دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان

مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی
دوره چهاردهم، شماره پنجاه، ۱۴۰۱

اثر میکوریزا و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در رژیم‌های مختلف آبیاری

خسرو طاهری حقیقی[۱]، برمک جعفری حقیقی[۲]، عبدالرضا جعفری[۲]، حمیدرضا میری[۳]، حمیدرضا ابراهیمی[۲]

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد قارچ میکوریزا و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سیاهدانه در سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان مرودشت انجام گردید. چهار سطح آبیاری (آبیاری در با ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) به عنوان کرت اصلی و کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا، کاربرد و عدم کاربرد کود پتاسیم به صورت فاکتوریل در کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری، قارچ مایکوریزا، پتاسیم و همچنین اثرات متقابل آبیاری و قارچ مایکوریزا بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد. با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا (۸۵٦ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه مربوط به آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ مایکوریزا (۱۷٤ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه شد و با تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری نداشت. در تیمار آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا برای اکثر صفات سیاهدانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین عملکرد روغن (۳۰۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد قارچ میکوریزا و کمترین مربوط به آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا (۳۵ کیلوگرم در هکتار) تولید گردید. در شرایط تنش خشکی ملایم (۷۵ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از قارچ میکوریزا جهت کاهش خسارات تنش خشکی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، تعداد فولیکول، ظرفیت زراعی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد روغن

طاهری حقیقی، خ.، ب. جعفری حقیقی، ع. جعفری، ح. میری، ح. ابراهیمی. ۱۴۰۱. کارایی قارچ میکوریزا و کود پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در رژیم‌های مختلف آبیاری. ۱٤(۵۰): ۷۲-۵۸.

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران- مسئول مکاتبات: khth87@aol.com

۲- استادیار گروه زراعت، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران.

۳- دانشیار گروه زراعت، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران.

مقدمه

سیاهدانه با نام علمی (*Nigella sativa*) دارای مواد موثره اصلی شامل تمیوکینون، دی تیموکنیون، تمیو هیدروکینون و تیمول می‌باشد (موری کاوا و همکاران، ۲۰۰٤). دانه گیاه حاوی چربی، ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین‌ها و کربوهیدارت‌ها شامل منوساکاریدها به شکل کلوگز، زیلوز، آرابینوز و رامنوز است (عمر و همکاران، ۱۹۹۹). دانه گیاه منبع غنی اسیدهای چرب ضروری و غیر اشباع می‌باشد. اصلی‌ترین اسید چرب غیر اشباع اسید لینولئیک و اسید اولیئک بوده و دانه سیاهدانه دارای فسفولیپید، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم است (رامادان و همکاران، ۲۰۰۲).

آب یکی از عوامل محدود کننده اصلی در رشد و نمو گیاهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است که گیاهان اغلب در دوره‌های کم آبی در معرض کمبود آب قرار دارند. تنش خشکی یکی از عوامل مهم تلفات محصول در سراسر جهان است که میانگین عملکرد را بیش از ۵۰ درصد کاهش می-دهد (زردک و همکاران، ۲۰۱۷).

تنش آبی یکی از مهم ترین عوامل غیرزیستی است که به شدت بر رشد گیاهان دارویی تأثیر می‌گذارد و می‌تواند بر عملکرد و ترکیب اسانس تأثیر منفی بگذارد (پتروپولوس و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات مختلف ثابت کرده است که تنش آبی باعث کاهش رشد رویشی گیاهان دارویی شده است به طوری که نتایج تحقیق آرمادا و همکاران (۲۰۱٤) نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع، سطح برگ، تعداد برگ در بوته اسطوخودوس گردید. همچنین نتایج دامالاس (۲۰۱۹) نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش ارتفاع، وزن تر و وزن خشک ریحان گردید.

مهمترین تهدید برای عملکرد خاک در سطح جهانی فرسایش خاک، کربن آلی خاک، استفاده بیش از حد از نهاده‌ها و عدم تعادل مواد مغذی است (فال و همکاران، ۲۰۲۲). کاهش حاصلخیزی خاک در جهان به دلیل شیوه‌های مدیریت ناپایدار زمین، مانند چرای بی رویه، سوزاندن، کشت مداوم محصولات زراعی و روش‌های خاک ورزی افزایش یافته است (دی وایت و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال، تلقیح با قارچ مایکوریزا آربوسکولار (AMFs) به عنوان یک رویکرد سازگار با محیط زیست برای بهبود حاصلخیزی خاک شناسایی شده است (دال کورتیو و همکاران، ۲۰۱۸).

قارچ مایکوریزا گسترده‌ترین میکروارگانیسم خاک است که با بیش از ۸۰ درصد گیاهان رابطه همزیستی ایجاد می‌کند (پراساد و همکاران، ۲۰۱۷). آنها با افزایش جذب آب و مواد مغذی مانند نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) محصول را بهبود می بخشند (اندرسون و همکاران، ۲۰۱۸). قارچ مایکوریزا وضعیت آب گیاه را در سطح کل گیاه بهبود می‌بخشد ومنجر به افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌گردد. همچنین در شرایط تنش به طور قابل توجهی قارچ مایکوریزا منجر به بهبود رشد گیاه از طریق جذب آب و مواد غذایی می گردد (فال و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج تحقیقات فال و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا منجر به افزایش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ذرت گردید و عملکرد دانه ذرت در شرایط کاربرد قارچ مایکوریزا نسبت به عدم کاربرد افزایش چشمگیری داشت. کاربرد قارچ مایکوریزا در کشت مخلوط سیاهدانه و شنبلیله منجر به افزایش عملکرد دانه، درصد روغن و عملکرد روغن گردید (رضایی چنانه و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از مهمترین اثرات منفی تنش خشکی را می توان کاهش جذب عناصر غذایی بیان نمود که منجر به کمبود عناصر غذایی در گیاهان زراعی می‌گردد. تغذیه مناسب و کافی در شرایط تنش می‌تواند گیاه را در برابر تنش تا حدودی مقاوم نماید (عابدی بابا عمری و همکاران، ۱۳۹۰).

پتاسیم به عنوان عنصر مقاومت به طور عمده در فرایندهای متعدد فیزیولوژی رشد گیاه نقش کلیدی دارد، پتاسیم همچنین نقش بزرگی در نقل و انتقال آب و مواد غذایی درون آوند آبکش دارد. وقتی میزان پتاسیم کاهش یابد جابجایی نیترات و فسفات، کلسیم، منیزیم و آمینواسیدها کاهش می‌یابد. پتاسیم در انتقال شیره‌ی پرورده در آوند آبکش، اغلب با آنزیم‌های مخصوص و هورمون‌های رشد گیاهی تداخل دارد (استریوس و همکاران، ۲۰۱٤). کاربرد پتاسیم منجر به افزایش عملکرد دانه کتان روغنی گردید و نتایج نشان داد که بیشترین ارتباط افزایش عملکرد دانه با کاربرد پتاسیم به دلیل تاثیرگذاری پتاسیم بر تعداد کسپول در بوته بوده است (وو و همکاران، ۲۰۲۳).

با توجه به نقش تغذیه گیاهی از طریق کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط تنش رطوبتی، هدف از این تحقیق ارزیابی کاربرد قارچ میکوریزا و پتاسیم در رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۹– ۱۳۹۸ در شهرستان مرودشت در زمین‌های کشاورزی فتح آباد انجام گرفت. مرودشت با

وسعت ٤٦٤٩ کیلومترمربع، ۳/۸ ٪ کل مساحت استان فارس را به خود اختصاص داده است. مختصات جغرافیای محل انجام آزمایش ۵۲ درجه و ٤٨ دقیقه طول جغرافیایی و ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۱۵۹۵ متری از سطح دریا می-باشد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل چهار سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و کرت فرعی شامل کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا و کاربرد و عدم کاربرد پتاسیم به صورت فاکتوریل بود. در هر تکرار ١٦ کرت در نظر گرفته شد.

