

اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تنش کم آبی

سینا سیاوش مقدم^{*}، امیر رحیمی^۱، سعید حیدرزاده^۲، سمیرا مرادزاده^۳، مصطفی حسنلو^۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر خصوصیات گیاه دارویی شنبلیله تحت شرایط تنش رطوبتی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ انجام شد. سطوح آبیاری در سه سطح، آبیاری بعد از ۵۰ (شاهد)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تنش شدید) به عنوان فاکتور اول و همزیستی قارچ (شاهد و قارچ گونه *Glomus intraradices*) به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح آبیاری از ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، تعداد دانه در غلاف، وزن هزاردانه و عملکرد اسانس شنبلیله بطور معنی‌دار کاهش یافت و بیشترین درصد اسانس از سطح آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک حاصل گردید. همچنین در هر یک از سطوح آبیاری (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) بیشترین محتوای کلروفیل کل، محتوایی نسبی آب برگ، عملکرد بیولوژیک و دانه شنبلیله از تیمار کاربرد قارچ میکوریزا به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: قارچ میکوریزا، تنش رطوبتی، سطوح آبیاری، شنبلیله

* عضو هیئت علمی گروه زراعت دانشگاه ارومیه، ss.moghaddam@urmia.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اکولوژی دانشگاه ارومیه

مقدمه

در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد در رازیانه تاکید شده است (رضائی چپانه و همکاران، ۱۳۹۱). کاهش رشد و عملکرد در گیاهان دارویی روزماری و نعنای نیز تحت تاثیر تنش خشکی مشاهده شده است (Eiasu et al., 2012). تنش های رطوبتی با تغذیه گیاهان بسیار مرتبط است. یکی از مهمترین تاثیرات تنش خشکی، کاهش دسترسی و جذب عناصر غذایی مختلف برای گیاه است. گیاه با تغذیه خوب، مقاومت بهتری به خشکی خواهد داشت (Rahinzadeh and Pirzad, 2017). بنابراین، مقابله با آثار مخرب تنش به شیوه های مختلف همچون کاربرد کودهای زیستی حائز اهمیت است.

گرچه استفاده از کودهای بیولوژیک در کشاورزی قدمت زیادی دارد ولی بهره برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. امروزه با توجه به مشکلاتی که مصرف بی رویه کودهای شیمیایی در مزارع و خاکها به وجود آورده است استفاده از منابع بیولوژیک کودی در کشاورزی بیش از پیش مطرح است (جلیلیان و حیدرزاده، ۱۳۹۴). یکی از راه های دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، استفاده از میکروارگانیسم هایی است که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی گیاهان دارند. کودهای بیولوژیک به تولیدات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم هایی که در ارتباط با تثبیت ازت و یا فراهمی فسفر و سایر عناصر غذایی در خاک فعالیت می کنند اشاره دارد (نورزاده و همکاران، ۱۳۹۳). واژه میکوریزا به معنی قارچ ریشه به طور کلی به همزیستی بین ریشه گیاهان و میسلیوم های قارچی اطلاق می شود. تحقیقات نشان داده است که قارچ های میکوریزای وزیکولار - آربیسکولار (VAM) باعث افزایش رشد و نمو گیاه میزبان می گردند (Evelin et al., 2009). البته عوامل مختلفی بر این توانایی اثر دارند که از آن جمله می توان به میزان توانایی میسلیوم های خارجی قارچ های میکوریزایی در انتشار به درون خاک و تاثیر عوامل محیطی خاک و تهویه خاک اشاره نمود. مطالعات بوم شناسی و فیزیولوژیکی اثبات کرده است که اغلب همزیستی میکوریزایی باعث جذب بهتر آب از خاک می شود. قارچ های میکوریزا، باعث افزایش سطح جذب

شنبليله با نام علمي *Trigonella foenum-graecum* L. گیاهی نهاندانه، از دولپه ای های جدا گلبرگ است که جزء راسته گل سرخ، تیره نخود، زیر تیره پروانه داران و جنس (*Trigonella* L.) از گروه *Trifolia* است. نام این گیاه از کلمه یونانی به معنای مثلث، به دلیل مثلثی بودن برگچه ها و *foenum-graecum* به معنای *Greek hay* یا علف یونانی به دلیل کاربردهای فراوان در یونان باستان، برگرفته شده است. شنبلیله گیاهی است علفی و یکساله که ارتفاع آن تا ۵۰ سانتیمتر می رسد. دانه های شنبلیله، به عنوان مهم ترین قسمت دارویی در گیاه دارای مصارف زیادی می باشد. نکته جالب توجه در مورد شنبلیله طیف وسیع اثرات درمانی آن می باشد به طوری که اثر ضد درد، ضد آترواسکلروز، ضد التهاب، ضد نفخ، ضد اسپاسم، ضد سرطان، پایین آوردنده قند خون، افزایش دهنده میل جنسی، قابض، مقوی قلب، صفرا آور، ملین، خلط آور، کاهش دهنده کلسترول خون، کاهش دهنده چربی خون، کاهش دهنده پرفشاری خون، کاهش دهنده تری گلیسرید خون، شیر افزایی، مقوی رحم و ضد کرم از جمله این خواص است (Hajimehdipoor et al., 2010). از آنجا که تنش آب از بزرگترین مشکلات در تولید محصولات زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله ایران به شمار می رود، شناخت واکنش های متفاوت گیاهان دارویی به کمبود آب از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. بطوری که خشکی خاک ناشی از فقدان آب موجب تغییراتی در شرایط فیزیکی خاک از قبیل افزایش تشکیل فضاهای بین ریشه و خاک می شود. خشکی خاک مانع توسعه عادی سامانه ریشه گره ای می شود. کاهش تماس منجر به محدودیت جذب آب و عناصر غذایی می شود (Sekhon and Singh, 2007).

تنش خشکی اساساً ناشی از عدم تعادل بین تبخیر و تعرق با مقدار رطوبت قابل دسترس خاک در محیط ریشه است. کاهش فراهمی آب از مهمترین عواملی است که می تواند رشد، عملکرد و مقدار مواد موثره در گیاهان دارویی را تحت تاثیر قرار دهد. در این زمینه، بر تاثیر منفی تنش خشکی

