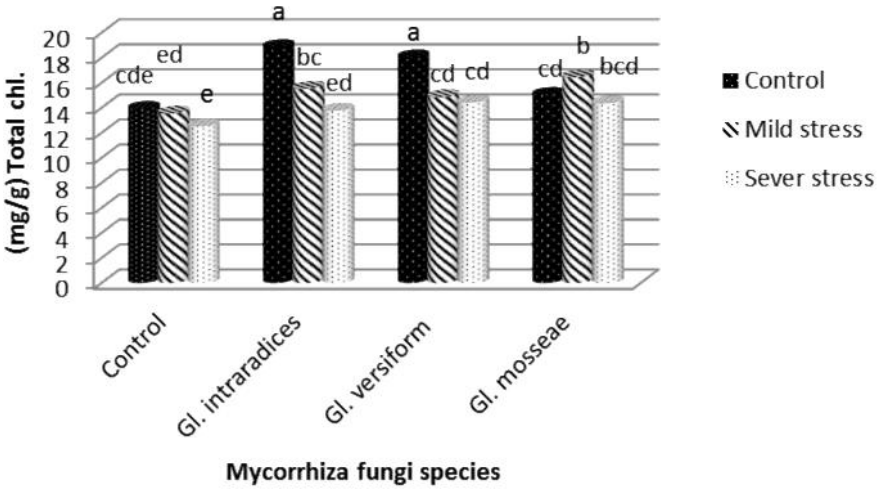
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

The mean contains at least one letter in common don't have significant difference at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.



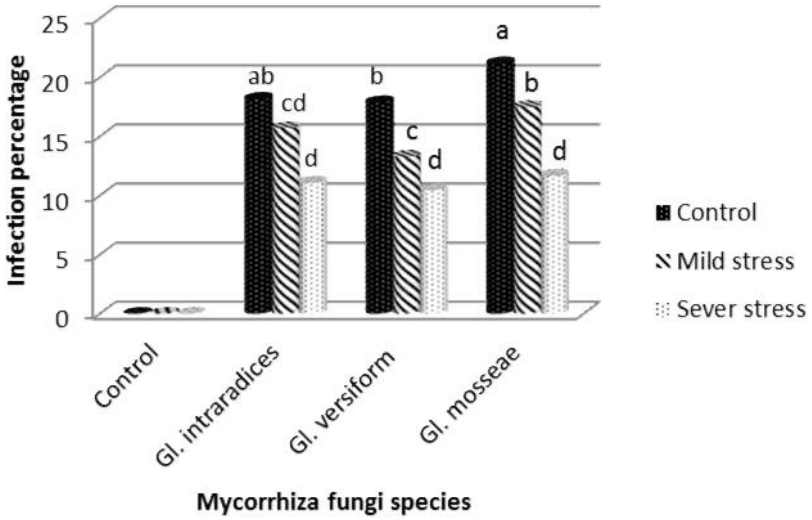
شکل ۲- برهمکنش تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر کلروفیل a گیاه شنبلیله

Figure 2- Interaction of drought and mycorrhizae symbiosis on concentration of chlorophyll a



شکل ۳ – برهمکنش تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر کلروفیل کل گیاه شنبلیله

Figure 3- Interaction of drought and mycorrhizae symbiosis on concentration of total chlorophyll



شکل ۴ – برهمکنش تنش خشکی و قارچ میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون شنبلیله

Figure 4- Interaction of drought and mycorrhizae symbiosis on colonization percentage

References منابع مورد استفاده

- Abbas Ali, M., M. Abu Sayeed Shahinur, M. Alam, and M.S.T. Sarmina Yeasmin. 2012. Characteristics of oils and nutrient contents of *Nigella sativa* Linn. and *Trigonella foenum-graecum* seeds. *Chemistry Society Ethiop*. 26(1): 55- 64.
- Abdelhafez, A.A., and R.A. Abdel-Monsief. 2006. Effects of VA mycorrhizal inoculation on growth, yield and nutrient content of cantaloupe and cucumber under different water regimes. *Journal of Agriculture and Biological Sciences.* 2(6): 503-508.
- Aliabad Farahani, H.A., M.H. Lebaschi, A.H. Shiranirad, S.A. Valadabadi, A. Hamidi, and A. Alizade Sohrabi. 2007. Effect of *Glomus hoi*, different levels of phosphorus and drought stress on some physiological characteristics of coriander (*Cariandrum Sativum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*. 23: 415-405. (In Persian).
- Aliabad Farahani, H.A., and S.A. Valadabadi. 2010. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Journal of Soil Research (Soil and Water Science)*. 24: 80-69. (In Persian).
- Aliasgharzadeh, N. 1997. Soil microbiology and biochemistry. University of Tabriz Press, 212p (In Persian).
- Alizadeh, A. 2007. Effect of drought stress on nutrient uptake by mycorrhizal corn in different situations. *Journal of Agricultural Research*. 3 (1): 101-108. (In Persian).
- Arabs, S. 2012. Effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside spraying on safflower under deficit irrigation. Twelfth Congress of Agronomy, Iran, Islamic Azad University, Karaj Branch, September, 14-16. Pp. 254-259. (In Persian).
- Aslani, Z., A. Hassani, M.H. Rasooli Sadagiyani, F. Sefidkon, M. Barin, and S.A. Gheibi. 2009. Effect of symbiosis with mycorrhiza fungi on some physiological characteristics of basil (*Osimum basilicum*) under drought stress. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*. 2 (2): 109-117.
- Aslani, Z., A. Hasani, M.H. Rasouli Sedgheiani, F. Sefidkan, and M. Berom. 2011. Effect of Arbuscular mycorhiza (*Glomus intraradices* and *Glomus mosseae*) on growth, chlorophyll and phosphorus uptake in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research.* 27: 486-471. (In Persian).
- Auge, R.M., J.L. Moore, J.C. Stutz, D.M. Sylvia, A.K. Al-Agely, and A.M. Sexton. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. *Journal of Plant Physiology*. 160: 1147-56.
- Bates, L.S., R.P. Waldern, and I.D. Teave. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil.* 39: 205-107.
- Blumwald, E., G.S. Aharon, and M.P. Apse. 2000. Sodium transport in plant cells. *Acta Biochemical and Biophysics*. 14: 140-151.