قبل از کشت از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام شد و جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج آزمون خاک در جدول ذیل ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات خاک محل آزمایش

عمق خاک	pH	هدایت الکتریکی	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	بافت خاک
سانتی‌متر		دیسی زیمنس بر متر	درصد		پی پی ام		
۳۰-۰	۸/۰٦	۱/۱۷	۰/۰۷٦	۰/۰۵	۱۵/۵	۱۷٦	لومی- رس

عملیات شخم توسط گاوآهن برگرداندار انجام و سپس توسط دو دیسک عمود برهم کلوخه‌های حاصل از شخم خرد گردیدند. جهت تسطیح زمین از لولر استفاده گردید. پس از آماده‌سازی زمین، توسط فاروئر پشته‌های به فاصله ۵۰ سانتی‌متر در زمین احداث گردید. کاشت در اسفندماه (نیمه دوم اسفندماه) و روی هر پشته دو خط کشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر انجام گردید. جهت کشت بر روی پشته شیار ایجاد و بذرها درون شیار با خاک سبک پوشیده شدند. فاصله بین کرت‌های اصلی یک متر و کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی‌متر بود. هر کرت فرعی شامل ۸ خط کشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول ٤ متر بود. تراکم کاشت ۲۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کشت با خاک مخلوط گردید. جهت تامین نیتروژن نیز ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره استفاده گردید که یک سوم به صورت قبل از کاشت و مابقی در دو نوبت در مرحله رویشی مصرف گردید. بذر سیاهدانه از شرکت پاکان بذر تهیه گردید.

آبیاری به صورت نشتی و در جویچه‌ها انجام شد و در آبیای اول (خاک آب) میزان ورود آب بسیار کم در نظر گرفته شد تا آب به صورت نشتی نفوذ نماید و جوانه‌زنی مطلوب حاصل گردد. تنش‌های مربوط به آبیاری بعد ازاستقرار بوته‌های سیاهدانه انجام شد. جهت تعیین زمان آبیاری بر اساس تیمارها، نمونه برداری توسط آوگر از خاک انجام و بر اساس رطوبت وزنی خاک ظرفیت زراعی محاسبه و تیمارها اعمال گردید. قابل ذکر است منبع آب آبیاری از دو منبع آب چاه و آب کانال از سد درودزن بود.

قارچ میکوریزا سویه گلوموس موسه آ (*Glomus mosseae*) با نام جدید (*Funneliformis mosseae*) استفاده گردید و قبل از کشت بذرهای سیاهدانه با آن تلقیح و سپس کشت انجام شد. کاربرد پتاسیم به صورت محلول‌پاشی بود که از سولوپتاس استفاده گرددید و به صورت محلول‌پاشی در دو مرحله ۸-٦ برگی (۲۵ روز پس از کاشت) و مرحله زایشی (گلدهی-۵۵ روز پس از کاشت) انجام شد. میزان مصرف سولوپتاس در هر مرحله، ۳ کیلو در هکتار بود.

در زمان رسیدگی سیاهدانه (آواخر خردادماه)، از یک مترمربع هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای برداشت انجام شد و صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد روغن و عملکرد روغن سیاهدانه اندازه-گیری گردید. برای صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی و تعداد فولیکول، ۱۰ بوته به صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری انجام و میانگین آن در نظر گرفته شد.

درصد روغن سیاهدانه از روش سوکسله انجام شد. ۱۰ گرم بذر سیاهدانه از هر کرت انتخاب شد. پس از آسیاب داخل کارتوش دستگاه سوکسله قرار داده شد و عمل روغن‌گیری توسط ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال پترولیوم اتر در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بعد از انجام

نمونه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در آون ٥٠ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار SAS (نسخه٩/٤) و مقایسات میانگین‌ها براساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده تیمارهای مختلف آبیاری، قارچ میکوریزا و پتاسیم برای تمامی صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع گیاه، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک درصد روغن و عملکرد روغن معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری* در قارچ میکوریزا برای تمامی صفات، به جز درصد روغن معنی‌دار بود (جدول ٢).

جدول٢- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در سطوح مختلف آبیاری، میکوریزا و پتاسیم

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد شاخه جانبی	تعداد فولیکول	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	٢	٢/٢١^{ns}	١٧/٢٩^{ns}	١/٨٣^{ns}	٢١٦٦٥/٦٠**	١١٨٤٤١/٠٥*	١٤/٧٢*	٩٩٠/٠٩^{ns}
آبیاری	٣	١٥٧٦/٦٠**	٧١١/٧٥**	٣٣٣/٨٥**	١٢٤٢١٥٣/٣٠**	٦٩٦٤٤٦٣/٧٦**	٥٢٩/٢١**	١٩٠٥٧١/٥٩**
خطای کرت اصلی	٦	٢١/٦٨	٨/٣٦	٢/٦٥	١١٥٧٩/٥٩	٧٥٣٤٠/٠٠	٤٨/٠٠	٤٠٩١/٦٤
قارچ میکوریزا	١	٢٦٩/٩٩**	١٧٨/٨٧**	٥٥/١٤**	٨٢١٣٥/٩٩**	١٤٣٩٠٨٠/٨٢**	٥٤/٧٢**	١٣٥٢١/٦٦**
پتاسیم	١	١١٩/٨٩**	٢٩/٥١*	١٠/٢٩*	٢٣٩١٣/٦٥*	٢٥٩٨٥٩/٥٣**	٣٨/٦٤**	٥٢٦٣/٦٨**
آبیاری*قارچ	٣	٣٠/٤٩*	٣٥/٥١**	٨/٨٤**	١٤٧٨٦/٦٢*	٩٠٢٤٣/٢٨*	٣/٤٢^{ns}	٢٠٠٥/٥٥*
آبیاری*پتاسیم	٣	١١/٨١^{ns}	٧/٨٦^{ns}	٠/٩٧^{ns}	٢٠٨/٣٦^{ns}	١١٠٣٣/٦٠^{ns}	٢/٤٠^{ns}	٢١٧/٠٩^{ns}
پتاسیم*قارچ	١	١٣/١٠^{ns}	٦/٦٦^{ns}	١/١٨^{ns}	٢٧٨/٥٠^{ns}	٨١٧٣/٢٢^{ns}	٠/٠٠٦^{ns}	٩٧/٠٤^{ns}
آبیاری*قارچ* پتاسیم	٣	١١/٠٤^{ns}	٠/٩٦^{ns}	٢/١١^{ns}	٩٤٤/٤٠^{ns}	٣١٤٩/٣٨^{ns}	١/٩٩^{ns}	١٨٣/٥٢^{ns}
خطا	٢٤	١٠/٦١	٥/٩٥	١/٩٧	٣٩١٢/١٢	٢٩٠٤٩/١٧	٣/٢٩	٥٤٨/٥٢
ضریب تغییرات (درصد)		١٠/٠٧	١٢/٨٦	١٠/٥٩	١٢/٢٧	١٠/١٧	٦/٢٨	١٤/٣٢

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم سطح معنی‌داری، سطح معنی‌داری پنج و یک درصد می‌باشد