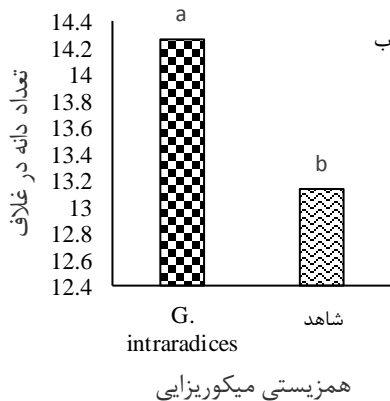
۱/۵ و فاصله بین دو بلوک، ۳ متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج آزمون خاک، خاک مزرعه دارای بافت لوم رسی با pH ۸، شوری ۰/۵۲ دسی زیمنس بر سانتی متر و ۰/۰۹۲ درصد نیتروژن بود، همچنین میزان فسفر و پتاسیم در خاک مزرعه به ترتیب ۷/۲ و ۳۹۰ میلی گرم در کیلوگرم بود. کلیه مراقبت‌های زراعی در مورد تمامی تیمارها به صورت یکنواخت انجام گرفت. در پایان فصل رشد برای تعیین عملکرد نهایی، دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه حذف و مابقی بوته‌ها برداشت و عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه تعیین شد. سپس بوته‌ها در ۷۰ درجه سانتیگراد تا ثابت ماندن وزن خشک درون آن قرار گرفتند و نهایتاً توزین شدند. بدین ترتیب عملکرد بیولوژیکی در واحد سطح برای هرواحد آزمایشی تعیین گردید. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام گرفت. برای این منظور ۳۰ گرم از بذرهاي خرد شده با ۳۰۰ میلی لیتر آب مقطر (۱:۱۰) درون بالن مخصوص دستگاه ریخته و اسانس گیری با دمای جوش آب، به مدت ۳ ساعت انجام گردید. درصد و عملکرد اسانس در واحد سطح بر اساس عملکرد دانه تعیین شد. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ از روش (Mahmood et al., 2003) استفاده شد. محاسبه محتوای کلروفیل کل با استفاده از روش (Lichtenthaler and Wellburn, 1983) انجام شد. برای بررسی کلونیزاسیون ریشه‌ها توسط قارچ از رنگ آمیزی ریشه‌ها به روش (Philips and Hayman, 1970) استفاده شد. به این ترتیب که در مرحله انتهایی رشد، ریشه تعداد ۱۰ بوته از هر تیمار به طور تصادفی برداشت و پس از شستن ریشه‌ها، حدود یک گرم از ریشه‌های ظریف و ریز در محلول FAA (۱۳ میلی لیتر فرمالدئید غلیظ + ۵ میلی لیتر اسید استیک غلیظ + ۹۰ میلی لیتر اتانول ۵۰٪) قرار داده شدند تا نمونه‌ها تثبیت شوند. هنگام رنگ آمیزی، ریشه‌ها با آب معمولی شسته شده و سپس قطعات ریشه (به طول یک سانتی متر) در داخل KOH ۱۰٪ به مدت یک ساعت و در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. پس از سرد شدن، ریشه‌ها شسته شده و به مدت سه دقیقه در اسید کلریدریک

ریشه می‌شوند که به گیاه میزبان کمک می‌کنند تا میزان آب بیشتری از خاک جذب نماید (Mohammadi et al., 2011). قارچ‌های میکوریزا بر جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و همچنین جذب آب در شرایط تنش، تولید هورمون‌های گیاهی، تعدیل اثر تنش‌های محیطی، افزایش مقاومت نسبت به عوامل بیماری‌زا در گیاه، کاهش آسیب‌های ریشه‌ای، تأثیر بر دانه بندی خاک، تشدید فعالیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن، همچنین بهبود خواص کمی موثر هستند از مهم‌ترین عناصری که توسط میکوریزا به طور فعال در سطح وسیع جذب می‌شود عنصر فسفر است (Habibzadeh et al., 2015). به این ترتیب این آزمایش با هدف بررسی اثر همزیستی قارچ میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی شنبلیله طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۶ تیمار و ۳ تکرار در بهار سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه (با موقعیت جغرافیای ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی با ۱۳۲۰ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. سطوح آبیاری در سه سطح (آبیاری بعد از ۵۰ (شاهد)، ۱۰۰ (تنش متوسط) و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تنش شدید) به عنوان فاکتور اول و همزیستی قارچ (شاهد و قارچ گونه *G. intraradices*) به عنوان فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. برای تلقیح شنبلیله با میکوریزا، قبل از کاشت به ازای هر کیلوگرم خاک مزرعه، ۱۰ گرم از خاکی که حاوی حدود ۱۰۰۰ اسپور بود به خاک مزرعه اضافه گردید و به خوبی با آن مخلوط گردید. در نیمه اردیبهشت بذور شنبلیله در ردیف‌های با فاصله ۲۵ سانتی‌متر با تراکم بالا (۷۰ بذور در مترمربع) در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری کشت شدند. سپس در مرحله ۴-۶ برگی برای رسیدن به تراکم مناسب (۴۰ بوته در مترمربع) تنک شدند. همچنین به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور، فاصله کرت‌های اصلی از یکدیگر

(شکل ۱- الف). در یک مطالعه بیان شد که تعداد دانه در غلاف بیشتر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است تا شرایط محیطی، ولی شرایط محیطی (مثل دما، نور، آب، مواد غذایی و طول دوره رشد) نیز بر آن تأثیر دارند که کمبود هر کدام از عوامل فوق باعث کاهش تعداد دانه در غلاف (سقط دانه) می‌شود (Maghsoudi and Maghsoudi, 2008). گزارش شده است که ثبات عملکرد در بقولات وابستگی شدیدی به شرایط آب و هوایی در دوره‌های بحرانی رشد گیاه دارد، بدین صورت که هوای گرم و خشک سبب کاهش رشد گیاه و نمو غلاف و تعداد دانه در غلاف را کاهش می‌دهد (جلیلیان و حیدرزاده، ۱۳۹۶). به نظر می‌رسد فراهمی رطوبت سبب ماندگاری بیشتر گیاه و ثبات عملکرد می‌شود. در حالی که در شرایط تنش رطوبتی تلفات گیاهی افزایش یافته و منجر به کاهش شاخه‌های غلاف‌دار، تعداد دانه در بوته و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (رضائیان زاده و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد قارچ میکوریزا) تأثیر معنی‌داری در افزایش تعداد دانه در غلاف داشت. طبق نتایج، تعداد دانه در غلاف در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا (۱۴/۲۶ درصد) در مقایسه با شاهد (۱۳/۱۳ درصد) تا ۷/۹۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱- ب).