- Chaudhary, V., R. Kapoor, and A.K. Bhatnagar. 2008. Effectiveness of two arbuscular mycorrhizal fungi on concentrations of essential oil and artemisin in three accessions of *Artemisia annual* L. *Applied Soil Ecology*. 40: 174-181.
- Copetta, A., G. Lingua, and G. Bert. 2006. Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*. 16(7): 485- 494.
- Dalpe, Y. 1993. Vesicular-Arbuscular mycorrhiza. In. M.R. Carter (ed.). Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers. pp. 287-301.
- Elahi, F.E.M., F.M. Aminuzaman, M. Mridha, B. Begum, and J. Harun Akmy. 2010. AMF inoculation reduced arsenic toxicity and increased growth, nutrient uptake and chlorophyll content of tomato grown in arsenic amended soil. *Advances in Environment Biology*. 4(2): 144-200.
- Farhoudi, R., F. Sharifzadeh, K. Poustini, M. Makkizadeh, and M. Kochakpor. 2007. The effects of NaCl priming on salt tolerance in canola (*Brassica napus*) seedlings grown under saline conditions. *Seed Science and Technology*. 35: 754-759.
- Farouki Nia, M.M., B. Roshdi, M. Poshtiban Islam, and R. Sasndost. 2011. Examine yield and some physiological characteristics of safflower under water deficit. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 42 (3): 545-553. (In Persian)
- Gholami, A., and A. Kochaki, 2001. Mycorrhiza in sustainable agriculture. Shahrod University Press, Shahrod, 212p (In Persian).
- Gianninazzi, S., A. Gollette, M.N. Binet, D. Tuinen, and D. Redecke. 2010. Key role of arbuscular mycorriza in ecosystem services. *Mycorrhiza*. 20: 519- 530.
- Gogoi, P., and R.K. Singh. 2011. Different effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Piper longum* L. (Piperaceae). *Indian Journal of Sciences and Technology*. 4(2): 119- 125.
- Good, A.G., and S.T. Zaplachiniski. 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*. 90: 9-14.
- Heidari, M., and A.V. Karami. 2013. Examine the effects of stress and strains of mycorrhiza on yield, yield components, chlorophyll and biochemical composition of sunflower. *Environmental Stress in Crop Science*. 6 (1): 17-26. (In Persian).
- Isazade Panjali, G. 2012. Effects of methanol on quantitative and qualitative characteristics of soybean under drought stress. M.Sc. Thesis. University of Zabol. Zabol, Iran. 93 pp. (In Persian).
- James, B., D. Rodel, U. Lorettu, E. Reynaldo, and H. Tariq. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botany*. 40(5): 2217-2224.
- Janjansa, F., S. Andrew, and E. Sally. 2008. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscuar mycorrhiza fungi. *New Phytologist*. 177(3): 779-789.