مقایسه میانگین اثر ساده قارچ میکوریزا نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا باعث بهبود صفات اندازه‌گیری شده در مقایسه با شرایط عدم کاربرد گردید. ارتفاع بوته سیاهدانه در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا معادل ٢٩/٩٥ سانتی‌متر بود که به ٣٤/٧٠ سانتی‌متر در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت (جدول ٣). ا ارتفاع بوته سیاهدانه در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا تقریبا ١٤ درصد افزایش نشان داد. تعداد شاخه جانبی و تعداد فولیکول در بوته در شرایط عدم کاربرد میکوریزا به ترتیب ١٧/٠٣ و ١٢/١٨ عدد در بوته بود که به ٢٠/٩٠ و ١٤/٣٣ عدد در شرایط کاربرد میکوریزا افزایش یافت. عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا ٤٦٨ و ١٥٠٢کیلوگرم در هکتار بود که در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه به‌ترتیب به ٥٥٠ و ١٨٤٨ کیلوگرم در هکتار رسید. درصد روغن و عملکرد روغن سیاهدانه در شرایط عدم کاربرد میکوریزا به‌ترتیب ٢٧/٧٨ درصد و ١٤٦/٧٣ کیلوگرم در هکتار بود که به ٢٩/٩٢ درصد و ١٨٠/٣٠ کیلوگرم در هکتار در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا افزایش یافت.

نتایج نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا احتمالا با همزیستی ریشه می‌تواند در جذب آب و مواد غذایی نقش اساسی داشته و از طرف دیگر با توجه به فراهم نمودن محیط مناسب رشد، بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه تاثیر گذار باشد.

از دلایل عمده تاثیر میکوریزا بر رشد رویشی گیاهان می توان به مکانیسم جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک عنوان نمود (عبدالحافظ و عبدالمونسیف، ٢٠٠٦). از آثار مثبت قارچ میکوریزا می‌توان به بهبود و حفظ ساختار خاک، جذب نسبی عناصر غیر متحرک پر مصرف به مانند فسفر و کم مصرف به مانند روی، کاهش سمیت عناصر مانندآلومینیوم و

منگنز و برهمکنش مفید با میکروارگانیسم‌های خاک و نیز کاهش اثرات نامطلوب پاتوژن‌ها اشاره نمود (کاردوسو و کوپر، ۲۰۰۶). از تحقیقات مشابه در این خصوص، می‌توان به نتایج تحقیق خرم دل و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر تاثیر مثبت و بهبود سرعت رشد محصول و افزایش ماده خشک گیاه سیاهدانه در اثر کاربرد قارچ میکوریزا اشاره نمود. نتایج رضوانی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان داد در تیمارهای که قارچ میکوریزا به کار برده شده بودند، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد فولیکول و تعداد دانه در فولیکول افزایش یافت.

مقایسه میانگین مربوط به تیمارهای پتاسیم نشان داد که کاربرد پتاسیم منجر به افزایش صفات سیاهدانه گردید (جدول ۳). در شرایط کاربرد پتاسیم ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک،درصد روغن و عملکرد روغن نسبت به عدم کاربرد پتاسیم به ترتیب ۹/۳۲، ۷/۹٤، ٦/۷۱، ۸/۳۹، ۸/٤۱، ٦/۰۵، ۱۲/۰۳ افزایش یافت (جدول۳).

کابرد پتاسیم می‌تواند بر فعالیت فتوسنتز و همچنین میزان مقاومت به تنش‌های خشکی را افزایش و در نتیجه می‌تواند بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه تاثیر گذار باشد. نتایج نشان داد که کاربرد پتاسیم که به عنوان عنصر مقاومت در شرایط تنش خشکی نیز شناخته می‌شود، می‌تواند بر میزان مقاومت به تنش-های محیطی به ویژه تنش آبی تاثیرگذار باشد و از این رو با توجه به کارکرد پتاسیم در گیاه بر هدایت روزنه‌ای و باز و بسته بودن روزنه‌ها منجر به کاهش تعرق و افزایش کارایی فتوسنتز شده است. پتاسیم به عنوان مهمترین و فراوان ترین کاتیون در گیاهان شناخته می‌شود و در تنظیم فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) کاهش آسیب انواع اکسیژن فعال ناشی از تنش به غشای پلاسمایی، حفظ یکپارچگی غشای سلولی و حفظ فعالیت آنزیم در سلول نقش اساسی دارد (رازا و همکاران، ۲۰۱۳). کاربرد پتاسیم منجر به افزایش ارتفاع گیاه، عملکرد دانه و وزن صد دانه نسبت به تیمار شاهد گردید (موکونا، ۲۰۱۳). همچنین کاربرد کود پتاسیم منجر به افزایش عملکرد گیاه سویا نسبت به عدم کاربرد گردید (پاروج و همکاران، ۲۰۱٦).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای قارچ میکوریزا و پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

قارچ میکوریزا	ارتفاع بوته	تعداد شاخه جانبی	تعداد فولیکول	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن	عملکرد روغن
	سانتی متر			کیلوگرم در هکتار	کیلوگرم در هکتار	درصد	کیلوگرم در هکتار
کاربرد میکوریزا	۳٤/۷۰a	۲۰/۹۰a	۱٤/۳۳۲a	۵۵۰/۹۳a	۱۸٤۸/۹۵a	۲۹/۹۲a	۱۸۰/۳۰a
بدون میکوریزا	۲۹/۹۵b	۱۷/۰۳b	۱۲/۱۸b	٤٦۸/۲۰b	۱۵۰۲/٦۵b	۲۷/۷۸b	۱٤٦/۷۳b
کاربرد پتاسیم	۳۳/۹۰a	۱۹/۷۵a	۱۳/۷۱a	۵۳۱/۸۹a	۱۷٤۹/۳۸a	۲۹/۷۵a	۱۷۳/۹۹a
بدون پتاسیم	۳۰/۷٤b	۱۸/۱۸b	۱۲/۷۹b	٤۸۷/۲۵b	۱٦۰۲/۲۳b	۲۷/۹۵b	۱۵۳/۰۵b