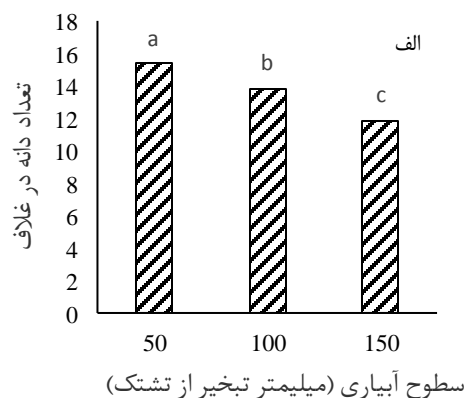


۱٪ گذاشته شدند و سپس بر روی آن محلول رنگی (ترپان بلو ۰/۰۵ درصد) اضافه گردید و به مدت یک ربع در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس محلول رنگی خالی گردید و پس از آن محلول رنگ‌زدایی لاکتوگلیسرول (۱:۱:۱ اسید لاکتیک، گلیسرول، آب) به آنها اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در داخل حمام آب قرار داده شدند. سپس ریشه‌ها به پتری‌دیش‌های حاوی ۵۰٪ گلیسرول جهت مشاهده در زیر میکروسکوپ نوری منتقل شدند. محلول رنگبر تمام مواد رنگی را از بافت ریشه به جز اندام‌های قارچی خارج می‌کند و در نتیجه اندام‌های قارچی به رنگ آبی در داخل و خارج ریشه به طور مشخص دیده می‌شوند. تجزیه و تحلیل داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال بودن آنها، با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت، همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد دانه در غلاف

طبق نتایج آزمایش، کمترین تعداد دانه در غلاف (۱۱/۸۷ عدد) از تیمار آبیاری در سطح ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و بیشترین مقدار آن (۱۵/۳۶ درصد) در سطح آبیاری پس از ۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به دست آمد

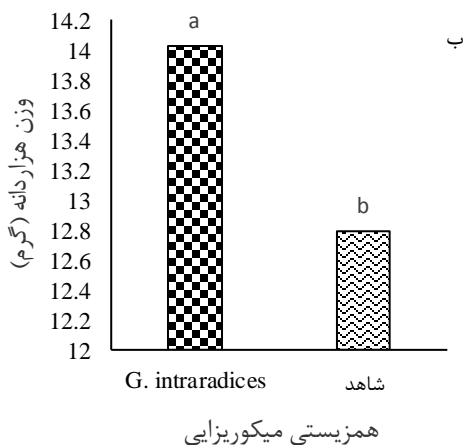


شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد دانه در غلاف تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری (الف) و همزیستی میکوریزایی (ب).

حروف غیرمشابه

بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

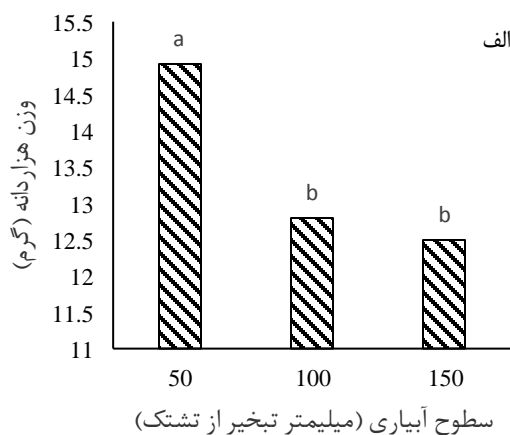
(۱۴/۹۱ گرم) و کمترین (۱۲/۵۰ گرم) عملکرد اسانس به ترتیب در نتیجه آبیاری در سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشک مشاهده شد (شکل ۲- الف). گزارش شده است که بروز تنش خشکی به ویژه در دوره رشد رویشی گیاه از طریق کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز، میزان کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی ذخیره شده در شاخه را کاهش می‌دهد و در نتیجه به علت فقدان مواد غذایی ذخیره شده در منابع ثانویه وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Gonzalez et al., 2010). بسته شدن روزنه در شرایط تنش خشکی، به منظور کاهش هدرروی آب، باعث کاهش میزان فتوسنتز و کاهش مواد پرورده لازم برای پر شدن دانه‌ها می‌شود و به دنبال آن کاهش میانگین وزن هر دانه رخ می‌دهد (Emam et al., 2012). همچنین کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) تاثیر معنی‌داری در افزایش وزن هزاردانه شنبليله داشت. بالاترین وزن هزاردانه (۱۴/۰۲ گرم) از تیمار میکوریزا حاصل شد و نسبت به تیمار شاهد ۸/۷۷ درصد وزن هزاردانه بیشتری داشته است (شکل ۲- ب).



رضائی چپانه و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که کاربرد کودهای زیستی سبب افزایش تعداد دانه در چتر زنیان شد. بطوری که حضور مداوم عناصر غذایی (نظیر نیتروژن و فسفر) که در فرایندهای رویشی و زایشی گیاه تأثیر مهمی دارند، می‌تواند اجزای عملکرد گیاه را تا حد زیادی افزایش دهد. در شرایط محدودیت آب، تلقیح با قارچ میکوریزا تا حدودی اثرات نامطلوب کمبود آب را جبران می‌کند و از کاهش بیشتر تعداد دانه در بوته جلوگیری می‌شود. راعی و همکاران (۱۳۹۴) در گیاه گلرنگ گزارش کردند که کاربرد تیمار ترکیبی کودهای بیولوژیکی سبب افزایش تعداد دانه در طبق می‌شود. گزارش کردند که حلالیت فسفر توسط میکوریزا و در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی ریشه به فسفر می‌تواند در افزایش تعداد دانه در گیاه و نیز سایر اجزای عملکرد گیاه سویا موثر باشد (Tohidi-Moghaddam et al., 2004).

وزن هزاردانه

نتایج نشان داد که تاخیر در زمان آبیاری تاثیر معنی‌داری در کاهش وزن هزاردانه شنبليله داشت، بطوری که بیشترین



شکل ۲- مقایسه میانگین وزن هزاردانه شنبليله تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری (الف) و همزیستی میکوریزایی (ب). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

داده و به تبع آن موجب افزایش وزن دانه می‌شود. این اثر به دلیل نقش‌های حیاتی فسفر در گیاه است (سمائی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین کاربرد کود زیستی به خصوص در شرایط کم آبی با بهبود رشد ریشه و افزایش

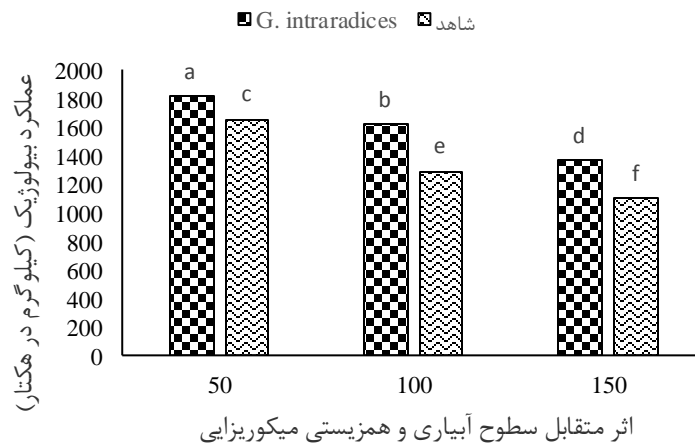
وزن هزار دانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه است که تحت تاثیر میزان کربوهیدرات ذخیره شده در شروع پر شدن دانه و ژنوتیپ گیاه قرار می‌گیرد. قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار فسفر در گیاه می‌شود. فسفر فتوسنتز گیاه را افزایش