- Karagiannidis, N., T. Thomidis, E. Panou-Filotheou, and C.H. Karagiannidis. 2012. Response of three mint and two Oregano species to *Glomus etunicatum* inoculation. *Australian Journal of Crop Sciences.* 6(1): 164- 169.
- Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum sp*.). *Agrophysics*. 20: 289- 296.
- Lal, R. 2009. Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*. 1: 45-57.
- Lashkari, F. 2013. Effect of super absorbent polymer, potassium and manure on quantitative and qualitative characteristics of carla. M.Sc. Thesis. University of Zabol, Zabol, Iran. 121 pp. (In Persian)
- Ma, Q., D.W. Turner, D. Levy, and W.A. Cowling. 2001. Solute accumulation and osmotic adjustment in leaves of Brassica oilseeds in response to soil water deficit. *Australian Journal of Agricultural Research*. 55: 39-945.
- Mahaveer, P.S., and A. Alok. 2000. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisoil. *Biological Agriculture and Horticulture.* 18: 1 14.
- Marulanda, A., and G.M. Barea. 2009. Stimulation of plant growth and drought to clearance by native micro-organisms from dry environments: mechanisms related to bacterial effectiveness. *Journal of Plant Growth Regulator*. 28: 115- 124.
- Moradi, R., P. Rezvani Moghaddam, M. Nasiri Mahallati, and A. Nezhadali. 2011. Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgar* Var. Duice). *Spanish Journal of Agricultural Research*. 9(2): 546-553.
- Nadian, H. 2011. Effect of drought stress and mycorrhizal symbiosis on plant growth and P uptake by two sorghum genotypes differing in root morphology. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*. 15: 112-121 (In Persian).
- Omid Beigi, R. 2009. Chemical evaluation of Iranian wild chamomile and comparison with the breeded lines. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 1: 45-53. (In Persian).
- Perner, H., S. Rohn, G. Drimel, N. Batt, D. Schwarz, L.W. Kroh, and E. George. 2008. Effect of nitrogen species supply and mycorrhizal colonization on organosulfur and phenolic compounds in Orions. *Agriculture and Food Chemistry*. 56: 3538-3545.
- Rayan, J.R., R. Estefan, and A. Rashid. 2001. Soil and plant analysis laboratory manual. (2^{nd} edition). ICARDA, Syria. 231 pp.
- Redecker, D., and J.B. Morton. 2000. Ancestral lineges of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). *Molecular Phylogenetic and Erudition*. 14: 276-284.
- Sadeghzadeh-Ahari, D., M.R. Hassandokht, A.K. Kashi, A. Amri, and K.H. Alizadeh. 2010. Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. *African Journal of Plant Science.* 4: 12-20.

- Safavi Gardini, M. 2013. Effect of super absorbent polymer, potassium and manure on drought resistance in pumpkin. M.Sc. Thesis, University of Zabol, Zabol, Iran, 125 pp. (In Persian).
- Sanchez-Blanco, M.I., T. Ferrandez, M. Morales, A. Morata, and J.J. Alarcon. 2004. Variations in water status, gas exchange and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought condition. *Journal of Plant Physiology*. 161: 673-682.
- Schlegel, H.G. 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella im licht. *Planta*. 47(5): 510-515.
- Scholten, D.R., E. Olga, and V.C. Galvan. 2006. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on growth and development og onion at joint organic cogress, Odense, Denmark, May 30-31, 2006.
- Smith, S., E. Facelli, and S. Pope. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhiza. *Plant and Soil*. 326: 3-20.
- Smith, S.E., and D.G.M. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd Ed. Academic, London. 141 pp.
- Soha, E., G. Nahed, and H. Bedour. 2010. Effect of water stress, ascorbic acid and spraying time on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *Journal of American Sciences.* 6(12): 33-44.
- Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Journal of Biology*. 1(3): 44-48.
- Tabatabai, J. 2009. Principles of mineral nutrition of plants. Teacher Press, Tabriz. 314 pp. (In Persian).
- Tang, M., H. Chen, G.C. Huang, and Z.Q. Tian. 2009. Am fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 936- 940.
- Wu, G., B. Sun, Y. Wang, G. Xin, Sh. Ye, and Sh. Peng. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization improves regrowth of bermuda grass (*Cynodom dactylon* L.) after cutting. *Pakistan Journal of Botany*. 43(1): 85-93.
- Xiao X., Xu X., Yang F. 2008. Adaptive responses to progressive drought stress in two *Populus cothayana* populations. *Silva Fennica*. 42: 705-719.

The Effect of Mycorrhizal Inoculation of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its Yield and Some Physiological Characteristics Under Drought Conditions

Bijhani, M.[1], P. Yadollahi[2], M.R. Asgharipour[3*], and M. Heydari[1]

Received: October 2013, Accepted: 8 August 2015

Abstract

To study the effects of mycorrhizal inoculation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants and on its growth and yield under drought stress conditions a greenhouse experiment was carried out in split plot using a randomized complete block design at Zabol University green house in 2013. Treatments were three drought stresses: control, mild stress and severe stress (70, 50 and 30% FC) assigned to main plots, and three species of mycorrhizal treatments (*Glomus intraradices, G. versiform*, G. *mosseae* and non-inoculation as control) to sub-plots. The effects of drought on all traits under study were significant, and reduced number of leaves per plant, plant height, root length, chlorophyll b and total chlorophyll by 15.6, 7.6, 10.7, 2.5 and 8.4 % and increased proline and carbohydrates by 38.6 and 17.7 % as compared with the control. Mycorrhizal treatments did not affect the amount of carbohydrates and proline content significantly. Interaction of mycorrhiza and drought stress was significant on grain yield, chlorophyll a and total chlorophyll. Among the mycorrhizal strains *G. mosseae* affected the traits significantly under drought conditions. The results suggested that mycorrhizal treatments of plants at different drought stresses could improve grain yield of fenugreek and reduce the negative effects of drought by increasing photosynthetic pigments and other quantitative and qualitative traits.

Key words: Partial irrigation, Photosynthetic pigments, Grain yield, Biofertilizers, Medicinal plants.

1- MSc. Graduated of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Young Researchers and Elite Club, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
**** Corresponding Author:*** *m_asgharipour@uoz.ac.ir*