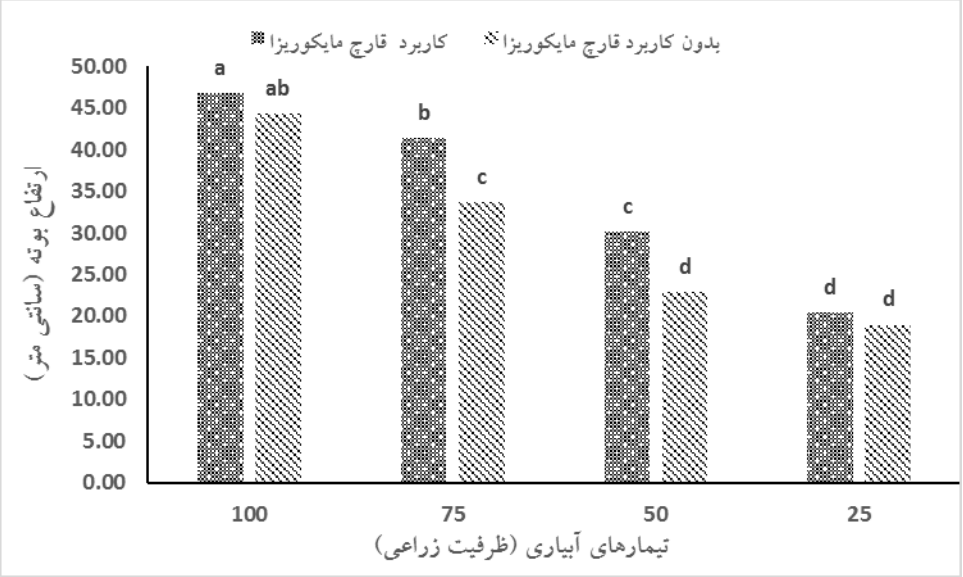
در هر ستون حروف غیر مشابه نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری در قارچ میکوریزا نشان داد که با افزایش تنش خشکی (کاهش درصد ظرفیت زراعی) ارتفاع بوته سیاهدانه در دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا کاهش یافت. در شرایط آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا کمترین ارتفاع با ۱۸/۹٦ سانتی‌متر به دست آمد (شکل ۱). نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، گیاه دارای بیشترین ارتفاع با ٤٦/۷٤ سانتی‌متر بود. در شرایط آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا گردید، به طوری که در این تیمار در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا ارتفاع بوته سیاهدانه ٤۱ سانتی‌متر و در عدم کاربرد قارچ میکوریزا ارتفاع بوته ۳۳/٦۷ سانتی‌متر بود. به نظر می‌رسد در تنش های شدید به مانند آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کاربرد قارچ میکوریزا کمتر بر ارتفاع سیاهدانه تاثیر می‌گذارد. در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط تنش رطوبتی با ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته سیاهدانه نسبت به آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا سه سانتی‌متر اختلاف داشت، که این ۳ سانتی‌متر از لحاظ آماری اختلاف نداشت. در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در شرایط آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی

شرایط بیش از حد تنش میزان فعالیت گیاه را شدیداً کاهش و از اینرو در این تیمار کارایی قارچ میکوریزا تحت تاثیر قرار گیرد. آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا ارتفاع سیاهدانه ۲۰ درصد افزایش و در آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی درصد افزایش ارتفاع در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد ۲۷ درصد بود.

کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی شاید به دلیل کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش جذب آب و محتوای آب بافت باشد که منجر به عدم رشد طولی مناسب سلول و گیاه شده و همچنین در شرایط تنش آبی، عناصر غذایی لازم و فتوسنتز کافی برای تقسیم سلولی انجام نمی گردد (بقالیان و همکاران، ۲۰۱۱.). زمانی که خاک تحت تنش رطوبتی است، میزان تحرک فسفر در خاک نیز کمتر خواهد بود، قارچ‌های میکوریزا قادرند با استفاده از گسترش ریسه‌های خود و تغییر در مورفولوژی ریشه گیاهان، میزان جذب و انتقال مواد غذایی به سمت ریشه را افزایش دهند (خامیس و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط قارچ میکوریزا باعث می‌گردد که فسفات غیر محلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول و در نتیجه، قابل جذب برای ریشه گیاه گردد (سانگ، ۲۰۰۵). همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه از طریق جذب بیشتر عناصر غذایی و تولید فرآورده بیشتر منجر به افزایش ارتفاع گردید (خالواتی و همکاران، ۲۰۰۵).

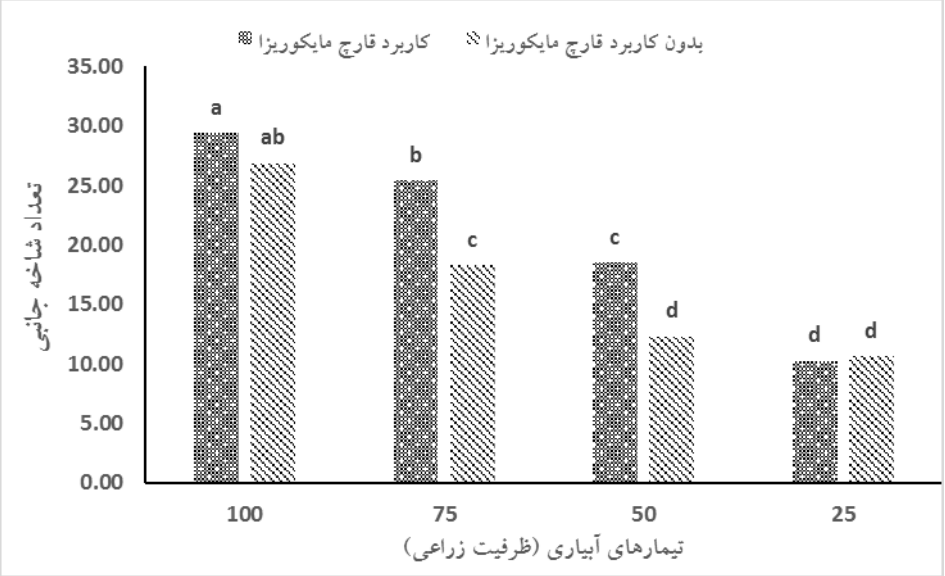


شکل۱- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر ارتفاع بوته سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد).

تعداد شاخه جانبی سیاهدانه

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در قارچ میکوریزا نشان داد، در شرایط آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا کمترین تعداد شاخه جانبی سیاهدانه مشاهده گردید و با تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). با افزایش تنش خشکی تعداد شاخه جانبی سیاهدانه کاهش یافت و در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا بیشترین مقدار با ۲۹/۴۲ عدد مشاهده گردید (شکل ۲). نتایج نشان داد که در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا با تیمار آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). نکته قابل توجه کاهش بیشتر تعداد شاخه جانبی در آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط بدون کاربرد قارچ میکوریزا بود که در این تیمار تعداد شاخه جانبی به ۱۸/۳۳ عدد و در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا به ۲۵ عدد رسید. در تیمار آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری وجود داشت. نتایج نشان داد که در شرایط تنش شدید و در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کارایی قارچ میکوریزا کاهش

یافت و در واقع اثری بر تعداد شاخه جانبی نداشت. تعداد شاخه جانبی در تیمار آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شریط کاربرد قارچ میکوریزا با تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری نداشت. درشرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا درصد افزایش تعداد شاخه جانبی در سه سطح آبیاری در۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۸، ۱۷/۵، ۳۳ درصد بود. (شکل ۲). محدودیت در رشد شاخساره به احتمال زیاد به دلیل تخصیص مجدد کربوهیدرات به نفع رشد ریشه یا کاهش بازده فتوسنتز می توان باشد (اسرایل و همکاران، ۲۰۲۲). باروس و همکاران (۲۰۰۵) نتیجه گرفتند که تنش رطوبتی با کاهش طول دوره رشد گیاه و همچنین تسریع در ورود به فاز زایشی، مانع رشد جوانه‌های جانبی شده و تعداد شاخه‌های جانبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

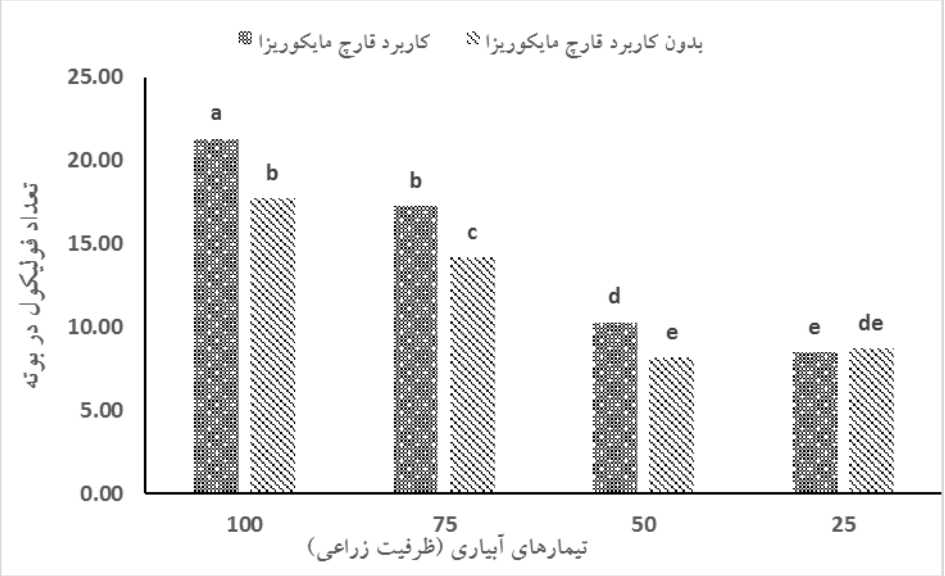


شکل۲- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر تعداد شاخه جانبی سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد).