(شاهد)، مقدار عملکرد بیولوژیک در نتیجه آبیاری در سطح ۱۵۰ میلیمتر در مقایسه با ۵۰ میلیمتر تبخیر در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا تا ۳۹ درصد کاهش یافت (شکل ۳). فراهم بودن آب و عناصر غذایی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به دنبال داشته و شرط اساسی جهت تولید عملکرد بالا، تولید ماده خشک بیشتر در واحد سطح می‌باشد. کوپتا و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه خود عنوان کردند که زیست توده ریحان در شرایط تلقیح با سه گونه قارچ میکوریزا افزایش یافت. آنها دلیل این امر را افزایش راندمان مصرف آب و بهبود جذب و دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه تحت شرایط تلقیح با قارچ همزیست ذکر کردند. کمبود آب سبب کاهش فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه باعث کاهش اندام‌های رویشی و اندام‌های زایشی می‌شود که نهایتاً می‌تواند منجر به کاهش عملکرد زیستی گیاه در شرایط محدودیت آب گردد (Mandal et al., 2007). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که قارچ‌های میکوریزا در طی دوره تنش خشکی با افزایش پتانسیل آب برگ، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسیدکربن و افزایش میزان تعرق و نیز افزایش میزان جذب آب در واحد زمان و در واحد طول ریشه گیاه میزبان، قادر اند اثرات تنش خشکی در گیاه را کاهش دهند (Ladjal and Ducrey, 2005).

آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی به علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، می‌تواند در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن وزن هزار دانه را بهبود ببخشد (Boomsma and Vyn, 2008). سایر محققان نیز کاربرد قارچ میکوریزا را روی گیاه سورگوم دانه‌ای مورد بررسی قرار دادند و اعلام نمودند که قارچ‌های میکوریزا با قابل دسترس ساختن و افزایش جذب عناصر غذایی، باعث توسعه رشد رویشی، گسترش و دوام بیشتر سطح برگ شده و در نتیجه در اثر بالا رفتن میزان فتوسنتز و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به دانه یا افزایش طول پر شدن دانه، وزن هزار دانه تحت تاثیر قارچ میکوریزا افزایش می‌یابد (حمزه ئی و صادقی می‌آبادی، ۱۳۹۳).

عملکرد بیولوژیک

طبق نتایج بدست آمده، در هر یک از سطوح آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلیمتر تبخیر) کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک از تیمار شاهد و بیشترین میزان آن از تیمار کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (شکل ۳). با وجود کاربرد قارچ میکوریزا از تاثیر منفی تاخیر در آبیاری بر عملکرد بیولوژیک کاسته شد. بطوری که در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا

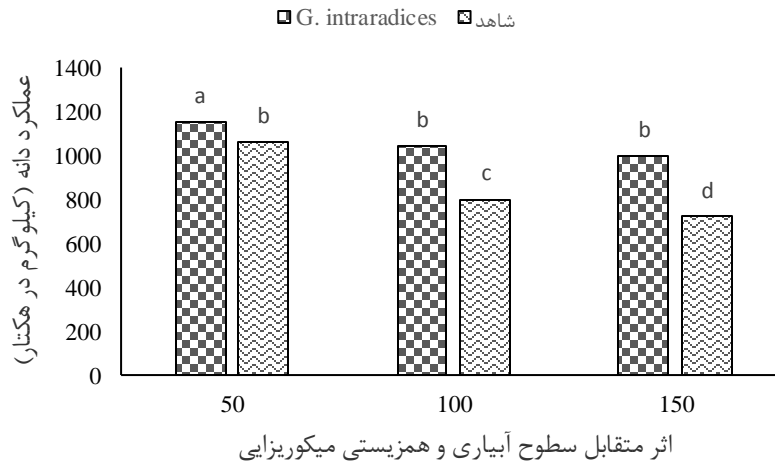


شکل ۳- اثر متقابل سطوح آبیاری و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد بیولوژیک. حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

عملکرد دانه

طبق نتایج مقایسه میانگین ها، حداکثر عملکرد دانه به طور معنی دار در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (شکل ۴). بطوری که بیشترین (۱۱۵۱/۳۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه در تیمار آبیاری ۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک در نتیجه کاربرد میکوریزا مشاهده گردید و کمترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک در شاهد مشاهده شد (شکل ۴). در تیمار ۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک، کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش ۳۷ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا گردید (شکل ۴). کاهش عملکرد دانه و اجزای آن در شرایط تنش کم آبی نسبت به آبیاری کامل را می توان به کاهش فتوسنتز و ماده - سازی در گیاه تحت شرایط تنش نسبت داد. چرا که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه می شود (جلیلیان و حیدرزاده، ۱۳۹۶). کاهش میزان فتوسنتز به علت بسته شدن روزنه ها (کاهش رشد گیاه)، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه ها و کاهش دوره پر شدن دانه ها از مهمترین اثرات تنش خشکی بر گیاه است (Emam et al., 2012). کودهای زیستی به دلیل تأثیر مثبت بر روابط آبی گیاه میزبان، چرخه مواد غذایی و در دسترس قرار دادن و افزایش جذب عناصر غذایی تحت تیمار تغذیه تلفیقی می توانند سبب افزایش عملکرد گیاه شوند (آقابائی و همکاران، ۱۳۹۰). ولی بخشی از افزایش عملکرد دانه شنبلیله را می توان ناشی از

هورمون های گیاهی ترشح شده توسط میکروارگانیسم ها مانند اکسین نسبت داد. همچنین میکروارگانیسم های محرک رشد گیاه با اثر بر اندازه و مورفولوژی ریشه، بر توانایی ریشه در دسترسی به حجم وسیعتر خاک اثر گذاشته و در نتیجه جذب آب و عملکرد گیاهان را افزایش می دهند (Arshad et al., 2008). علت افزایش عملکرد محصول در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا تعادل آبی آنها در شرایط کم آبی و در نتیجه جذب بیشتر آب و عناصر غذایی معدنی می باشد (Habibzadeh et al., 2015). بنابراین با توجه به نتایج حاصله شرایط کم آبی باعث کاهش غلظت بیشتر عناصر غذایی می گردد اما گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا قادرند اثرات نامطلوب تنش خشکی را تعدیل کنند. بطوری که قارچ میکوریزا از طریق انتشار میسیلیوم های خارجی خود در منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه های موئین برای جذب آب وجود ندارد، آب و عناصر غذایی را جذب و به گیاه منتقل می کند و در نتیجه باعث افزایش عملکرد دانه می گردد (مظلومی ممیندی و همکاران، ۱۳۹۵). افزایش فتوسنتز گیاه توسط قارچ های میکوریزی توسط کوپتا و همکاران (Copetta et al., 2006) به اثبات رسیده است. شواهد بسیار زیادی وجود دارد که گیاهان می توانند سرعت فتوسنتز خود را افزایش دهند تا نیازهای همزیست خود را تامین نمایند. این عمل از طریق افزایش سطح برگ و افزایش مقدار تثبیت CO₂ به ازای واحد وزن برگ انجام می گیرد. گیاهان میکوریزی در دوره های خشکی بهتر از گیاهان غیر میکوریزی CO₂ را جذب می نمایند. در نتیجه با افزایش آسیمیلات و ماده سازی باعث افزایش عملکرد می گردد.

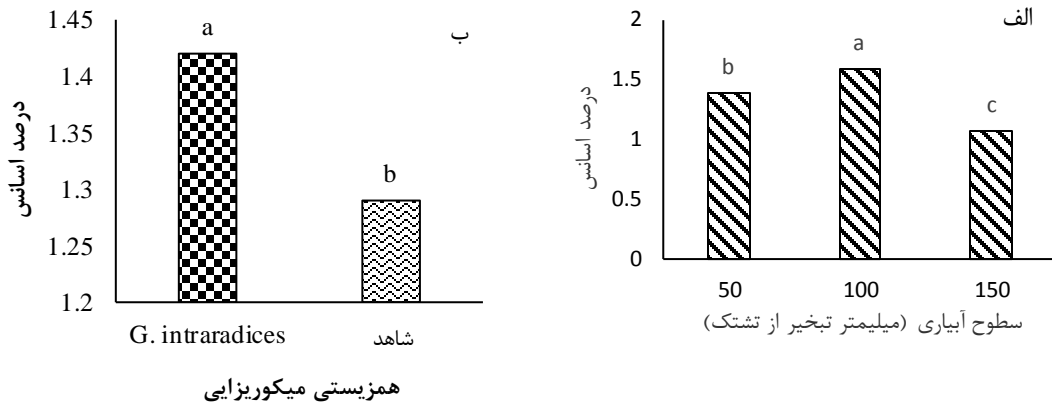


شکل ۴- اثر متقابل سطوح آبیاری و همزیستی میکوریزایی بر عملکرد دانه. حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

همچنین کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد قارچ میکوریزا) تاثیر معنی‌داری در افزایش درصد اسانس داشت (شکل ۵- ب). طبق نتایج، درصد اسانس در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا (۱/۴۲ درصد) در مقایسه با شاهد (۱/۲۹ درصد) تا ۹ درصد افزایش نشان داد (شکل ۵- ب). میزان تشکیل مواد مؤثره گیاهان تحت تأثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد. نتایج برخی از تحقیقات نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و فراهمی عناصر غذایی، موجب افزایش تولید اسانس شد. از آنجا که اسانس‌ها ترکیباتی ترپنوئیدی هستند، واحدهای سازنده آنها مانند ایزوپنتنیل پیرو فسفات و دی‌متیل آلایل پیروفسفات، به ATP و NADPH نیاز مبرمی دارند (رضوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به این موضوع که عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری اند، بنابراین قارچ‌های میکوریزا از طریق فراهمی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف (آهن، منگنز، روی و مس) سبب بهبود رشد و فتوسنتز و به تبع آن افزایش مقدار اسانس این گیاه دارویی شدند (رضائی چیاپانه و همکاران، ۱۳۹۴).

درصد اسانس

طبق نتایج آزمایش، کمترین درصد اسانس (۱/۰۷ درصد) از تیمار آبیاری در سطح ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک و بیشترین مقدار آن (۱/۵۹ درصد) در سطح آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک به دست آمد (شکل ۵- الف). به طوری کلی، تشکیل و تجمع اسانس در شرایط کم آبی افزایش می‌یابد و این افزایش اسانس را تحت شرایط تنش خشکی، به نوعی سازوکار دفاعی و سازگاری بیوشیمیایی به شرایط محیطی نسبت دادند (Petropoulos et al., 2008). اما نکته‌ای که باید ذکر شود این است که همیشه همراه با افزایش تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد، چرا که در تنش‌های بسیار شدید، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم کننده اسمزی از جمله پرولین، گلیسین-بتائین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند تا بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد. این ترکیبات برای گیاه هزینه بر است و گیاه این هزینه را با کاهش عملکرد دانه جبران می‌کند (رضائی چیاپانه و همکاران، ۱۳۹۴).

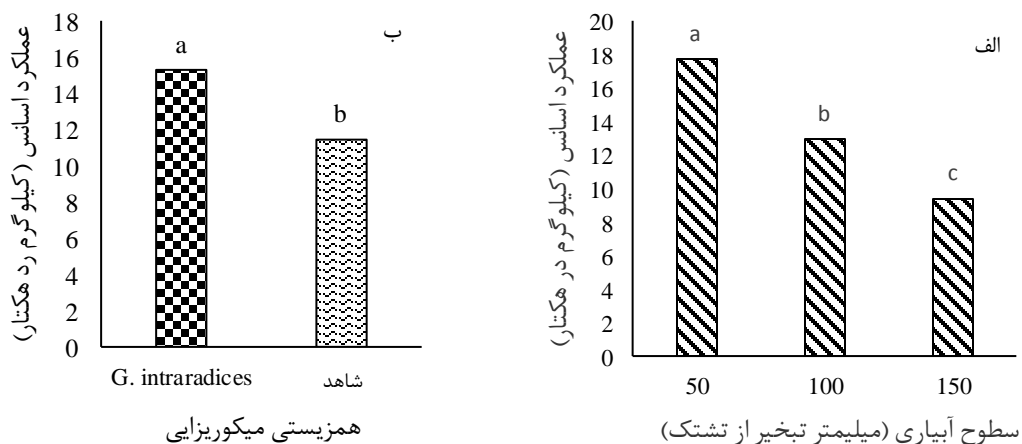


شکل ۵- مقایسه میانگین درصد اسانس تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری (الف) و همزیستی میکوریزایی (ب). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

همچنین کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) تاثیر معنی داری در افزایش عملکرد اسانس شنبلیله داشت (شکل ۶- ب). بالاترین عملکرد اسانس (۱۵/۲۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار میکوریزا حاصل شد و نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد عملکرد اسانس بیشتری داشته است (شکل ۶- ب). گزارش شده است که تلقیح با مایکوریزا، با توسعه سیستم ریشه‌ای و فراهمی عناصر غذایی به ویژه فسفر، سبب افزایش عملکرد اسانس و نیز درصد اسانس در گیاهان رازیانه و زنیان شد (شبهانگ و همکاران، ۱۳۹۲).