تعداد فولیکول در بوته

تعداد فولیکول در بوته نشان داد که بیشترین تعداد معادل ۲۱ عدد در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۳). بعد از این تیمار بیشترین تعداد فولیکول در بوته مربوط به دو تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا و در تیمار آبیاری در۷۵ درصد ظرفیت زراعی با کاربرد قارچ میکوریزا بود به طوری که تعداد فولیکول در بوته به ترتیب ۱۷/۷۲ و ۱۷/۲۷ عدد بود. با افزایش تنش خشکی و در شرایط آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تعداد فولیکول در بوته به شدت کاهش یافت (شکل ۳). با افزایش تنش خشکی و با بسته شدن روزنه‌ها میزان فعالیت گیاه کاهش و در نتیجه میزان فتوسنتز و تولید ماده خشک تولیدی کاهش خواهد یافت. انتظار بر این است که در شرایط تنش خشکی و در تیمار آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی میزان فتوسنتز بسیار کاهش و در نتیجه در مراحل زایشی بر تعداد فولیکول در بوته نیز تاثیرگذار باشد. از لحاظ مقایسه میانگین تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین تعداد فولیکول در تیمار آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا با تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا در یک گروه قرار گرفتند. درصد افزایش فولیکول در بوته در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا در سه سطح آبیاری در ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب معادل ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد بود. نتایج تحقیقات قمرنیا و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که تعداد فولیکول سیاهدانه تحت تاثیر سطوح آبیاری قرار گرفت و بیشترین تعداد فولیکول در شرایط آبیاری کامل (۲۴ عدد) و در شرایط آبیاری با ۵۰ درصد (۱۷ عدد در بوته) دست آمد. همچنین نتایج تحقیق حیدری و جهان تیغی (۱۳۹۱) نشان داد که در شرایط آبیاری کامل در تمام دوره رشد سیاهدانه تعداد

فولیکول بوته ۳۷ عدد و در تیمار تنش در مرحله گلدهی به ۱۸عدد رسید. نتایج تحقیق رضایی چنانه و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش تعداد فولیکول در گیاه سیاهدانه گردید، به طوری که در شرایط کابرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد اختلاف معنی داری وجود داشت.



شکل۳- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر تعداد فولیکول در بوته سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می باشد).

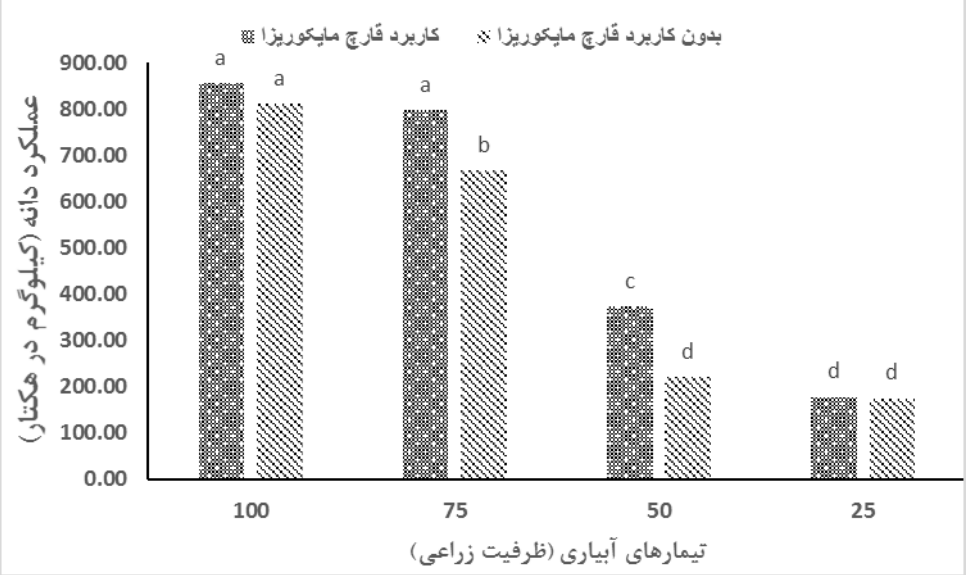
عملکرد دانه سیاهدانه

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری در قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ٨٥٦ کیلوگرم در هکتار مربوط به آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا بود که نسبت به تیمار عدم کاربرد قارچ میکوریزا تقریبا ٤٥ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش عملکرد دانه سیاهدانه گردید و از لحاظ آماری بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا در تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ٤). در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی وکاربرد قارچ میکوریزا، عملکرد دانه ۷۹٦ کیلوگرم در هکتار بود که با تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ٤). در شرایط آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری برای عملکرد دانه سیاهدانه مشاهده نشد و در یک گروه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد دانه در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا بسیار مشهود بود، به طوری که عملکرد دانه در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا ۲۱۱ کیلوگرم در هکتار و با کاربرد قارچ میکوریزا به ۳۷۳ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ٤). در تیمار آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در دو شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد دانه سیاهدانه ۱۷۷ و ۱۷٤ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ٤). نتایج نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا تا سطح آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت زراعی توانسته است از میزان خسارت شدید عملکرد دانه جلوگیری نماید و در شرایط تنش بسیار شدید قارچ میکوریزا در کاهش عملکرد دانه موثر نبوده است. در چهار تیمار آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۵، ١٤ و ۳۹، ۱/۵ درصد افزایش عملکرد دانه مشاهده گردید.

میکوریزا می‌تواند در روابط آبی گیاه و بهبود تنش آبی تغییراتی را ایجاد نماید و منجر به افزایش هدایت الکتریکی آب در ریشه گیاه گردد و از طرف دیگر با افزایش طول موثر ریشه می‌تواند سهم بسیاری در افزایش جذب عناصر غذایی در خاک داشته باشد (محمدی و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج تحقیق نظری ناسی و همکاران (۱۳۹۷) نشان داد که در شرایط تنش کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش عملکرد دانه کدوی پوست

کاغذی گردید، به طوری که در شرایط تیمار شاهد و در شرایط تنش متوسط و شدید میزان عملکرد به ترتیب ۵۹۵ و ۴۹۲ کیلوگرم در هکتار و در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد دانه به ترتیب به ۷۰۰ و ۵۷۳ کیلوگرم در هکتار رسید.

کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش عملکرد دانه گیاه زنیان گردید، به طوری که در شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی، عملکرد دانه در تیمار آبیاری تبخیر ۱۵۰ میلی‌لیتر از تشتک تبخیر ٦٦٧ کیلوگرم در هکتار و در تیمار آبیاری تبخیر ۵۰ میلی‌لیتر ٤۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، که درصد کاهش این دو تیمار معادل ٤۰ درصد به دست آمد. در حالی که در شرایط کاربرد تلفیقی قارچ میکوریزا و کودهای زیستی در تیمار آبیاری تبخیر ۱۵۰ میلی‌متر عملکرد دانه ٦٤٩ کیلوگرم در هکتار و در تیمار تبخیر ۵۰ میلی‌لیتر ۷۸۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، که درصد کاهش ۱۷ درصد بود (رضایی چیانه و همکاران، ۱۳۹٤). نتایج تحقیق پرآور و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط تنش‌های رطوبتی، عملکرد دانه گیاه بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* L) نسبت به عدم کاربرد قارچ اختلاف معنی‌داری را نشان داد. به طوری که در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، عملکرد دانه در تیمار آبیاری با تخلیه ٦۰ درصد آب خاک بیش از ۱٤۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط عدم کاربرد قارچ کمتر از ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

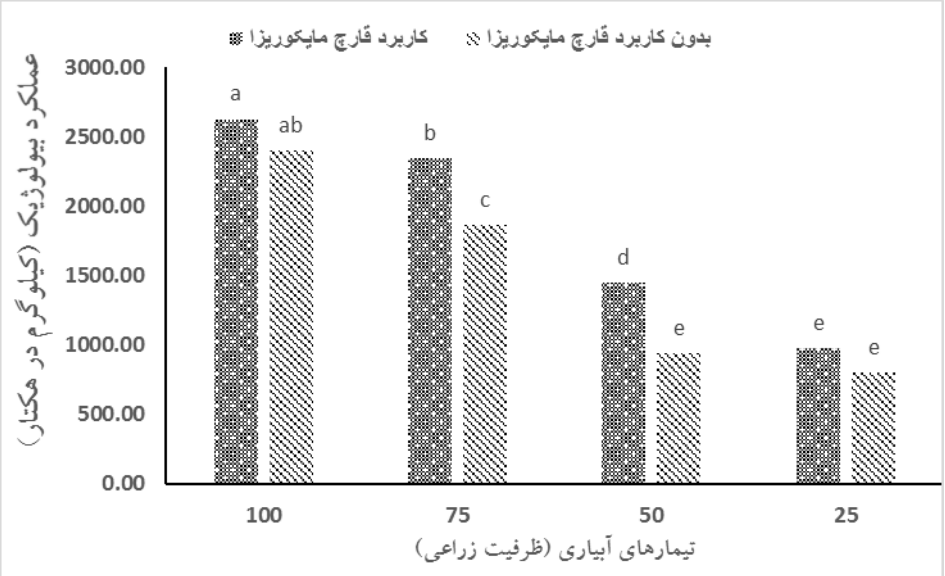


شکل٤- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد).

عملکرد بیولوژیک

عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۵). در تیمار آبیاری در۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا بیشترین عملکرد بیولوژیک با ٢٦٢٦ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا میزان عملکرد بیولوژیک کاهش یافت و به ٢٤۰٣ کیلوگرم در هکتار رسید. نتایج نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری، کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک سیاهدانه گردید. در شرایط آبیاری ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد عدم قارچ میکوریزا، میزان عملکرد بیولوژیک سیاهدانه ۱۸٦٤ کیلوگرم در هکتار بود که با کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد بیولوژیک به ٢٣٤٦ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. همچنین در آبیاری ۵۰ درصد ظرفیت در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد بیولوژیک سیاهدانه ۹٤۱ کیلوگرم در هکتار بود، که با کاربرد قارچ میکوریزا به ۱٤۵۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. کاربرد قارچ میکوریزا در تیمارهای مختلف آبیاری ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب منجر به افزایش ۸/۵، ۲۰، ۳۵ و ۱٤ درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا گردید.

مهمترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره تنش را می‌توان به اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن دانست. رشد و نمو یک گیاه به تقسیم سلولی، رشد و تمایز سلولها وابسته است. رشد سلولی یکی از حساس‌ترین واکنش‌های گیاهی در برابر تنش خشکی می‌باشد. نتیجه کاهش اندازه سلول در رابطه با الگوی رشد گیاه به زمان وقوع کمبود آب از نظر فنولوژی گیاه بستگی دارد. اگر تنش آبی در ابتدای چرخه رشد گیاه اتفاق افتد، سطح برگ کاهش یافته و در نتیجه تثبیت کربن در فصل رشد کاهش خواهد یافت. دیگر اثرات ثانویه حاصل از کاهش سطح برگ، شامل تغییر در الگوی مصرف آب و نیتروژن می‌باشد (میری، ١٣٨٨). نتایج زردک و همکاران (٢٠١٧) نشان داد که در شرایط تنش خشکی و کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا ماده خشک رازیانه افزایش داشت و دلیل افزایش را سیستم ریشه قوی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا بیان کردند. نتایج علی پور و همکاران (٢٠٢١) نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه رازیانه گردید.



شکل٥- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد بیولوژیک سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد می باشد).

عملکرد روغن

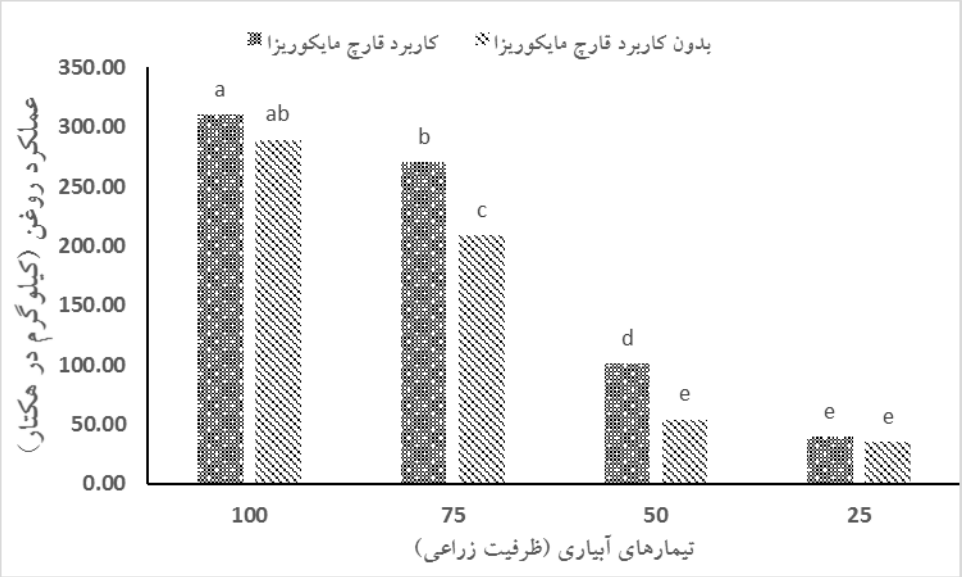
بیشترین عملکرد روغن در تیمار ١٠٠ درصد آبیاری ظرفیت زراعی در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا به میزان ٣٠٩ کیلوگرم در هکتار بود. بعد از این تیمار بیشترین عملکرد روغن مربوط به آبیاری در ١٠٠ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ میکوریزا ٢٨٩ کیلوگرم در هکتار بود. در تیمار آبیاری با ٧٥ درصد ظرفیت زراعی بین دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، به طوری که در این سطح آبیاری کاربرد قارچ میکوریزا بیش از ٦٠ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد روغن تاثیرگذار بود (شکل ٦). در شرایط آبیاری در ٥٠ درصد ظرفیت زراعی در شرایط عدم کاربرد قارچ عملکرد روغن ٥٣ کیلوگرم در هکتار بود که با کاربرد قارچ میکوریزا به ١٠١ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. در شرایط آبیاری در ٢٥ درصد ظرفیت زراعی بین کاربرد و عدم کاربرد قارچ میکوریزا اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در یک گروه قرار گرفتند (شکل ٦). در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا عملکرد روغن سیاهدانه در چهار سطح آبیاری ١٠٠، ٧٥ ، ٥٠ و ٢٥ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ٦/٥، ٢٣، ٤٧ و ١١ درصد افزایش نشان داد (شکل ٤-٩).

کاهش درصد روغن در اثر تنش خشکی می‌تواند به علت اختلال در فرآیندهای متابولیکی بذر و آسیب به انتقال شیره پرورده به سمت دانه باشد (محسن نیا و جلیلیان، ١٣٩١). همچنین تنش خشکی منجر به تسریع در زمان رسیدگی گیاه شده و در نتیجه فرصت کافی برای سنتز روغن از پروتئین ذخیره شده را

نداده و منجر به کاهش عملکرد روغن می‌گردد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۷).

نتایج تحقیق نبی‌پور و همکاران (۲۰۰۷) نیز نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی عملکرد روغن گلرنگ کاهش یافت. به طوری که درشرایط آبیاری کامل عملکرد روغن گلرنگ ۷۰۰ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش رطوبتی و قطع آبیاری در مرحله بلوغ رسیدگی (بلوغ) عملکرد روغن به کمتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار رسید.

نتایج تحقیق علی پور و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که کاربرد قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* در تنش کم‌آبی پس از کاهش ۹۰ درصد رطوبت خاک باعث افزایش معنی‌دار آماری ۵۰ درصدی در عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد در توده‌های رازیانه (توده شهر زرقان و کودیان) شد.



شکل۶- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آبیاری و قارچ میکوریزا بر عملکرد روغن سیاهدانه (حروف غیرمشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می باشد).

نتیجه گیری

بر اساس نتایج تحقیق حاضر گیاه دارویی سیاهدانه نسب به سطوح مختلف تنش خشکی واکنش متفاوتی را نشان داد. با افزایش تنش خشکی و آبیاری در ۲۵ درصد ظرفیت زراعی کمترین عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه مشاهده گردید. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا و پتاسیم (اثرات ساده تیمارها) نسبت به عدم کاربرد اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در شرایط آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، کاربرد قارچ میکوریزا می‌تواند خسارت ناشی از تنش خشکی را جبران نموده و عملکرد گیاه را تا سطح آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی افزایش دهد. همچنین، نتایج گواه این بود که با آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه دارای کاهش شدیدی بود، اما در آبیاری در ۵۰ درصد ظرفیت زراعی کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا منجر به افزایش صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه گردید. بنابراین در این سطح تنش نیز کارایی قارچ میکوریزا مشهود بود. در شرایط تنش خشکی و در شرایط آبیاری در ۷۵ درصد ظرفیت زراعی کاربرد قارچ میکوریزا توانست تا حدودی اثرات تنش خشکی را جبران نمود.

منابع

حیدری،م. و ح. جهان تیغی. ۱۳۹۱. تاثیر تنش خشکی و مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد اسانس و میزان تیموکینون گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). تنش های محیطی در علوم زراعی. دوره ۵، شماره ۱، ۴۰-۳۳

رضائی چیانه، ا.، ج. جلیلیان، ؛ ا. ابراهیمیان. و س.م. سیدی. ١٣٩٤. اثر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی زنیان در سطوح مختلف آبیاری. مجله به زراعی. دوره ١٧. شماره ٣. ٧٨٨ -٧٧٥

رضوانی مقدم، پ.، سیدی، س. م. و آزاد، م. ١٣٩٥. بررسی مدیریت کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه (*Nigella sativa* L). نشریه بوم شناسی. دوره ٨، شماره ٤، ٦١١-٥٩٨.

عابدی باباعربی، س.، م. موحدی دهنوی.، ع. ر. یدوی . و ا. ادهمی. ١٣٩٠. متأثیر محلول پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ. تولید گیاهان زراعی.دوره ٤. ١، ٩٥-٧٥

محسن نیا، ا. و ج. جلیلیان.١٣٩١. اثر تنش خشکی و منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). بوم شناسی کشاورزی. دوره ٤، شماره ٣. ٢٤٥-٢٣٥

مرادی، ر.، ن. پورقاسمیان.، م. نقی زاده.١٣٩٧. تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری و منابع تغذیه‌ای بر خصوصیات کمی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)در شرایط آب و هوایی بردسیر. تنش¬های محیطی در علوم زراعی. دوره ١١، شماره ١ ،٤٦-٣٥

میری، ح. ر. ١٣٨٨ .فیزیولوژی و عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی.انتشارات نوید شیراز. ١٧٤ صفحه.

نظری ناسی، ح.، ر. امیرنیا و م، ر. زردشتی. ١٣٩٧. اثر تنش خشکی و کودهای زیستی بر برخی صفات فیزیولوژیک و عملکرددانه کدوی پوست کاغذی. مجله به زراعی. دوره ٢٠، شماره١، ٢١٧-٢٠٥.

Abdelhafez, A. A. and Abdel-Monsief, R. A. 2006. Effects of VA mycorrhizal inoculation on growth, yield and nutrient content of cantaloupe and cucumber under different water regimes. J. Agri and Biolo Sci. 2(6): 503-508.

Alipour, A., M. M. Rahimi, S. M. A. Hosseini. and A. Bahrani. 2021. Mycorrhizal fungi and growth-promoting bacteria improves fennel essential oil yield under water stress. Ind. Crops Prod. 170: 113792.

Anderson, R., D. Keshwani, A. Guru, H. Yang, S. Irmak. and J. Subbiah. 2018. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. Environ. Model. Softw. 108: 40–50. doi: 10.1016/j.envsoft.2018.07.004

Armada, E., A. Roldán. and R. Azcon. 2014. Differential activity of autochthonous bacteria in controlling drought stress in native Lavandula and Salvia plants species under drought conditions in natural arid soil. Microb. Ecol. 67: 410-420.

Baghalian, K., S. Abdoshah, F. Khalighi-Sigaroodi. and F. Paknejad. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). Plant Physiol. Biochem. 49(2): 201-207

Barrios, A. N., G. Hoogenboom and D. S. Nesmith. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and Reproductive Traits of a Bean Cultivar. Sci. Agric. 61: 18-22.

Caravaca, F., J. M. Barea, J. Palenzuela, D. Figueroa, M. M. Alguacil. and A. Roldan. 2003. Establishment of shrub species in a degraded semiarid site after inoculation with native or allochthonous arbuscular mycorrhizal fungi. Applied Soil Ecol. 22: 103–111.

Cardoso, I. M. and T. W. Kuyper. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agric, Ecosyst. Environ. 116: 72-84.

Dal Cortivo, C., G. Barion, M. Ferrari, G. Visioli, L. Dramis and A. Panozzo. 2018. Effects of field inoculation with VAM and bacteria consortia on root growth and nutrients uptake in common wheat. Sustainability 10:3286. doi: 10.3390/su10093286

Damalas, C. A. 2019. Improving drought tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum*) with salicylic acid. Sci. Hortic. 246: 360-365.

Dewitte, O., A. Jones, O. Spaargaren, H. Breuning-Madsen, M. Brossard. and A. Dampha. 2013. Harmonisation of the soil map of Africa at the continental scale. Geoderma 211: 138–153. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.07.007

Fall, A. F., G. Nakabonge, J. Ssekandi, H. Founoune-Mboup, A. Badji, A. Ndiaye. and J. Ekwangu. 2023. Combined effects of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and NPK fertilizer on growth and yields of maize and soil nutrient availability. Sustainability. 15(3): 2243.