عملکرد اسانس

نتایج نشان داد که تاخیر در زمان آبیاری تاثیر معنی داری در کاهش عملکرد اسانس شنبلیله داشت، بطوری که بیشترین (۱۷/۷۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۹/۴۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد اسانس به ترتیب در نتیجه آبیاری در سطوح ۵۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک مشاهده شد (شکل ۶- الف). کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیانبار تنش آبی بر رشد اندام رویشی و زایشی گیاه باشد. گزارش شده تنش کم آبی عملکرد اسانس را در گیاه رازیانه کاهش داد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (میر شکاری و فرح وش، ۱۳۹۰).

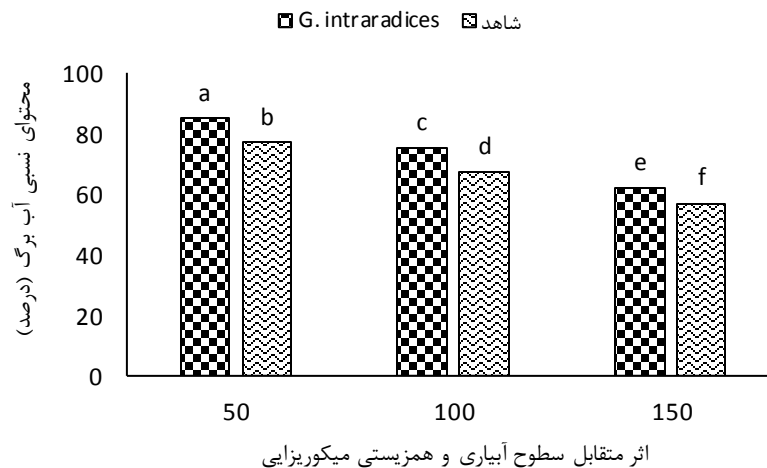


شکل ۶- مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری (الف) و همزیستی میکوریزایی (ب). حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

آب برگ و بسته شدن روزنه‌ها اولین اثر خشکی بوده که از طریق اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی، موجب کاهش میزان عملکرد می‌شود (Rahimzadeh and Pirzad, 2017). میسلیوم قارچ میکوریزا آربوسکولار در خاک نقش مهمی در تأثیر قارچ بر رابطه آبی گیاه میزبان دارد و باعث جذب آب از منافذ بسیار ریز خاک می‌شود. اوگه (۲۰۰۱) بیان کرد که میکوریزا احتمالاً از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه و طویل کردن سیستم ریشه گیاه میزبان و افزایش سطح جذب از طریق ریشه‌های قارچ، میزان آب بیشتری جذب کرده و باعث بهبود روابط آبی گیاه میزبان می‌گردد.

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در آبیاری محتوای نسبی آب برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی که کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) تأثیر معنی‌داری در افزایش محتوای نسبی آب برگ در هر یک از سطوح آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) نشان داد (شکل ۷). بطوری که در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، محتوای نسبی آب برگ در نتیجه آبیاری در سطح ۵۰ میلیمتر در مقایسه با ۱۵۰ میلیمتر تبخیر در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا تا ۳۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۷). کاهش محتوای نسبی



شکل ۷- اثر متقابل سطوح آبیاری و همزیستی میکوریزایی بر محتوای نسبی آب برگ. حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

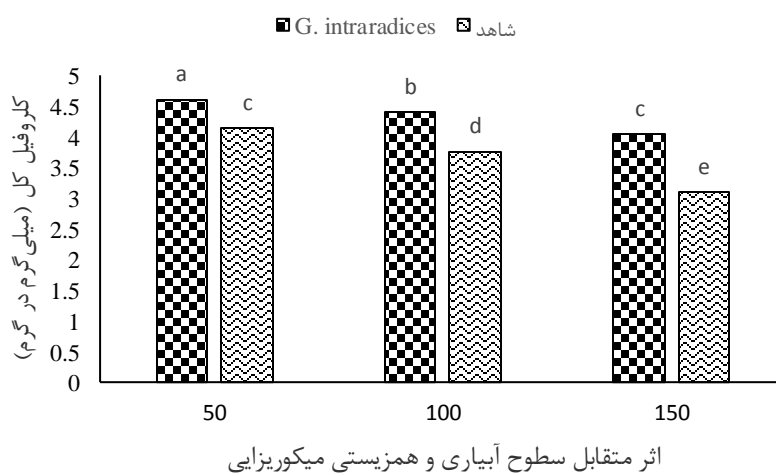
مقایسه با ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر (۲/۸۹ میلی‌گرم در گرم) در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا تا ۳۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۸). میزان کلروفیل در گیاهان زنده یکی از فاکتورهای مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی است. گزارش شده که در شرایط کم‌آبیاری میزان کلروفیل و کارتنوئیدها در گیاه کتان کاهش می‌یابد (Rahimzadeh and Pirzad, 2017). مسلماً کاهش میزان کلروفیل در شرایط کم‌آبیاری به دلیل تخریب کلروپلاست در این شرایط و کاهش ساخت رنگیزه‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد که دلیل کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش کم‌آبی، افزایش تخریب

کلروفیل کل

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در آبیاری میزان کلروفیل کل به طور معنی‌داری کاهش یافت، در حالی که کاربرد قارچ میکوریزا در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد کود زیستی) تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان کلروفیل کل در هر یک از سطوح آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) نشان داد (شکل ۸). بطوری که در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا (شاهد)، میزان کلروفیل کل در نتیجه آبیاری در سطح ۵۰ میلی‌متر (۱/۹۴ میلی‌گرم در گرم) در

فتوسنتزی در گیاه شد که این افزایش نیز خود موجب افزایش تولیدات گیاهی می‌شود. بررسی‌های دمیر (۲۰۰۴) نشان داده‌اند که قارچ‌های میکوریزی با افزایش محتوی قند، افزایش سطح هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و جیبرلین در گیاهان را به همراه دارند. افزایش میزان این هورمون‌ها به ویژه سیتوکینین با انتقال یون‌های مؤثر در تنظیم سطح کلروفیل مؤثر واقع شده است. آن‌ها تفاوت میزان کلروفیل کل بین تیمارهای مختلف را به تولید سیتوکینین‌های سنتز شده توسط قارچ‌ها نسبت دادند، زیرا که این هورمون واکنش زیادی به فسفر جذب شده دارد.

این رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و نیز، اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. با افزایش شدت تنش کم‌آبی یا کاهش پتانسیل آب خاک، روند تخریب رنگیزه‌های کلروفیل با سرعت بیشتری صورت می‌گیرد (Rahimzadeh and Pirzad, 2017). رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل و کاروتنوئید) همیشه در اتصال با پروتئین‌ها یافت می‌شود (عباسی و همکاران، ۱۳۹۰) بنابراین، می‌توان با کمک قارچ‌های میکوریزا، نیتروژن مورد نیاز رنگیزه‌های فتوسنتزی و پروتئین‌های گیاهی را تأمین نمود و باعث افزایش مقدار رنگیزه‌های

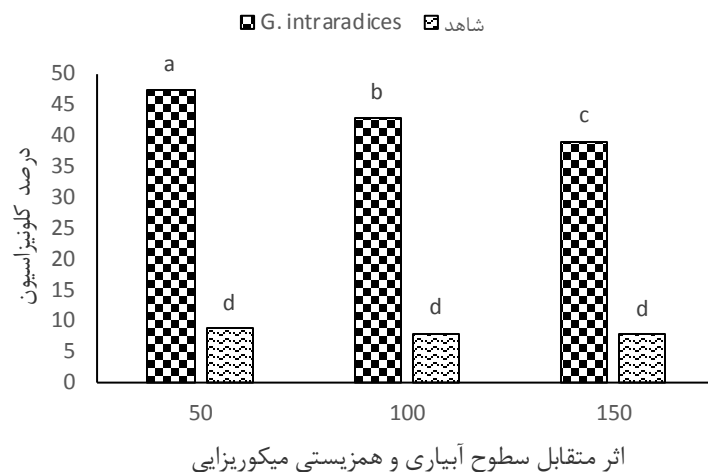


شکل ۸- اثر متقابل سطوح آبیاری و همزیستی میکوریزی بر کلروفیل کل. حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

شرایط کاربرد قارچ میکوریزا تا ۳۰ درصد کاهش یافت (شکل ۹). نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که میزان توسعه میکوریزا با کاهش میزان رطوبت خاک، کاهش می‌یابد که نشان دهنده اثر تنش آبی بر میزان همزیستی میکوریزا است. این آزمایش نشان داد که تنش آبی دارای اثر بازدارنده‌ای بر توسعه فعالیت میکوریزا است. نتایج این آزمایش با نتایج سایر آزمایش‌های انجام گرفته نیز مطابقت دارد. کاهش درصد همزیستی میکوریزی با افزایش سطوح آبیاری (میلی‌متر تبخیر از تشتک) توسط محققان گزارش شده است (Rahimzadeh and Pirzad, 2017).

درصد کلونیزاسیون

طبق نتایج بدست آمده، در هریک از سطوح آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر) کمترین میزان درصد کلونیزاسیون از تیمار شاهد و بیشترین میزان آن از تیمار کاربرد قارچ میکوریزا بدست آمد (شکل ۹). با وجود کاربرد قارچ میکوریزا از تاثیر منفی تاخیر در آبیاری بر میزان درصد کلونیزاسیون کاسته شد. بطوری که در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا (شاهد)، میزان درصد کلونیزاسیون در نتیجه آبیاری در سطح ۱۵۰ میلی‌متر (۱/۸۲ میلی‌گرم در گرم) در مقایسه با ۵۰ میلی‌متر تبخیر (۱/۲۷ میلی‌گرم در گرم) در



شکل ۹- اثر متقابل سطوح آبیاری و همزیستی میکوریزایی بر درصد کلونیزاسیون. حروف غیرمشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

بهبود رشد رویشی گیاه شد. با توجه به بهبود رشد گیاه در حضور این قارچ همزیست، کلیه خصوصیات رشدی گیاه نیز افزایش یافت که در نتیجه باعث بهبود درصد و عملکرد اسانس شنبلیله شد. علاوه بر این، افزایش حجم آبیاری به دلیل بهبود رشد رویشی و سطح فتوسنتزکننده گیاهی باعث افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود تولید ماده فتوسنتزی شد که در نهایت عملکرد دانه و اسانس شنبلیله را افزایش داد.

نتیجه گیری کلی

به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا در سطوح مختلف آبیاری (میلیمتر تبخیر از تشتک) به دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای از یک طرف باعث فراهمی رطوبت و دسترسی به عناصر غذایی قابل دسترس به ویژه فسفر و از طرف دیگر، منجر به تولید انواع هورمون‌ها و مواد بیولوژیکی محرک رشد گیاه گردید که در نهایت موجب

منابع

- اقابابائی، ف.، رئیسی، ف.، و نادیان، ح. (۱۳۹۰). اثر همزیستی میکوریزی بر جذب عناصر غذایی توسط برخی ژنوتیپ‌های تجاری رقم بادام در یک خاک لومی شنی. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵(۲)، ۱۳۷-۱۴۷.
- جلیلیان، ج.، و حیدرزاده، س. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات عملکرد دانه و اجزای آن و قابلیت نخود سیاه (*Cicer arietinum* L.) در سرکوب علف‌های هرز در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی، نشریه زراعت دیم ایران، ۶(۱)، ۶۷-۸۵.
- جلیلیان، ج. و حیدرزاده، س. (۱۳۹۴). اثر گیاهان پوششی، کودهای آلی و شیمیایی بر خصوصیات کمی و کیفی گلرنگ (*Carthamus tinctorius*)، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵(۴)، ۷۱-۸۵.
- حمزه‌ئی، ج.، و صادقی می‌آبادی، ف. (۱۳۹۳). اثر دور آبیاری و قارچ میکوریزا آربوسکولار بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم دانه‌ای، مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۴(۱۲)، ۲۱۱-۲۲۰.
- راعی، ی.، شریعتی، ج.، ویسانی، و. (۱۳۹۴). تأثیر کودهای بیولوژیک درصد روغن، عملکرد و اجزای عملکرد دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در سطوح مختلف آبیاری، نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۵(۱)، ۶۵-۸۴.
- رضائیان‌زاده، ا.، پارسا، م.، گنجعلی، ع.، و نظامی، ا. (۱۳۹۰). واکنش عملکرد و اجزای عملکرد ارقام نخود (*Cicer arietinum* L.) به آبیاری تکمیلی در مراحل مختلف فنولوژی، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵)، ۱۰۹۵-۱۰۸۰.
- رضائی چپانه، ا.، زهتاب سلماسی، س.، قاسمی گلعدانی، ک.، و دل آذر، ع. (۱۳۹۱). اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سه توده بومی رازیانه، دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۲۲(۴)، ۵۵-۷۰.
- رضائی چپانه، ا.، جلیلیان، ج.، ابراهیمیان، ا.، و سیدی، س.م. (۱۳۹۴). اثر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی زنیان در سطوح مختلف آبیاری، به زراعی کشاورزی، ۱۷(۳)، ۷۷۵-۷۸۸.
- رضوانی مقدم، پ.، امین غفوری، ا.، بخشائی، س.، و جعفری، ل. (۱۳۹۲). بررسی اثر کودهای بیولوژیک و آلی بر برخی صفات کمی و مقدار اسانس گیاه دارویی مرزه، بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۲)، ۱۰۵-۱۱۲.
- سمائی، ف.، اصغری، ش.، علی‌اصغرزاده، ن.، و ساریخانی، م. ر. (۱۳۹۴). اثر دو نوع قارچ میکوریز آربوسکولار بر برخی خصوصیات هیدرولیکی و جذب عناصر در یک خاک قلیایی زیر کشت جو بهاره در شرایط گلخانه‌ای، علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، ۶(۲۱)، ۱۶۹-۱۷۸.
- شاهنگ، ج.، خرم دل، س.، و قشم، ر. ا. (۱۳۹۲). ارزیابی تاثیر همزیستی با میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس دو گونه دارویی رازیانه و زنیان تحت تاثیر مقادیر نیتروژن، بوم‌شناسی کشاورزی، ۵(۳)، ۲۸۹-۲۹۸.
- عباسی، ع.، شفیع رحمانی، م.، و وفايي، ی. (۱۳۹۰). بیوشیمی گیاهی، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۸۶ صفحه.
- مظلومی ممیندی، م.، پیرزاد، ع.، و جلیلیان، ج. (۱۳۹۵). برهمکنش همزیستی میکوریزی و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و کیفیت علوفه و دانه گندم دیم در شرایط متغیر بارش انتهایی فصل، نشریه زراعت دیم، ۵(۲)، ۲۰۳-۲۴۶.
- میرشکاری، ب.، و فرح‌وش، ف. (۱۳۹۰). مدیریت آبیاری و کوددهی نیتروژن در گیاه دارویی رازیانه در شرایط آب و هوایی نیمه خشک تبریز، تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۴(۴)، ۵۴۱-۵۵۰.
- نورزاد، س.، احمدیان، ا.، مقدم، م.، و دانشفر، ا. (۱۳۹۳). اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و اساس گیاه دارویی گشنیز تحت تاثیر انواع کود آلی و شیمیایی، به زراعی کشاورزی، ۱۶(۲)، ۲۸۹-۳۰۲.
- Asghari, J., Zareei, B., and Barzegari, M. (2006). Effect of plant density and planting pattern on growth parameters and yield of two promising corn hybrids (*Zea mays* L.), *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20, 123-133.
- Auge, R.M. (2001). Water relation drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Mycorrhizae*, 11: 3-42.
- Boomsma, C. R. and Vyn, T. J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Field Crops Research*, 108, 14-31.
- Copetta, A., Lingua, G. and Berta, G. (2006). Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese, *Mycorrhiza*, 16, 485-494.