Fall, A. F., G. Nakabonge, J. Ssekandi, H. Founoune-Mboup, S.O. Apori, A. Ndiaye, A. Badji. and K. Ngom. 2022. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Fertility: Contribution

in the Improvement of Physical, Chemical, and Biological Properties of the Soil. Front. Fungal Biol. 3:723892. doi: 10.3389/ffunb.2022.723892.

Israel, A., J. Langrand, J. Fontaine. and A. Lounès-Hadj Sahraoui. 2022. Significance of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mitigating Abiotic Environmental Stress in Medicinal and Aromatic Plants: A Review. Foods. 11(17): 2591.

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*. Pak. J. Bot. 40(5): 2217-2224.

Jing, H., B. G. Ridoutt, X. Chang-chun, Z. Hai-lin. and C. Fu. 2012. Cropping pattern modifications change water resource demands in the Beijing metro politanarea. J. Integ. Agric. 11 (11): 1914–1923

Khalvati, M. A., A. Mzafar. and U. Schmidhalter. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biol. (Stuttgart, Ger.). 7(6): 706-712.

Khorramdel, S., A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati. and R. Ghorbani. 2016. Evaluation of inoculation with nitrogen and phosphorus biofertilizers on yield and radiation use efficiency of black cumin (*Nigella sativa* L.) under Mashhad climatic conditions. J. Plant Nutr. 39(14): 2015-2024.

Mohammadi K. H., S. H. Khalesro, Y. Sohrabi. and G. H. Heidari. 2011. A Review: Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. J. Appl Environ Biol Sci. 1(9): 310-319.

Mokoena, T. Z. 2013. The effect of direct phosphorus and potassium fertilization on soybean (*glycine max* L.) yield and quality. M.Sc. (Agric) Agronomy. In the Faculty of Natural and Agricultural Sciences. University of Pretoria.

Morikawa, T., F. Xu, Y. Kashima, H. Matsuda, K. Ninomiya. and M. Yoshikawa. 2004. Novel dolabellanetype diterpene alkaloidswith lipid metabolism promoting activities from the seeds of Nigella sativa. Org. Lett. 6: 869 – 72.

Nabipour, M., M. Meskarbashee. and H. Yousefpour. 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Pak. J. Biol. Sci. PJBS. 10(3):421-426.

Omar, A., S. Ghosheh, A. Abdulghani, A. Houdi. and P. A. Crookscor. 1999. High performance liquid chromatographic analysis of the pharmacologically active quinones and related compounds in the oil of the black seed (*Nigella sativa* L). J. Pharm. Biomed. Anal. 19: 757 – 62.

Oosterhuis, D., D. Loka, E. Kawakami. and W. Pettigrew. 2014. The physiology of potassium in crop production. Adv. Agron. 126: 203–234.

Paravar, A., S. M. Farahani. and A. Rezazadeh. 2021. Lallemantia species response to drought stress and Arbuscular mycorrhizal fungi application. Ind. Crops Prod. 172:114002.

Parvej, M., N. Slaton, L. Purcell. and T. Roberts. 2016. Soybean yield components and seed potassium concentration responses among nodes to potassium fertility. Soil fertili. Crop. Nut. 2: 854-863.

Petropoulos, S. A.; D. Daferera, M. G. Polissiou. and H. C. Passam. 2008. The Effect of Water Deficit Stress on the Growth, Yield and Composition of Essential Oils of Parsley. Sci. Hortic. 115: 393–397.

Prasad, R., D. Bhola, K. Akdi, C. Cruz, S. Kvss, N. Tuteja. and A. Varma. 2017. Introduction to mycorrhiza: historical development. Mycorrhiza-function, diversity, state of the Art: 1-7.

Ramadan, M. F. and J. T. Morsel. 2002. Characterization of phospholipids composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) seed oil. Nahrung. 46: 240 – 4.

Raza, M. A. S., M. F Saleem, G. M. Shah, M. Jamil. and I. H. Khan. 2013. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Soil Sci. Plant Nutri. 13 (1): 175-185.

Rezaei-Chiyaneh, E., M. L. Battaglia, A. Sadeghpour, F. Shokrani, A. D. M. Nasab, M. A. Raza. and M. von Cossel. 2021. Optimizing Intercropping Systems of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) and Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) through Inoculation with Bacteria and Mycorrhizal Fungi. Advanced sustainable systems, 5(9), 2000269.

Song, H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its Mechanisms. Elect. J. Biol. 1(3): 44-48.

Wu, B., Z. Cui, L. Ma, X. Li, H. Wang, Y. Wang. and Y. Gao. 2023. Effects of Planting Density—Potassium Interaction on the Coordination among the Lignin Synthesis, Stem Lodging Resistance, and Grain Yield in Oil Flax. Agron. 13(10): 2556.

Zardak, S. G., Dehnavi, M. M., Salehi, A. and Gholamhoseini, M. 2017. Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants, 5:.16-25.

Investigating the effect of water stress and plant density on some physiological characteristics and water use efficiency in two ecotypes of *Thymbra spicata* L.

Kh. Taheri Haghighi[1], B. Jafari Haghighi[2], A. Jafari[2], H. Miri[3], H. Ebrahimi[2]

Received: 2022-08-23 Accepted: 2023-10-22

Abstract

The present study aims to investigate the changes in some physiological characteristics and water use efficiency of two ecotypes of *Thymbra spicata* L. in response to changes in water stress and plant density. For this purpose, an experiment was carried out as a split factorial based on the randomized complete block design with three replications and in two growing seasons (2016 and 2017) on the research farm of Ilam University. In this experiment, the main plots include three levels of water stress (non-stress, mild stress, and severe stress) and sub-plots include plant density treatments (6, 8, and 12 plants per m^2, respectively) and two native ecotypes of *Thymbra spicata* L. from the Zagros highlands (Sumar and Malekshahi). Based on the results of this experiment, photosynthetic pigments (a, b, and total), carotenoids, anthocyanins, antioxidant compounds, proline, and water use efficiency were significantly affected by water stress, plant density, and ecotype treatments. The highest content of chlorophyll-a was observed in the treatments of non-stress and mild stress and at a density of 6 and 8 plants per m^2. The highest content of chlorophyll-b was observed in the treatment of mild water stress and at a density of 8 plants per m^2. The highest content of total chlorophyll was observed in the treatment of non-stress and mild stress and at a density of 8 plants per m^2 during the first year of the experiment. Increased plant density and intensity of water stress led to a decrease in the content of photosynthetic pigments. The highest content of carotenoids was observed at the treatment of mild water stress and a density of 8 and 12 plants m^2 during the first year of the experiment. The highest content of anthocyanins was observed at the treatment of mild water stress and a density of 8 plants per m^2. The highest content of total phenol and flavonoids was observed at the treatment of severe water stress and a density of 12 plants per m^2. Finally, the highest amount of proline in the plant was observed in the second year of the experiment at the treatment of severe water stress and a density of 12 plants per m^2. Increasing the intensity of water stress and plant density increased the water use efficiency in the *Thymbra spicata* L. The Malekshahi ecotype had more photosynthetic pigments, carotenoids, and more water use efficiency than the Sumar ecotype.

Key words: Chlorophyll content; Anthocyanin; Total phenol; Flavonoids; Proline

۱ Ph.D. Student , Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy, Arsanjan Branch, Islamic Azad University, Arsanjan, Iran