- Demir, S. (2004). Influence of Arbuscular mycorrhiza on some physiology growth parameters of peppers, Turkish Journal of Biology, 28, 85 – 95.
- Eiasu, B. K., Steyn, J. M. and Soundy, P. (2012). Physiomorphological response of rose-scented geranium (*Pelargonium* spp.) to irrigation frequency, South African Journal of Botany, 78, 96-103.
- Emam, Y., Maghsoudi, K. and Bahrani, H. (2012). Effect of defoliation on assimilates partitioning in maize (*Zea mays* L.) hybrid SC704, Scientific Journal of Agronomy and Plant Breeding, 1(1), 13-21.
- Evelin, H., Kapoor, R. and Giri, B. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. Annie Botticelli, 104, 1263–1280.
- Gonzalez, A., Bermejo, V. and Gimeno, B. S. (2010). Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions, The Journal of Agricultural Science, 148, 319–328.
- Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M. R., Pirzad, A. and Eini, O. (2015). Some morpho-physiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition, Journal of Plant Nutrition, 38(11), 1754-1767.
- Hajimehdipoor, H., Sadat-Ebrahimi, S. E., Amanzadeh, Y., Izaddoost, M. and Givi, E. (2010). Identification and quantitative determination of 4-hydroxyisoleucine in trigonella foenum-graecum L. from Iran, Journal of Medicinal Plants, 9 (6), 29 - 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.
- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents, Biochemical Society Transactions, 11, 591-592.
- Maghsoudi, K. and Maghsoudi Moud, A. A. (2008). Assessment of osmoregulation capability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars using response of projected pollen grains to drought stress, Iranian Journal of Crop Science, 10(1), 1-14.
- Mahmood, S., Iram, S. and Athar, H. R. (2003). Intra- specific various quantitative and qualitative attributes under differential salt region, Journal of Research in Science Teaching, 14, 177-186.
- Mandal, A., Patra, A. K. Singh, D., Swarup, A. and Ebhin Masto, R. (2007). Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages, Bioresource Technol, 98, 3585-3592.
- Mohammadi, K. H., Khalesro, S. H., Sohrabi, Y. and Heidari, G. H. (2011). A Review: Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth, Applied Environmental and Biological Sciences, 1(9), 310-319.
- Philips, J. M. and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, Transactions of the British Mycological Society, 55, 158-161.
- Petropoulos, S. A., Daferera, D., Polissiou, M. G., Passam, H. C. (2008) The effect of water deficit stress on the growth, yield and composition of essential oils of parsley, Scientia Horticulture, 115, 393-397.
- Sekhon, H. S. and Singh, G. (2007). Irrigation management in chickpea, 246 -267 pp.
- Rahimzadeh, S. and Pirzad, A. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and Pseudomonas in reduce drought stress damage in flax (*Linum usitatissimum* L.): a field study, Mycorrhiza, 16 pp.
- Tohidi-Moghaddam, H., Sani, B. and Ghooshchi, F. (2004). The effect of nitrogen fixing and phosphate solubilizing microorganism on some quantitative parameters on soybean from sustainable agricultural point of views”, Proceeding of 8th Agronomy and Plant Breeding Congress of Iran, Guilan University, Iran.

The effect of mycorrhizal symbiosis on the yield and biochemical traits of fenugreek under water deficit stress

Sina Siavash Moghadam ^{1*}, Amir Rahimi ¹, Saeid Heydarzadeh ², Samira Moradzadeh ³, Mostafa Hasanlo ³

Abstract

In order to investigate the effect of mycorrhizal fungus on the characteristics of herbaceous plant under stress conditions, a factorial experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Farm of Urmia University in 2012-2013. Irrigation at three levels; irrigation after 50 (control), 100 (medium stress) and 150 mm evaporation from class A evaporation pan (severe stress) as the first factor and association of fungi (control and *glomus intraradices*) as a second factor was considered. The results showed that with increasing irrigation levels from 50 to 150 mm (evaporation from pan), seed number per pod, 1000 seed weight and essential oil yield of Fenugreek decreased significantly. The highest percentage of essential oil was obtained from 100 mm irrigation water evaporation from the pan. Also, at each level of irrigation (50, 100, 150 mm evaporation), the maximum total chlorophyll content, relative water content of leaves, biological yield and grain yield of Fenugreek were obtained from treatment of mycorrhizal fungi.

Key words: Mycorrhizal fungus, Water deficit stress, Irrigation levels, Fenugreek

1. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran;
ss.moghaddam@urmia.ac.ir

2. Ph.D. student of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran;

3. Master Student of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran