

تأثیر پوترسین، ورمی کمپوست و میکوریزا بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک تربیتکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری

حامد نریمانی^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*} و محمد صدقی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر پوترسین، ورمی کمپوست و میکوریزا بر عملکرد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک تربیتکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل آبستنی و سنبله‌دهی)، کاربرد کودهای زیستی و آلی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار) را شامل می‌شدند. نتایج نشان داد قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریزا با ورمی کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در همین سطح از آبیاری افزایش داد. بررسی روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک نشان داد که در ۲۴۲ روز بعد از کاشت، کاربرد توأم میکوریزا با ورمی کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، محتوای نسبی آب (۳۹/۱ درصد)، محتوای کلروفیل *a* (۴۹/۴ درصد)، شاخص کلروفیل (۳۷/۲ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۳۲/۱ درصد)، فلورسانس متغیر (۸۴/۹ درصد)، فلورسانس حداکثر (۴۵/۱ درصد)، و عملکرد کوانتومی (۲۷/۶ درصد) را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین و قطع آبیاری در مرحله آبستنی افزایش داد. همچنین کاربرد میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل، محتوای پراکسید هیدروژن (۲۹/۲ درصد) را کاهش داد در حالی که عملکرد دانه را ۳۹/۶ درصد نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی افزایش داد. به نظر می‌رسد کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول‌پاشی پوترسین، می‌تواند عملکرد دانه تربیتکاله را تحت شرایط محدودیت آبی، به‌واسطه بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات فیزیولوژیک افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری رشته زراعت (فیزیولوژی گیاهان زراعی) و استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raouf_ssharifi@yahoo.com

مقدمه

تریتیکاله (*X Triticosecale Wittmack*) به عنوان یک گیاه دو منظوره از تلاقی گندم (*Triticum aestivum L.*) و چاودار (*Secale cereal L.*) به دست آمده است، که به دلیل تولید زیست توده بیشتر، کیفیت غذایی بالا و همچنین مقاومت در برابر تنش های زیستی و غیرزیستی، برای کاشت در مناطق بایر و حاشیه ای که عمق خاک برای گندم مطلوب نبوده و زمستان شدیدی دارد، مناسب است (۱۹). در سال های اخیر تغییرات آب و هوایی موجب بروز تنش های محیطی از جمله محدودیت آبی شده است که به طور گسترده، تولید و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می دهد (۳۲). این تنش از طریق ایجاد اختلال در پاسخ های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی و همچنین القای تنش اکسیداتیو، برهم زدن یکپارچگی غشاء، جذب مواد مغذی، فعالیت فتوسنتزی و آنزیم های آنتی اکسیدانی، رشد و نمو گیاهان زراعی را به طور قابل توجهی کاهش می دهد (۳۸). در چنین شرایطی کاربرد قارچ میکوریزا می تواند با حفظ یکپارچگی غشاء، افزایش تجمع اسمولیت های سازگار، تولید هورمون های گیاهی و بهبود فعالیت های آنتی اکسیدانی، بهبود رنگدانه های فتوسنتزی، جذب مواد مغذی و کاهش تجمع گونه های فعال اکسیژن (۳۸) و حفاظت از دستگاه فتوسنتزی در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از محدودیت آبی، منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی شود (۲۷). محمود و همکاران (۲۱) اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا با کاهش نشت الکترولیت و بهبود محتوای کلروفیل و هدایت روزنه ای، موجب افزایش عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa L.*) شد. نظری و همکاران (۲۷) گزارش کردند که کاربرد توأم ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا در شرایط محدودیت آبی، موجب کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد کوانتومی و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله شد.

استفاده از ورمی کمپوست از دیگر راه کارهای مناسب برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط محدودیت آبی است

(۵) که با بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، کاهش نسبت C:N، تجزیه میکروبی مواد آلی خاک، کمک به رشد و تغذیه گیاه و افزایش محتوای رنگدانه های فتوسنتزی، در نهایت موجب افزایش عملکرد گیاهان زراعی می شود (۲). محمدی کله سرلو و همکاران (۲۴) بیان کردند که کاربرد ورمی کمپوست ضمن کاهش هدایت الکتریکی، با بهبود محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی برگ، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد. بنیفاری و همکاران (۵) نیز گزارش کردند که کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا در شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش گونه های فعال اکسیژن، ضمن کاهش هدایت الکتریکی موجب افزایش محتوای کلروفیل، عملکرد کوانتومی و هدایت روزنه ای برگ شدند.

پلی آمین ها (پوترسین، اسپرمیدین و اسپرمین) نیز نقش مهمی در حفاظت از گیاهان زراعی در شرایط محدودیت آبی دارند. این ترکیبات در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی از جمله محافظت از رنگدانه های فتوسنتزی و بهبود سیستم های آنتی اکسیدانی نقش داشته و می توانند اثرات منفی ناشی از محدودیت آبی را تعدیل نمایند (۳۲). گزارش شده است که کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن، موجب افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل، عملکرد کوانتومی و هدایت روزنه ای برگ جو (*Hordeum vulgare L.*) شد (۳۴). حسین و همکاران (۱۴) نیز بیان کردند که کاربرد پوترسین تحت شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود مکانیسم های حفاظتی، موجب افزایش محتوای کلروفیل و عملکرد دانه گندم شد.

با توجه به تاثیری که محدودیت آبی در کاهش عملکرد تریتیکاله دارد و از طرفی به دلیل نقشی که کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و پوترسین در تعدیل یا کاهش بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی دارد، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاثیر این عوامل بر عملکرد، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک

تریتیکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و شرایط اقلیمی منطقه در طول دوره رشدی تریتیکاله در جدول ۲ ارائه شده است.

فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن (آبستنی) و سنبله‌دهی به ترتیب به عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی براساس کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا)، و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین) بود. محلول‌پاشی پوترسین (محصول شرکت Sigma با خلوص ۹۹ درصد) در مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی (به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. کاشت در ۱۶ آبان ۱۳۹۸ و برداشت ۵ مرداد ماه ۱۳۹۹ بود. از تریتیکاله رقم سناباد با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است) استفاده شد. این رقم متوسط‌رس بوده و ارتفاع بوته آن ۱۱۲-۱۱۰ سانتی‌متر و وزن هزار دانه آن به طور متوسط ۴۵/۴۷ گرم می‌باشد که نسبت به خوابیدگی مقاوم است. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر و با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود.

به منظور جلوگیری از نشت آب به کرت‌های مجاور، فاصله بین هر واحد آزمایشی یک متر و نیم در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه و سطوح تیمار کم آبیاری انجام شد. قارچ میکوریزا مورد استفاده از گونه *Rhizophagus irregularis* بود که از شرکت زیست فناوریان توران تهیه و براساس توصیه این شرکت به میزان ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هر هکتار) سه تا چهار روز قبل از کاشت با خاک سطحی به روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی و همکاران (۸) مخلوط شد. تعداد اسپور زنده در هر گرم قارچ مورد استفاده حدود ۱۰۰ اسپور بود. مقدار ورمی کمپوست مصرفی در این آزمایش ۶ تن در هکتار در نظر گرفته شد که از شرکت گیلدا خریداری و قبل از کاشت با خاک مخلوط شد (۳۳). مشخصات فیزیکوشیمیایی ورمی کمپوست مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۳ آورده شده است.

بررسی روند تغییرات برخی صفات مانند هدایت الکتریکی، شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی برگ پرچم از ۲۱۸ روز بعد از کاشت (دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی معادل ۵۹ BBCH) شروع و تا ۲۴۲ روز پس از کاشت (اواسط مرحله شیری شدن معادل ۷۵ BBCH) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) به روش سوده‌کار و همکاران (۳۶) و محتوای پراکسید هیدروژن با روش الکسیو و همکاران (۳) بر روی برگ پرچم انجام شد. پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ پرچم شامل F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی) بود که هر چهار روز یکبار توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (OS-30p) اندازه‌گیری شد. برای این منظور از هر واحد آزمایشی به طور تصادفی سه برگ پرچم توسعه یافته انتخاب و بعد از ۲۰ دقیقه

جدول ۱. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

مشخصه	pH	عصاره اشباع	آهک	رس	سیلت	شن	بافت	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	روی
مقادیر	۷/۸	۴۹	۱۴/۴	۲۳	۴۲	۳۵	لومی	۰/۶۲	۰/۰۶	۸/۲۹	۲۱۲	۱/۸
			(%)	(%)				(%)	(%)	(mg/kg)		

جدول ۲. مشخصات جوی در طول دوره رشدی تریکاله در سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹

ماه‌های سال							پارامترهای اقلیمی
مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	شهریور	
۵۳/۳	۱۳/۹	۳/۵	۲۳/۶	۲۷/۴	۱۴/۸	شهریور	بارندگی (mm)
۱۵/۴	۷/۳	۴/۱	۱/۷	-۱/۲	۶/۳	شهریور	میانگین دما (°C)
۲۴۰	۱۵۱	۱۳۱	۱۳۴	۱۶۸	۱۷۱	شهریور	جمع ساعات آفتابی
۶۶	۷۵	۷۳	۷۱	۷۲	۶۸	شهریور	متوسط رطوبت نسبی (%)
ماه‌های سال							پارامترهای اقلیمی
فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	شهریور	
۲۶/۸	۵۶/۵	۶/۶	۳/۷	۴/۷	۱۲/۹	شهریور	بارندگی (mm)
۶/۷	۱۳/۱	۱۸/۹	۱۸/۹	۱۸/۴	۱۶/۸	شهریور	میانگین دما (°C)
۱۵۶	۲۱۱	۳۱۴	۲۹۸	۲۴۸	۲۶۷	شهریور	جمع ساعات آفتابی
۷۳	۷۰	۶۰	۶۶	۷۴	۷۱	شهریور	متوسط رطوبت نسبی (%)

جدول ۳. نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست

مشخصه	EC (dS/m)	pH	Mn	Cu	Zn	Fe	Cd
مقادیر	۱/۱۲	۷/۶۴	۲۷۵	۲۰	۱۱۰	۵۰۰۰	۱
مشخصه	OM	OC	N	P	K	Ca	Mg
مقادیر	۵۶/۸	۳۲/۹	۱/۵۵	۰/۴	۰/۴	۲/۷۳	۰/۹۵

نهایت حجم محلول با استون ۸۰ درصد به حجم ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. محتوای کلروفیل a و b بر اساس روابط ۱ تا ۲ برآورد شدند.

$$\text{Chl}_a = [19.3(A_{663}) - 0.86(A_{645})] V / (100 \times W) \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b = [19.3(A_{645}) - 3.6(A_{663})] V / (100 \times W) \quad (2)$$

تاریکی توسط کلیس‌های مخصوص، شاخص‌های فلورسانس اندازه‌گیری شد (۲۵). شاخص کلروفیل برگ پرچم با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-۵۰۲ مینولتای ژاپن) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی از برگ پرچم دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی با استفاده از روش آرنون (۴) انجام شد. ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استون ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استونی شود و در

اندازه‌گیری و توزین شدند و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد دانه از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS (نسخه ۹/۱) و Excel (نسخه ۲۰۱۳) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

برگ پرچم

برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و میکوریزا، پوترسین و سطوح آبیاری بر محتوای پراکسید هیدروژن و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) موجب کاهش ۱۹/۱ درصدی محتوای پراکسید هیدروژن نسبت به عدم کاربرد کودهای بیولوژیک و پوترسین در همین سطح از آبیاری شد (جدول ۵). همچنین، بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز (۴۹/۶، ۱۱۷ و ۸۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در کاربرد توأم کودهای زیستی و آلی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی مشاهده شد، که از افزایش به‌ترتیب ۵/۹، ۱۱/۲ و ۵/۱ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵). از آنجایی که یکی از سیگنال‌های اولیه به محدودیت آبی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن است و به‌عنوان یک پیک ثانویه برای تحریک دفاع‌های بعدی در گیاهان عمل می‌کند از این‌رو وقتی که گیاهان در معرض محدودیت آبی قرار می‌گیرند معمولاً فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای حذف گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد و این امر

در این روابط ۷ حجم نمونه استخراج شده و W وزن تر نمونه است. برای تعیین محتوای نسبی آب برگ پرچم از ۲۱۸ روز بعد از کاشت (دو هفته بعد از قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی ظاهر شدن کامل گل‌آذین معادل با مرحله BBCH ۵۹) از هر واحد آزمایشی چهار برگ پرچم توسعه یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بلافاصله درون یخ قرار گرفته و به آزمایشگاه منتقل شدند، سپس به قطعات دو سانتی‌متری تقسیم و با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن تر آن‌ها تعیین شدند (FW). سپس این قطعات به‌منظور تعیین وزن تورژسانس به مدت ۲۴ ساعت در شدت نور کم در داخل آب مقطر قرار داده و وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد (TW). در نهایت این برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس وزن خشک آن‌ها تعیین شد (DW). درصد رطوبت نسبی برگ پرچم با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (۱۸).

$$RWC = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب برگ، FW وزن تر، DW وزن خشک و TW وزن برگ به حالت تورم است. به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوای ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شده و سپس هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم، سعی شد نمونه‌های برگگی از ابعاد یکسانی برخوردار باشد. هدایت روزنه‌ای برگ، بر روی چهار برگ پرچم توسعه یافته از هر تیمار توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین ارتفاع بوته، طول سنبله، و تعداد دانه در سنبله تعداد هشت بوته در زمان رسیدگی از بوته‌های موجود در مزرعه به‌صورت تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطح خاک کف‌بر شدند و با استفاده از خط‌کش و ترازیبی با دقت ۰/۰۰۱ گرم

جدول ۴. تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی (میکوریزا و رمی کمپوست) و پوترسین بر فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی، محتوای پراکسید هیدروژن و هدایت الکتریکی برگ پرچم تحت سطوح مختلف آبیاری

پراکسید هیدروژن	میانگین مربعات										درجه آزادی	منابع تغییر
	پراکسیداز	کاتالاز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پراکسیداز	کاتالاز	هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت)	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸		
۰/۰۰۶**	۵۹۴**	۳۰۱**	۴۹۶**	۸۲۰**	۱۳۸۷**	۳۶۶۳**	۶۹۲۵**	۲۵۵۸**	۶۰۸۳**	۲	تکرار	
۰/۰۰۴**	۴۹۳۴**	۸۰۹**	۴۶۹۳**	۷۷۱۷**	۱۱۹۳۶**	۸۱۹۱**	۵۵۷۶**	۳۲۶۴**	۳۷۵۹**	۲	سطوح آبیاری (I)	
۰/۰۰۶**	۲۹/۸ ^{ns}	۲۰/۸ ^{ns}	۲۶/۱ ^{ns}	۴۳۰/۱**	۷۷۷۶**	۳۹۵۸**	۳۱۵۱**	۱۶۶۹**	۱۷۷۸**	۳	کودهای زیستی (B)	
۰/۰۱۳**	۳۴/۱ ^{ns}	۵۶/۶*	۱۷۳ ^{ns}	۵۳۷۰**	۷۶۰۳**	۴۰۸۴**	۴۰۱۲**	۱۸۵۲**	۲۲۶۱**	۲	پوترسین (P)	
۰/۰۰۱**	۸/۶ ^{ns}	۲۷/۵ ^{ns}	۱۳۵ ^{ns}	۴۴۴**	۲۲۱ ^{ns}	۴۵۱**	۱۴۶ ^{ns}	۴۵/۶ ^{ns}	۵۸/۳ ^{ns}	۶	I×B	
۰/۰۰۱*	۴۹/۶ ^{ns}	۱۷/۳ ^{ns}	۶۲/۷ ^{ns}	۱۱۳ ^{ns}	۲۷۵ ^{ns}	۶۵۸**	۲۶۵*	۱۸۴*	۹۶/۷ ^{ns}	۴	I×P	
۰/۰۰۵ ^{ns}	۳۷/۹ ^{ns}	۳۴/۵*	۲۳۰**	۱۲۰ ^{ns}	۷۳/۱ ^{ns}	۵۸۶**	۶۷/۵ ^{ns}	۲۲/۹ ^{ns}	۱۹/۹ ^{ns}	۶	B×P	
۰/۰۰۰۸**	۵۹/۹*	۲۷/۵*	۱۵۱*	۶۹۴**	۴۲۰**	۳۷۳**	۲۶۶**	۱۵۷*	۱۴۵**	۱۲	I×B×P	
۰/۰۰۰۲	۲۷/۸	۱۳/۲	۷۰	۹۸/۴	۱۶۰/۶	۱۳۸۷	۸۳/۳	۶۷/۷	۵۳/۷	۷۰	خطا	
۶/۲۸	۴/۲۸	۸/۹۷	۷/۷۶	۹/۲۹	۵/۱۴	۶/۷۹	۷/۰۴	۶/۵۳	۶/۴۷	۶/۲۸	ضریب تغییرات (.)	

* و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و پوترسین بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای پراکسید هیدروژن و هدایت الکتریکی برگ پرچم تحت سطوح مختلف آبیاری

پراکسید هیدروژن (μmol/gFW)	پلی فنل اکسیداز (OD μg protein/min)	کاتالاز (روز پس از کاشت)				هدایت الکتریکی (μS/cm)				تیماری	
		پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	۲۳۴**	۲۳۵**	۲۲۶*	۲۳۰**	۲۲۲*	۲۱۸**		
۰/۴۰ci	۵۲/۸n	۷۳/۲l	۳۱/۸m	۲۱۱۰g	۱۹۷df	۱۷۴۰f	۱۵۵۰i	۱۳۶fk	۱۳۰di	۱۲۲dh	I ₁ ×B ₁ ×P ₁
۰/۳۳ac	۶۱/۳b-m	۹۸/۳۰g	۴۲/۶h-f	۱۹۷fk	۲۱۵b-d	۱۶۳ch	۱۵۹۰h	۱۲۹fi	۱۲۳gi-l	۱۱۶fk	I ₁ ×B ₂ ×P ₁
۰/۴۷b-f	۵۹/۲in	۹۶dg	۳۹/۹d-h	۱۸۱k-o	۱۷۳g-j	۱۵۷fi	۱۵۳fj	۱۲۰lo	۱۳۶cg	۱۲۵۰g	I ₁ ×B ₃ ×P ₁
۰/۳۸ho	۵۴/۸in	۷۶/۵h-l	۳۲/۹im	۱۶۶ot	۱۵۲kn	۱۳۶jm	۱۲۴np	۱۰۷۰p	۱۰۸mn	۹۸/۱no	I ₁ ×B ₄ ×P ₁
۰/۴۰ck	۶۳/۱g-l	۸۹/۴fk	۳۷/۹e-l	۲۰۵dh	۱۸۱fi	۱۶۴th	۱۴۸g-k	۱۲۸k-m	۱۲۵fk	۱۱۵۰l	I ₁ ×B ₁ ×P ₂
۰/۳۳ac	۵۵/۰in	۷۶/۵h-l	۳۲/۹im	۱۷۸q	۱۶۰jn	۱۴۵hm	۱۳۳ip	۱۴۴bh	۱۱۳k-n	۱۰۴k-o	I ₁ ×B ₂ ×P ₂
۰/۳۶o-q	۵۴/۳m-n	۷۶k-l	۳۲/۴k-m	۱۶۴p-t	۱۶۰jn	۱۸۱ce	۱۲۷m-p	۱۱۳no	۱۱۱in	۱۰۳m-o	I ₁ ×B ₃ ×P ₂
۰/۳۴q	۵۶/۴k-n	۷۸/۷h-l	۳۲/۶k-m	۱۵۸st	۱۴۳m-n	۱۳۲un	۱۲۰op	۱۰۲p	۱۰۳m	۹۵۰	I ₁ ×B ₄ ×P ₂
۰/۳۷l-q	۵۸/۴in	۸۰/۸b-l	۳۳/۶k-m	۱۷۱us	۱۶۵h-l	۱۴۷hm	۱۴۹g-k	۱۱۴pu	۱۱۴k-n	۱۰۳i-o	I ₁ ×B ₁ ×P ₃
۰/۳۶n-q	۵۶/۳k-n	۷۸l	۳۲/۴k-m	۱۶۲q-t	۱۶۳im	۱۳۶k-m	۱۲۴np	۱۰۷۰p	۱۱۹im	۱۰۳i-o	I ₁ ×B ₂ ×P ₃
۰/۳۵p-q	۵۵/۸in	۷۷/۳l	۳۲/۰im	۱۶۰r-t	۱۴۶in	۱۳۳im	۱۲۰p	۱۰۳p	۱۰۴n	۹۴/۲۰	I ₁ ×B ₃ ×P ₃
۰/۳۵f	۵۷/۴in	۸۰/۴i-l	۳۳/۲im	۱۵۵l	۱۴۱n	۱۲۹m	۱۱۹p	۱۰۱p	۱۰۴n	۹۲/۸۰	I ₁ ×B ₄ ×P ₃
۰/۴۳ab	۷۰/۱d-g	۹۹/۷b-g	۴۲/۱c-f	۱۹۸fj	۲۲۸a-b	۲۰۴ab	۱۷۸ab	۱۵۷ab	۱۵۰ab	۱۳۷ac	I ₂ ×B ₁ ×P ₁
۰/۴۷a-d	۶۹/۵dh	۱۰۶a-d	۴۴/۷a-d	۲۲۳a-c	۲۱۵b-d	۱۹۱a-c	۱۶۷b-f	۱۴۹a-f	۱۴۳a-c	۱۳۰a-e	I ₂ ×B ₂ ×P ₁
۰/۴۷b-e	۶۵/۹fj	۹۲/۳eh	۳۸/۷e-j	۲۰۹c-g	۱۹۵df	۱۷۸c-e	۱۵۹c-g	۱۳۸dk	۱۳۸b-f	۱۲۱dh	I ₂ ×B ₃ ×P ₁
۰/۴۷b-g	۶۴/۸g-k	۸۹/۹fj	۳۷/۰e-m	۱۸۷i-n	۱۹۲e-f	۱۸۹a-c	۱۶۱c-g	۱۴۲d-j	۱۳۶c-g	۱۱۷fi	I ₂ ×B ₄ ×P ₁
۰/۴۷b-g	۶۶/۱e-i	۹۰/۹e-i	۳۸/۱e-k	۲۳۰ab	۲۱۶ad	۱۹۱a-c	۱۷۱ad	۱۵۱ad	۱۴۴ad	۱۲۷b-f	I ₂ ×B ₁ ×P ₂
۰/۴۰dk	۶۴/۶g-k	۸۹/۶fk	۳۷/۵e-m	۲۰۲e-i	۱۹۶d-f	۱۷۵c-f	۱۳۶k-n	۱۳۷e-k	۱۳۱c-i	۱۲۲dh	I ₂ ×B ₂ ×P ₂
۰/۳۸io	۶۹/۲dh	۹۵/۹d-g	۳۹/۶d-h	۲۰۰e-j	۱۸۲fi	۱۶۴d-h	۱۴۴h-l	۱۲۵kn	۱۲۴g-l	۱۱۲im	I ₂ ×B ₃ ×P ₂
۰/۳۷m-q	۶۴/۴g-l	۸۷/۹fk	۳۶/۳g-m	۱۷۳us	۱۵۸jn	۱۴۷hm	۱۳۰lp	۱۱۰op	۱۱۳k-n	۱۰۰n-o	I ₂ ×B ₄ ×P ₂
۰/۴۰e-j	۶۸/۷dh	۹۷/۲c-g	۴۰/۳dh	۲۱۵be	۱۹۷d-f	۱۷۸c-e	۱۵۶d-h	۱۴۵g-k	۱۳۳ch	۱۱۹e-i	I ₂ ×B ₁ ×P ₃
۰/۳۹En	۶۹/۶dh	۹۵/۸d-g	۳۹/۶d-h	۱۸۹im	۱۷۳g-j	۱۵۸fi	۱۴۱im	۱۲۰lo	۱۲۱h-l	۱۰۷jn	I ₂ ×B ₂ ×P ₃
۰/۳۸jo	۶۱/۶g-m	۸۶/۶g-l	۳۵/۷b-m	۱۷۵qr-r	۱۶۳im	۱۵۰g-l	۱۳۵k-o	۱۱۴m-p	۱۱۶jn	۱۰۴i-o	I ₂ ×B ₃ ×P ₃
۰/۳۶n-q	۶۴/۴g-k	۸۹/۱fk	۳۶/۷f-m	۱۶۸ot	۱۵۲kn	۱۴۱im	۱۲۸m-p	۱۰۷۰p	۱۱۱in	۹۸u-o	I ₂ ×B ₄ ×P ₃

ادامه جدول ۵.

۰/۴۵ ^a	۸۴/۳ ^{a-b}	۱۰۶ ^{a-d}	۴۶/۱ ^{a-c}	۲۳ ^{q-a}	۲۳ ^{q-a}	۲۰۷ ^a	۱۸۳ ^a	۱۶۲ ^a	۱۵۲ ^a	۱۴۱ ^a	I ₃ ×B ₁ ×P ₁
۰/۳۹ ^{d-f}	۷۶/۲ ^{b-d}	۱۰۱ ^{b-f}	۴۲/۴ ^{b-f}	۱۹۸ ^{f-j}	۱۹۸ ^{f-j}	۲۰۱ ^{a-b}	۱۵۳ ^{f-j}	۱۲۹ ^{f-l}	۱۳۸ ^{b-f}	۱۳۸ ^{a-b}	I ₃ ×B ₂ ×P ₁
۰/۳۹ ^{d-l}	۷۴/۷ ^{c-e}	۱۰۳ ^{b-c}	۴۲/۵ ^{b-f}	۲۲۰ ^{b-d}	۲۲۰ ^{b-d}	۱۵۵ ^{g-j}	۱۷۲ ^{a-c}	۱۵۱ ^{a-e}	۱۲۹ ^{e-j}	۱۱۷ ^{f-j}	I ₃ ×B ₃ ×P ₁
۰/۴۲ ^{b-g}	۷۹/۲ ^{b-c}	۱۰۶ ^{a-d}	۴۵/۱ ^{a-d}	۲۱۲ ^{c-f}	۲۱۲ ^{c-f}	۱۷۶ ^{c-f}	۱۶۱ ^{c-g}	۱۳۸ ^{d-k}	۱۳۲ ^{c-i}	۱۲۶ ^{c-g}	I ₃ ×B ₄ ×P ₁
۰/۴۴ ^{a-b}	۷۳/۹ ^{c-f}	۱۰۰ ^{b-g}	۴۱/۴ ^{c-h}	۱۹۵ ^{g-k}	۱۹۵ ^{g-k}	۱۶۷ ^{d-g}	۱۷۸ ^{a-b}	۱۵۷ ^{a-c}	۱۳۱ ^{c-i}	۱۳۱ ^{a-e}	I ₃ ×B ₁ ×P ₂
۰/۳۸ ^{b-o}	۸۱/۰ ^{a-c}	۱۰۰ ^{b-g}	۴۳/۲ ^{b-c}	۲۱۲ ^{b-c}	۲۱۲ ^{b-c}	۱۹۱ ^{a-c}	۱۶۸ ^{a-c}	۱۴۷ ^{b-g}	۱۳۹ ^{a-e}	۱۳۳ ^{a-d}	I ₃ ×B ₂ ×P ₂
۰/۴۱ ^{b-h}	۸۴/۳ ^{a-b}	۱۱۳ ^{a-b}	۴۵ ^{a-d}	۲۱۹ ^{b-d}	۲۱۹ ^{b-d}	۱۸۳ ^{b-d}	۱۶۲ ^{c-g}	۱۴۳ ^{c-i}	۱۳۸ ^{b-f}	۱۲۷ ^{b-f}	I ₃ ×B ₃ ×P ₂
۰/۳۹ ^{g-o}	۷۴/۳ ^{c-f}	۱۰۱ ^{b-f}	۴۲/۲ ^{c-f}	۱۸۴ ^{f-h}	۱۸۴ ^{f-h}	۱۶۳ ^{e-h}	۱۴۸ ^{g-k}	۱۳۱ ^{b-l}	۱۲۶ ^{e-k}	۱۲۱ ^{d-h}	I ₃ ×B ₄ ×P ₂
۰/۳۹ ^{e-m}	۸۴/۷ ^{a-b}	۱۱۰ ^{a-c}	۴۸/۲ ^{a-b}	۱۹۰ ^{b-m}	۱۹۰ ^{b-m}	۱۹۳ ^{a-c}	۱۴۹ ^{g-k}	۱۲۹ ^{f-l}	۱۴۲ ^{a-d}	۱۳۳ ^{a-d}	I ₃ ×B ₁ ×P ₃
۰/۴۱ ^{b-g}	۸۴/۲ ^{a-b}	۹۹/۲ ^{c-g}	۴۲/۱ ^{c-g}	۱۹۶ ^{f-k}	۱۹۶ ^{f-k}	۱۸۱ ^{c-e}	۱۵۵ ^{e-i}	۱۳۶ ^{f-k}	۱۳۲ ^{c-i}	۱۱۵ ^{g-l}	I ₃ ×B ₂ ×P ₃
۰/۳۸ ^{t-o}	۷۹/۰ ^{b-c}	۹۵/۸ ^{d-g}	۳۹/۳ ^{d-i}	۱۹۷ ^{b-l}	۱۹۷ ^{b-l}	۱۷۵ ^{c-f}	۱۵۹ ^{e-h}	۱۳۵ ^{g-k}	۱۳۱ ^{c-i}	۱۲۴ ^{d-h}	I ₃ ×B ₃ ×P ₃
۰/۳۳ ^{k-p}	۸۸/۶ ^a	۱۱۷ ^a	۴۹/۵ ^a	۱۷۹ ^{t-p}	۱۷۹ ^{t-p}	۱۵۳ ^{g-k}	۱۳۹ ^{f-m}	۱۱۹ ^{t-o}	۱۱۹ ^{t-m}	۱۰۸ ^{t-n}	I ₃ ×B ₄ ×P ₃
۰/۰۲۷	۸۵۹	۱۳/۶۳	۵۹۲	۱۶/۱۵	۱۶/۱۵	۱۹/۱۸	۱۴/۸۶	۱۳/۸۳	۱۳/۴۰	۱۱/۹۳	LSD

I₁ و I₂ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنباده‌دهی و آبستنی. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. P₁, P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول‌پاشی پوترسین و محلول‌پاشی پوترسین و محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی مولار پوترسین.

منظور از OD مخفف عبارت Optical Density یا همان تراکم نوری یا چگالی نوری است.

می‌تکن‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (**). پنج درصد (*) با هم ندارند.

هدایت الکتریکی برگ پرچم

برهم کنش توأم تعدیل کننده‌های تنش (میکوریزا، ورمی کمپوست و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۴). هدایت الکتریکی برگ پرچم با گذشت زمان در تمامی سطوح تعدیل کننده‌های تنش و آبیاری، از روند صعودی برخوردار بود (جدول ۵)، به طوری که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کمترین هدایت الکتریکی برگ پرچم (۱۷۹ میکروزیمنس بر متر) در کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین مشاهده شد که از کاهش ۳۳/۷۹ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در همین سطح از آبیاری در ۲۴۲ روز پس از کاشت برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد تجمع گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت بیشتر آنزیم‌های تجزیه کننده لیپیدی در شرایط محدودیت آبی، با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی، نشت الکترولیت از سلول‌های برگ را افزایش می‌دهد (۱۳). گزارش شده است که تحت شرایط محدودیت آبی، کاربرد توأم ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود وضعیت آبی گیاه و عملکرد کوانتومی و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ تربیتکاله شد (۲۷). بخش دیگری از کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم در شرایط محدودیت آبی به واسطه کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا را می‌توان به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (جدول ۵) نسبت داد. در این راستا بنافاری و همکاران (۵) کاهش هدایت الکتریکی برگ در شرایط محدودیت آبی با کاربرد ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا را به افزایش جذب عناصر غذایی از جمله آهن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت دادند که منجر به کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. همچنین برخی محققان کاهش هدایت

موجب بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی و افزایش مقاومت گیاه به محدودیت آبی می‌شود (۴۲). کمپوس و همکاران (۶) نیز عامل اصلی مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی را به افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها نسبت دادند. گونه‌های فعال اکسیژن شامل یون‌های فعال اکسیژن، رادیکال‌های آزاد و پراکسیدازها است و فعالیت زیاد گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان می‌تواند موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و تخریب پروتئین شده و در نهایت به مرگ سلول منتهی شود. در چنین وضعیتی کاربرد قارچ میکوریزا با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم زمینه لازم جهت تولید بیومولکول‌هایی از قبیل پروتئین‌های مختلف را فراهم ساخته و از این طریق منجر به تولید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش آثار منفی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط محدودیت آبی خواهند شد (۵ و ۱۰). میرشاد و پوتور (۲۳) بیان کردند که در شرایط محدودیت آبی، وجود قارچ‌های میکوریزا در اطراف ریشه گیاهان ضمن افزایش بیان ژن‌های تولید کننده آنزیم و همچنین پروتئین‌های تنظیم کننده از قبیل کالمودولین در قارچ و انتقال مجدد آن‌ها به گیاهان از طریق ریشه، در نهایت منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود مقاومت گیاهان به شرایط محدودیت آبی می‌شوند. نظری و همکاران (۲۸) نیز اظهار داشتند که کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا با افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن برگ تربیتکاله شد. احتمالاً محلول پاشی پوترسین با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم را کاهش داده است (جدول ۵). در این راستا برخی از پژوهشگران اظهار داشتند که محلول پاشی پوترسین علاوه بر کاهش محتوای پراکسید هیدروژن از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای کلروفیل برگ را نیز با افزایش جذب و تجمع نیتروژن بهبود می‌بخشند و در چنین شرایطی با افزایش کارایی فتوسنتز II تولید گونه‌های فعال اکسیژن کاهش می‌یابد (۱۱ و ۱۶).

جدول ۶. تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم تحت سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
محتوای نسبی آب (روز پس از کاشت)								
۲۴۲	۲۳۸	۲۳۴	۲۳۰	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸		
۹۳۲**	۱۶۵**	۷۸/۹**	۳۹/۹ ^{ns}	۱/۵ ^{ns}	۱۲ ^{ns}	۳۸۱**	۲	تکرار
۶۲۵**	۲۸۷**	۵۲۱**	۳۷۳**	۵۲۵**	۶۴۶**	۵۹۶**	۲	سطوح آبیاری (I)
۴۲۳**	۲۰۶**	۲۱۶**	۳۸۵**	۳۳۷**	۲۰۹**	۳۴۹**	۳	کودهای زیستی (B)
۲۸۶**	۴۶۴**	۴۰۵**	۴۷۳**	۵۴۵**	۶۲۷**	۵۰۳**	۲	پوترسین (P)
۳۲/۹**	۱۷ ^{ns}	۳/۱ ^{ns}	۸/۱ ^{ns}	۲۵ ^{ns}	۳۱/۸*	۳۳/۸ ^{ns}	۶	I×B
۳۱/۸**	۳۴/۳**	۳۵/۱*	۵۵/۸**	۵۴/۴*	۲۶/۳ ^{ns}	۴۱ ^{ns}	۴	I×P
۲۷/۲**	۵/۱۰ ^{ns}	۱۹/۵ ^{ns}	۱۸/۷ ^{ns}	۲۸/۶ ^{ns}	۲۵/۲ ^{ns}	۱۲ ^{ns}	۶	B×P
۶۴/۷**	۲۵/۲**	۲۰/۶**	۴۹/۹**	۵۷/۸**	۳۳/۵**	۳۳/۴*	۱۲	I×B×P
۸/۹	۹/۷	۱۰/۵	۱۴/۲	۱۸	۱۳/۳	۱۶/۴	۷۰	خطا
۵/۳۷	۵/۳۱	۵/۱۲	۵/۶۷	۶/۱۰	۵/۰۶	۵/۳۷		ضریب تغییرات (/.)

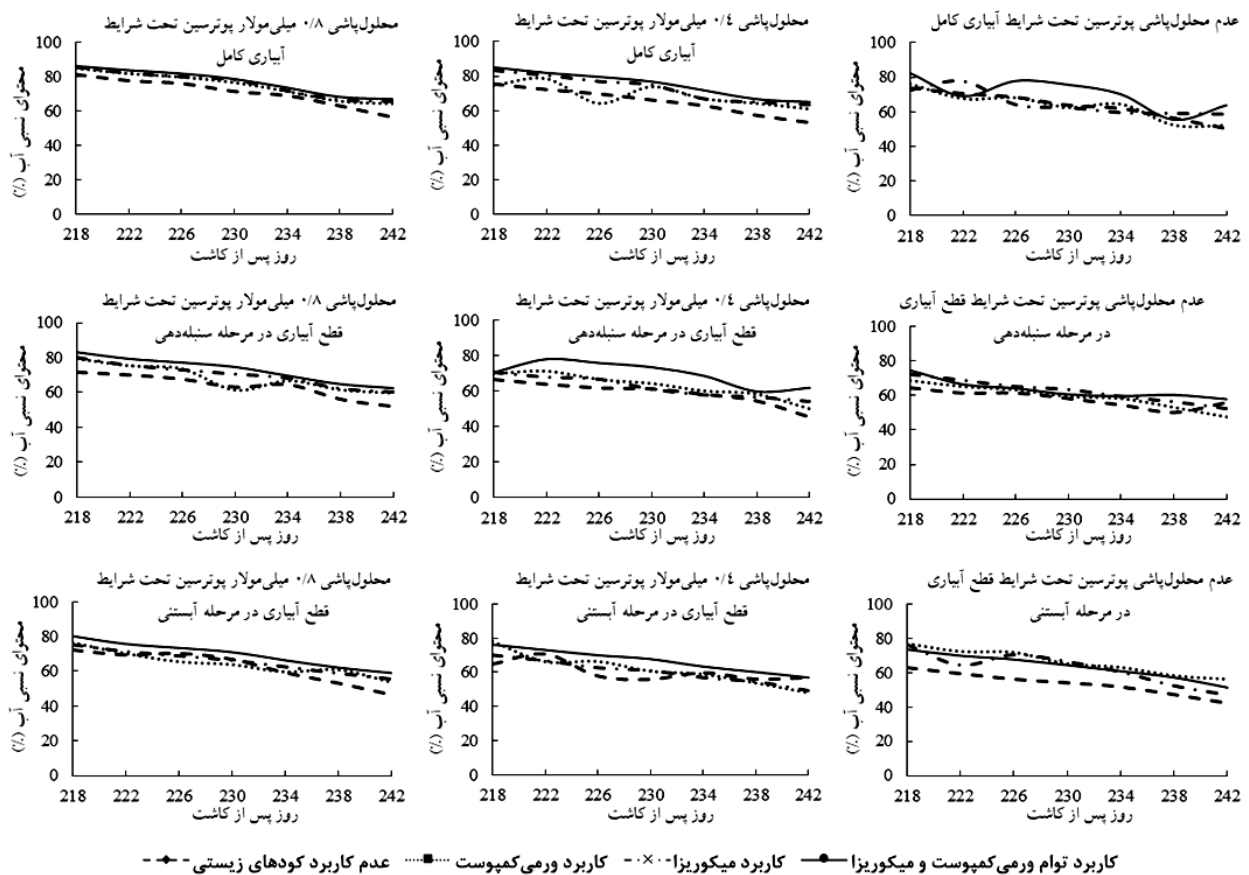
^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

(جدول ۶). گرچه روند تغییرات محتوای نسبی آب در طول فصل رشد از الگوی نسبتا یکسانی برخوردار بود ولی با افزایش محدودیت آبی، محتوای نسبی آب برگ پرچم نسبت به شرایط آبیاری کامل در طول دوره رشد، کاهش بیشتری را نشان داد (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین از افزایش ۳۹/۱ درصدی محتوای نسبی در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در همین سطح از محدودیت آبی در ۲۴۲ روز پس از کاشت برخوردار بود (شکل ۱). احتمالا محدودیت آبی، پایداری غشاء سلولی را از طریق ایجاد اختلال در کارایی فتوسیستم II و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی، کاهش می‌دهد که در چنین شرایطی محتوای نسبی آب برگ کاهش می‌یابد (۹). حسین و همکاران (۱۳) نیز کاهش محتوای نسبی آب در شرایط محدودیت آبی را به افزایش نشت الکترولیت از سلول‌های برگ به دلیل تجمع

الکتریکی برگ به واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را به کاهش گونه های فعال اکسیژن به واسطه افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت دادند (۴۱). همچنین، جلیلی و همکاران (۱۶) گزارش کردند محلول پاشی پوترسین از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای اسمولیت‌های سازگار و عملکرد کوانتومی، ضمن کاهش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی، موجب افزایش پایداری غشاء می‌شود. در این بررسی نیز محلول پاشی پوترسین از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، با کاهش محتوای پراکسید هیدروژن، هدایت الکتریکی برگ پرچم را کاهش داد (جدول ۵).

محتوای نسبی آب برگ پرچم

برهم‌کنش توأم میکوریزا، ورمی کمپوست و پوترسین و سطوح آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود



شکل ۱. تأثیر محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم تریتیکاله

کاربرد ورمی کمپوست با افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی، ضمن افزایش فرآیندهای فتوسنتزی و کاهش آسیب به غشاء سلولی، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی شد. بخش دیگری از افزایش محتوای نسبی آب برگ در کاربرد پوترسین را می‌توان به نقش این ماده در تنظیم اسمزی گیاه و خاصیت آنتی‌اکسیدانی این ماده نسبت داد که به‌عنوان یک اسمولیت در شرایط محدودیت آبی، موجب بهبود محتوای نسبی آب می‌شود (۳۹). همچنین به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین، محتوای نسبی آب برگ پرچم را از طریق بهبود فعالیت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و عملکرد کوانتومی (جدول ۵ و شکل ۴) و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (جدول ۵)، افزایش می‌دهد. در این راستا جلیلی و همکاران (۱۶) اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق

گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش پراکسیداسیون لیپیدی نسبت دادند. در چنین شرایطی احتمالاً قارچ میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، مانع از تجمع بیشتر گونه‌های فعال اکسیژن شده و با جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش پایداری غشاء سلولی (جدول ۵)، موجب افزایش محتوای نسبی آب می‌شود (۴۱). همچنین به‌نظر می‌رسد میسلیوم‌های قارچ، سطح جذب بیشتری را برای گیاهان میزبان فراهم کرده و با کمک به نگهداری آب در اطراف گیاه موجب افزایش محتوای نسبی آب گیاهان تلقیح شده می‌شود (۱۵). بخشی از افزایش محتوای نسبی آب به‌واسطه کاربرد ورمی کمپوست را می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی (جدول ۳) و افزایش پایداری غشاء (جدول ۵) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۲۷) اظهار داشتند که

در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۸). همچنین، تیمارهای آبیاری کامل و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین موجب افزایش ۳۰/۳ درصدی محتوای کلروفیل b نسبت به شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین شد (جدول ۹ و ۱۰). به‌نظر می‌رسد افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط محدودیت آبی با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی، کاهش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی موجب کاهش شاخص کلروفیل برگ می‌شود (۴۰). احتمالاً محلول‌پاشی پوترسین از طریق افزایش عملکرد کوانتومی (شکل ۴) و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (جدول ۵)، ضمن کاهش محتوای پراکسید هیدروژن (جدول ۵) و افزایش مقاومت غشاها، می‌تواند موجب افزایش محتوای کلروفیل شود (۱۶). برخی محققان معتقدند پوترسین با تنظیم فعالیت قارچ میکوریزا و افزایش رشد میسلیوم و کمک به جذب و تجمع نیتروژن در گیاهان، موجب افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (۱۱). بخش دیگری از افزایش کلروفیل در شرایط محدودیت آبی به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را می‌توان به افزایش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی برگ پرچم (شکل ۴) نسبت داد. در این راستا عبادی و همکاران (۷) بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا به‌دلیل افزایش پایداری غشاء، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی برگ، با جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها، موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ جو شد. بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۳) که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، می‌تواند از دیگر دلایل افزایش کلروفیل تحت چنین شرایطی باشد. نظری و همکاران (۲۹) نیز افزایش محتوای کلروفیل برگ به‌واسطه کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط محدودیت آبی را، به افزایش فراهمی عناصر غذایی از جمله آهن، روی و نیتروژن در تعدیل اثرات منفی تنش خشکی نسبت دادند.

بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای اسمولیت‌های سازگار و عملکرد کوانتومی، ضمن کاهش محتوای گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی، موجب افزایش پایداری غشاء و در نهایت افزایش محتوای نسبی آب می‌شود.

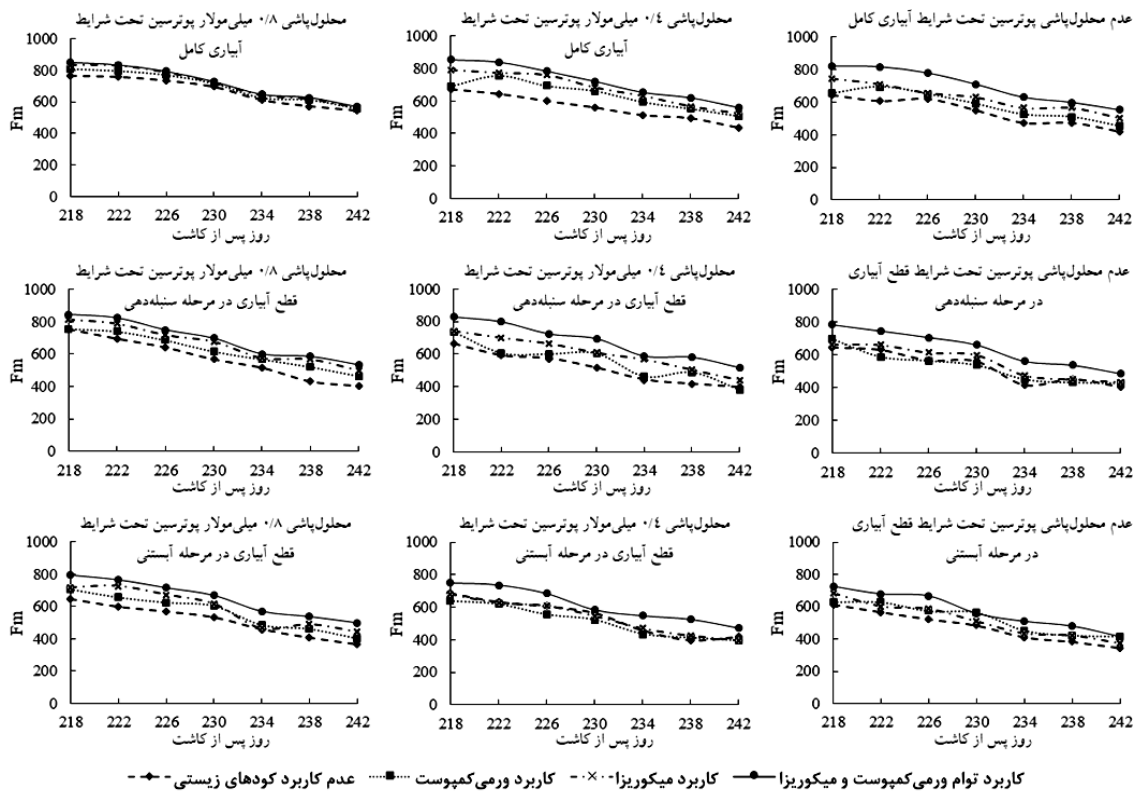
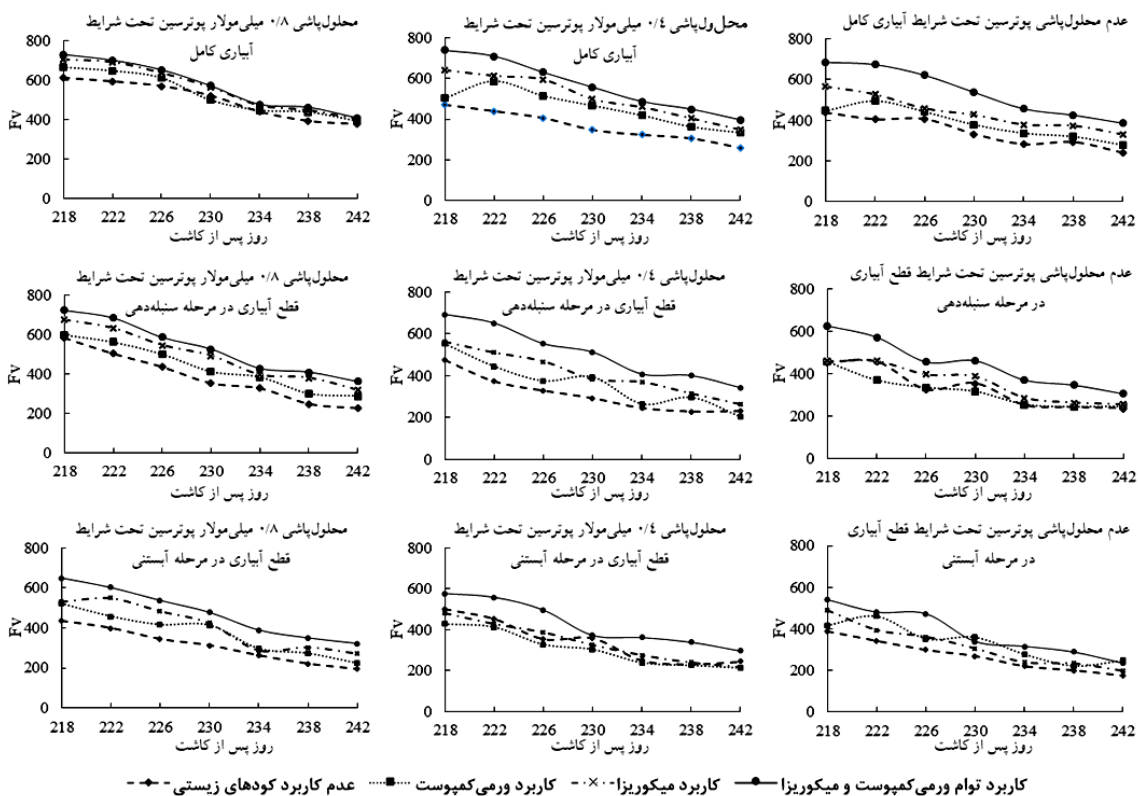
محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و شاخص کلروفیل برگ پرچم

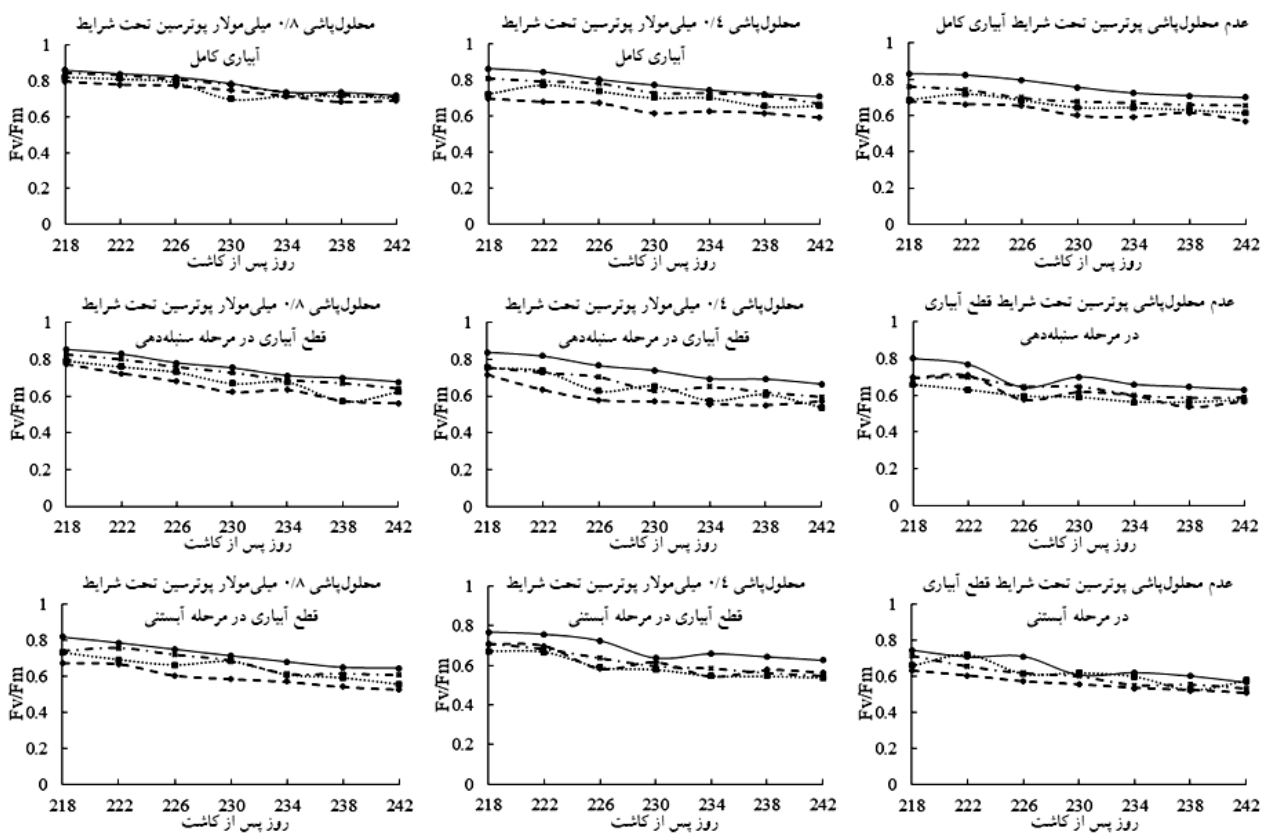
تاثیر تعدیل‌کننده‌های تنش (میکوریزا، ورمی‌کمپوست و پوترسین) و سطوح آبیاری و برهم‌کنش توأم این سه تیمار بر شاخص کلروفیل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری و بر محتوای کلروفیل a در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۷). کاربرد توأم کودهای زیستی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و محلول‌پاشی پوترسین بر محتوای کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). بررسی روند تغییرات شاخص کلروفیل برگ پرچم نشان داد که در تمامی ترکیبات تیماری، با گذشت زمان از روند نزولی نسبتاً مشابهی برخوردار بود، به‌طوری‌که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به‌دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی، اختلال در اجزای فلورسانس کلروفیل (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) و پیر شدن برگ‌ها روند نزولی داشت. با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش، روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد (جدول ۸). نتایج نشان داد که در ۲۴۲ روز پس از کاشت در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریزا و ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین از افزایش ۳۷/۲ درصدی این شاخص نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین برخوردار بود (جدول ۸). بیش‌ترین محتوای کلروفیل a (۳/۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد، به‌طوری‌که این ترکیب تیماری از افزایش ۴۹/۴ درصدی محتوای کلروفیل a نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری

جدول ۷. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و پوترسین بر محتوای رنگیزه‌های فنولستری، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برگ برجم تحت سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات		شاخص کلروفیل (روز پس از کاشت)										شاخص کلروفیل (روز پس از کاشت)	درجه آزادی	منابع تغییر				
		۲۲۲	۲۲۶	۲۳۰	۲۳۴	۲۳۸	۲۴۲	۲۴۶	۲۵۰	۲۵۴	۲۵۸				۲۶۲	۲۶۶	۲۷۰	۲۷۴
۲۱/۶**	۴۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲۱/۶**	۲	تکرار
۵۵/۸**	۳۶/۹**	۱۱۱**	۲۴۰**	۳۷۱**	۱۷۳**	۳۷۱**	۲۴۰**	۱۱۱**	۲۴۰**	۳۷۱**	۱۷۳**	۳۷۱**	۲۴۰**	۱۱۱**	۲۴۰**	۳۷۱**	۲	سطوح آبیاری (I)
۲۸/۳**	۵۵/۹**	۱۲۶**	۱۹۳**	۲۸۸**	۱۸۹**	۲۸۸**	۱۹۳**	۱۲۶**	۱۹۳**	۲۸۸**	۱۸۹**	۲۸۸**	۱۹۳**	۱۲۶**	۱۹۳**	۲۸۸**	۳	کودهای زیستی (B)
۱۷/۵**	۶۷**	۱۶۲**	۱۹۶**	۲۰۶**	۲۰۴**	۲۰۶**	۱۹۶**	۱۶۲**	۱۹۶**	۲۰۶**	۲۰۴**	۲۰۶**	۱۶۲**	۱۹۶**	۲۰۶**	۲۰۴**	۲	پوترسین (P)
۲/۹**	۲/۸ ^{IS}	۹/۷**	۵/۸ ^{IS}	۵/۴ ^{IS}	۱۲/۸**	۱۲/۸**	۵/۴ ^{IS}	۹/۷**	۵/۸ ^{IS}	۱۲/۸**	۱۲/۸**	۵/۴ ^{IS}	۹/۷**	۵/۸ ^{IS}	۱۲/۸**	۱۲/۸**	۶	I×B
۲/۸*	۵/۳**	۱۰**	۷/۸ ^{IS}	۲۱/۳**	۱۳*	۲۱/۳**	۱۳*	۱۰**	۷/۸ ^{IS}	۲۱/۳**	۲۱/۳**	۱۳*	۱۰**	۷/۸ ^{IS}	۲۱/۳**	۲۱/۳**	۴	I×P
۳/۱**	۱/۹ ^{IS}	۳/۸ ^{IS}	۴/۴ ^{IS}	۳/۶ ^{IS}	۶/۱ ^{IS}	۶/۱ ^{IS}	۳/۶ ^{IS}	۴/۴ ^{IS}	۳/۸ ^{IS}	۶/۱ ^{IS}	۶/۱ ^{IS}	۳/۶ ^{IS}	۴/۴ ^{IS}	۳/۸ ^{IS}	۶/۱ ^{IS}	۶	B×P	
۳/۴**	۳/۱*	۸/۳**	۱۲/۹**	۱۲/۹**	۱۷/۹**	۱۲/۹**	۱۷/۹**	۱۲/۹**	۱۲/۹**	۱۷/۹**	۱۲/۹**	۱۷/۹**	۱۲/۹**	۱۲/۹**	۱۷/۹**	۱۲/۹**	۱۲	I×B×P
۰/۸	۱/۶	۲/۱	۳/۸	۳/۸	۴	۳/۸	۴	۲/۱	۳/۸	۳/۸	۴	۲/۱	۳/۸	۳/۸	۴	۷۰	خطا	
۵/۲۵	۶/۲۵	۵/۶۷	۶/۶۲	۶/۵۶	۵/۵۲	۵/۴۱	۵/۴۱	۶/۱۶	۶/۷۵	۵/۵۸	۵/۳۹	۵/۳۹	۵/۷۵	۵/۳۱	۴/۷۵	۵/۳۸	۷۰	ضریب تغییرات (%)

ns* و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.





شکل ۴. تأثیر محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم تربیتکاله

نشان می‌دهد که در تمامی ترکیبات تیماری با گذشت زمان، از روند نزولی نسبتاً مشابهی برخوردار بود، به طوری که مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه برداری بالا بوده و سپس تا انتهای فصل رشد به دلیل نزدیک شدن به مرحله رسیدگی و کاهش محتوای نسبی آب (شکل ۱)، روند نزولی داشت. البته با کاربرد میکوریزا، ورمی کمپوست و پوترسین روند تغییرات این شاخص نوسان کمتری نشان داد (جدول ۸). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ۲۴۲ روز بعد از کاشت، بیشترین هدایت روزنه‌ای ($18/5 \text{ mmolH}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) در کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا و محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) مشاهده شد که از افزایش ۳۲/۱۴ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود (جدول ۸). اختلال در عملکرد کوانتومی

سایر محققین نیز بیان کردند که کاربرد ورمی کمپوست در شرایط محدودیت آبی از یک سو با افزایش جذب عناصر آهن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و از سوی دیگر با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی، موجب افزایش محتوای کلروفیل شد (۵). همچنین گزارش شده است که کاربرد ورمی کمپوست در شرایط محدودیت آبی با آزادسازی تدریجی عناصر به‌ویژه نیتروژن، موجب افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و افزایش سنتز کلروفیل می‌شود (۱۲).

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم

معنی‌دار شدن برهم‌کنش فاکتورهای مورد بررسی بر هدایت الکتریکی در مراحل مختلف نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد (جدول ۷) و بررسی روند تغییرات این شاخص

ادامه جدول ۸

۱۵/۶۴-t	۱۹/۱۰۰	۲۴/۱۰۰	۲۷/۱۰۰	۲۹/۱۰۰	۳۴/۱۰۰	۳۵/۱۰۰	۳۷/۱۰۰	۳۸/۱۰۰	۳۹/۱۰۰	۴۱/۱۰۰	۴۴/۱۰۰	۴۹/۱۰۰	۵۳/۱۰۰	۶۹/۱۰۰	$I_2 \times B_1 \times P_3$
۱۷/۵۰-b	۲۰/۱۰۰	۲۶/۱۰۰	۳۰/۱۰۰	۳۴/۱۰۰	۳۷/۱۰۰	۳۸/۱۰۰	۳۹/۱۰۰	۴۰/۱۰۰	۴۱/۱۰۰	۴۲/۱۰۰	۴۳/۱۰۰	۴۴/۱۰۰	۴۵/۱۰۰	۶۰/۱۰۰	$I_2 \times B_2 \times P_3$
۱۸/۸۰-d	۲۱/۱۰۰	۲۸/۱۰۰	۳۳/۱۰۰	۳۶/۱۰۰	۳۸/۱۰۰	۳۹/۱۰۰	۴۰/۱۰۰	۴۱/۱۰۰	۴۲/۱۰۰	۴۳/۱۰۰	۴۴/۱۰۰	۴۵/۱۰۰	۴۶/۱۰۰	۶۵/۱۰۰	$I_2 \times B_3 \times P_3$
۱۹/۶۰-f	۲۲/۱۰۰	۲۹/۱۰۰	۳۴/۱۰۰	۳۷/۱۰۰	۳۸/۱۰۰	۳۹/۱۰۰	۴۰/۱۰۰	۴۱/۱۰۰	۴۲/۱۰۰	۴۳/۱۰۰	۴۴/۱۰۰	۴۵/۱۰۰	۴۶/۱۰۰	۶۸/۱۰۰	$I_2 \times B_4 \times P_3$
۱۴-u	۱۵/۹۰	۲۰/۳۰	۲۲/۱۰	۲۳/۳۰	۲۷/۳۰	۳۱/۴۰	۳۲/۱۰	۳۳/۳۰	۳۴/۴۰	۳۷/۲۰	۳۹/۴۰	۴۳/۳۰	۴۷/۶۰	۶۹/۶۰	$I_3 \times B_1 \times P_1$
۱۷/۷۰-b	۱۹/۱۰۰	۲۴/۱۰۰	۲۵/۱۰۰	۲۹/۱۰۰	۳۴/۱۰۰	۳۶/۱۰۰	۳۷/۱۰۰	۳۸/۱۰۰	۳۹/۱۰۰	۴۰/۱۰۰	۴۱/۱۰۰	۴۲/۱۰۰	۴۳/۱۰۰	۵۶/۱۰۰	$I_3 \times B_2 \times P_1$
۱۵/۳۰-u	۲۰/۴۰	۲۵/۱۰	۲۹/۱۰	۳۱/۱۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۴۴/۱۰	۵۱/۱۰	$I_3 \times B_3 \times P_1$
۱۶/۹۰-s	۱۹/۱۰۰	۲۴/۳۰	۲۷/۱۰	۳۰/۱۰	۳۳/۱۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۵۷/۱۰	$I_3 \times B_4 \times P_1$
۱۷/۳۰-p	۱۶/۱۰۰	۲۱/۱۰۰	۲۳/۱۰	۲۵/۱۰	۲۹/۱۰	۳۲/۱۰	۳۳/۱۰	۳۴/۱۰	۳۵/۱۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۸/۱۰	$I_3 \times B_1 \times P_2$
۱۶/۴۰-m	۱۹/۱۰۰	۲۲/۱۰	۲۵/۱۰	۲۷/۱۰	۳۱/۱۰	۳۴/۱۰	۳۵/۱۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۵۲/۱۰	$I_3 \times B_2 \times P_2$
۱۶/۶۰-m	۲۰/۶۰	۲۳/۱۰	۲۶/۱۰	۲۸/۱۰	۳۲/۱۰	۳۵/۱۰	۳۶/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۵۳/۱۰	$I_3 \times B_3 \times P_2$
۱۷/۹۰-m	۲۰/۶۰	۲۵/۱۰	۳۰/۱۰	۳۳/۱۰	۳۷/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۴۴/۱۰	۴۵/۱۰	۴۶/۱۰	۶۰/۱۰	$I_3 \times B_4 \times P_2$
۱۵/۵۰-t	۲۰/۶۰	۲۷/۳۰	۳۰/۴۰	۳۳/۱۰	۳۶/۳۰	۳۸/۶۰	۳۹/۱۰	۴۰/۳۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۴۴/۱۰	۴۵/۱۰	۵۱/۱۰	$I_3 \times B_1 \times P_3$
۱۷/۱۰-q	۲۰/۳۰	۲۴/۱۰	۲۶/۱۰	۲۹/۱۰	۳۳/۱۰	۳۵/۱۰	۳۷/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۵۵/۱۰	$I_3 \times B_2 \times P_3$
۱۷/۶۰-b	۲۱/۱۰	۲۵/۱۰	۲۸/۱۰	۳۱/۱۰	۳۵/۱۰	۳۸/۱۰	۳۹/۱۰	۴۰/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۴۴/۱۰	۴۵/۱۰	۶۲/۱۰	$I_3 \times B_3 \times P_3$
۱۸/۵۰-k	۲۱/۱۰	۲۸/۱۰	۳۲/۱۰	۳۵/۱۰	۳۸/۱۰	۴۱/۱۰	۴۲/۱۰	۴۳/۱۰	۴۴/۱۰	۴۵/۱۰	۴۶/۱۰	۴۷/۱۰	۴۸/۱۰	۶۵/۱۰	$I_3 \times B_4 \times P_3$
۱/۵۲	۲/۰۷	۲/۳۹	۳/۱۷	۳/۲۱	۳/۲۱	۳/۲۸	۳/۸۶	۳/۳۲	۳/۳۲	۳/۸۲	۴/۴۲	۵/۱۲	۵/۵۵	۰/۲۸	LSD

I_1 و I_2 به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله‌دهی و آبیاری.

B_1 ، B_2 ، B_3 و B_4 به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، میکوریزا، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا.

P_1 ، P_2 و P_3 به ترتیب عدم مخلوط‌پاشی پوترسین و مخلوط‌پاشی ۴/۰ و ۸/۰ میلی‌مولار پوترسین.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

جدول ۹. مقایسه میانگین اثرات اصلی کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و پوترسین بر محتوای کلروفیل b برگ پرچم تربیتکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

کلروفیل b (mg/gFW)	تیمار
۱/۹۶ ^a	I ₁
۱/۷۶ ^b	I ₂
۱/۶۸ ^b	I ₃
۰/۰۴	LSD
۱/۶۷ ^d	B ₁
۱/۷۲ ^c	B ₂
۱/۸۳ ^b	B ₃
۱/۹۷ ^a	B ₄
۰/۰۴۶	LSD
۱/۶۸ ^c	P ₁
۱/۸۱ ^b	P ₂
۱/۹۱ ^a	P ₃
۰/۰۴۳	LSD

I₁, I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله دهی و آبستنی. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. P₁, P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول پاشی پوترسین و محلول پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی مولار پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین تاثیر کاربرد کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای کلروفیل b برگ پرچم تربیتکاله

کلروفیل b (mg/g FW)				تیمار
B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	
۱/۸۹ ^{ab}	۱/۷۱ ^d	۱/۵۶ ^{ef}	۱/۵۴ ^f	P ₁
۱/۹۹ ^a	۱/۸۱ ^{bcd}	۱/۷۳ ^{cd}	۱/۷۱ ^{de}	P ₂
۲/۰۱ ^a	۱/۹۷ ^a	۱/۸۸ ^{abc}	۱/۷۶ ^{bcd}	P ₃
۰/۱۴				LSD

B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. P₁, P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول پاشی پوترسین و محلول پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی مولار پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

را می توان به افزایش محتوای نسبی آب (شکل ۱) نسبت داد. در این راستا برخی محققین اظهار داشتند که کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی با بهبود فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه ای برگ جو شد (۲۶ و ۳۴). با توجه به اینکه ورمی کمپوست دارای عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بوده و

(شکل ۴) و فرآیندهای فتوسنتزی در شرایط محدودیت آبی، موجب افزایش تجمع گونه های فعال اکسیژن می شود که با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پایداری غشاء و محتوای نسبی آب (جدول ۵ و شکل ۱)، هدایت روزنه ای برگ را کاهش می دهد (۹). بخشی از بهبود هدایت روزنه ای برگ پرچم در شرایط محدودیت آبی به واسطه محلول پاشی پوترسین

متغیر نشان‌گر احیای کامل کینون است، لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اختلال در انتقال الکترون به‌وسیله محدودیت آبی موجب کاهش آن شده است (۳۰). همچنین، کاربرد توأم میکوریزا، ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب افزایش ۴۵/۱ درصدی فلورسانس حداکثر (F_m) نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین تحت همین سطح از سطوح آبیاری در ۲۴۲ روز پس از کاشت شد (شکل ۳). کاهش در میزان فلورسانس حداکثر و متغیر، نشان‌دهنده کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش فعالیت آنزیم روبیسکو، تخریب غشاء تیلاکوئید و در نهایت کاهش فتوسنتز است (۳۷). بنابراین کاهش میزان فلورسانس حداکثر می‌تواند به کم‌شدن فعالیت آنزیم تجزیه‌کننده آب و چرخه انتقال الکترون در اطراف یا درون فتوسیستم II مرتبط باشد (۴۳). فلورسانس حداکثر (F_m) در اثر تابش فوتون‌های نوری و احیای تمامی ناقل‌های الکترون و در اثر بسته بودن همه مراکز واکنش ایجاد می‌شود (۲۲). زمانی که همه مراکز واکنشی فتوسیستم II بسته است، افزایش تدریجی عملکرد فلورسانس صورت گرفته و سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی رو به کاهش است و هر چه بسته‌شدن سیستم دیرتر انجام شود، یعنی بتواند تعداد الکترون‌های بیشتری را پذیرا باشد، سیستم از کارایی بیشتر برخوردار بوده یا فلورسانس حداکثر آن بالاتر خواهد بود. در واقع، افزایش فلورسانس حداقل به فلورسانس حداکثر به‌دلیل کوئینون B (Q_B) و مخزن بزرگی از پلاستوکوئینون است (۲۲). بر اساس نتایج، در شرایط قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی، کاهش قابل‌توجهی در فلورسانس حداکثر و در تخریب فتوشیمیایی مشاهده نشد، درحالی‌که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، اثر محدودیت آبی بر سیستم فتوشیمیایی کاهش قابل‌توجه در فلورسانس حداکثر بود (شکل ۳).

عملکرد کوانتومی برگ پرچم

روند تغییرات این شاخص در شرایط محدودیت آبی و آبیاری

می‌تواند موجب افزایش رشد ریشه و جذب آب توسط ریشه شود، از این‌رو در شرایط محدودیت آبی همانند شرایط آبیاری کامل، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای در گیاه می‌شود (۱۷). بنافاری و همکاران (۵) نیز گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا تحت شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود پتانسیل آب برگ‌ها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ شد.

فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر)

برگ پرچم

بر اساس جدول تجزیه واریانس برهم‌کنش توأم فاکتورهای آزمایشی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس حداکثر (F_m) و فلورسانس متغیر (F_v) و عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۱، ۱۲ و ۱۳). نتایج نشان داد با گذشت زمان فلورسانس متغیر برگ پرچم در تمامی ترکیبات تیماری از روند نزولی برخوردار بود (شکل ۲)، به‌طوری‌که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، بیشترین میزان فلورسانس متغیر برگ پرچم (۳۲۲) در ترکیب تیماری کاربرد توأم میکوریزا، ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد که از افزایش ۸۴/۹ درصدی نسبت به ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در این سطح از سطوح آبیاری در ۲۴۲ روز پس از کاشت برخوردار بود (شکل ۲). اصولاً میزان فلورسانس زمانی که پذیرنده الکترون در حالت احیا باشد، زیاد بوده و به این دلیل میزان فلورسانس متغیر نیز در این شرایط زیاد می‌شود، ولی موقعی‌که کینون در حالت اکسیداسیون باشد میزان فلورسانس کلروفیل a کم شده و در نتیجه میزان فلورسانس متغیر کاهش پیدا می‌کند (۳۰). بخشی از کاهش میزان فلورسانس متغیر توسط تنش‌های محیطی به‌دلیل ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II است. با توجه به اینکه فلورسانس

جدول ۱۱. تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کودهای زیستی و پوترسین بر فلورسانس متغیر (Fv) برگ پرچم تریتیکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
فلورسانس متغیر (Fv) (روز پس از کاشت)								
۲۴۲	۲۳۸	۲۳۴	۲۳۰	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸		
۳۰۴۶۳**	۳۲۵۳۲**	۳۳۵۵۷**	۱۴۱۴۰**	۸۴۳۷**	۱۰۱۸ ^{ns}	۹۴۳۶**	۲	تکرار
۱۱۱۷۵۹**	۱۵۴۷۷۰**	۱۵۷۲۴۵**	۱۳۱۴۷۷**	۱۹۶۲۴۶**	۱۵۱۸۳۵**	۱۰۵۳۳۸**	۲	سطوح آبیاری (I)
۴۵۳۲۱**	۷۴۰۰۰**	۷۱۲۲۷**	۸۶۸۶۱**	۱۴۵۰۶۱**	۱۶۶۱۷۵**	۱۶۹۶۷۴**	۳	کودهای زیستی (B)
۲۷۳۷۹**	۳۷۶۰۰**	۵۵۲۹۵**	۷۹۳۶۹**	۱۲۴۵۵۴**	۱۲۱۵۱۹**	۱۳۴۱۶۷**	۲	پوترسین (P)
۱۲۳۵ ^{ns}	۱۳۰۷**	۲۳۶۵**	۴۸۹۳*	۷۷۹ ^{ns}	۵۱۱۳ ^{ns}	۳۸۱۸*	۶	I×B
۳۱۸۴**	۱۱۳۲*	۳۲۱۷**	۲۳۱۷ ^{ns}	۴۱۴۷/۹**	۴۰۹۰ ^{ns}	۵۲۶۲*	۴	I×P
۱۲۳۶ ^{ns}	۱۴۰۷**	۲۷۳۶**	۱۳۰۱ ^{ns}	۳۹۴۱**	۴۱۰۳ ^{ns}	۲۵۸۸ ^{ns}	۶	B×P
۳۲۲۵**	۱۴۲۳**	۲۱۶۲**	۶۸۶۹**	۳۳۵۹**	۷۲۶۷**	۵۱۹۲**	۱۲	I×B×P
۸۹۹	۳۸۹	۳۸۴	۱۸۱۲	۸۸۹	۲۶۴۳	۱۵۴۸/۵	۷۰	خطا
۱۰/۵۱	۶/۱۸	۵/۶۹	۱۰/۳۱	۶/۴۳	۹/۸۱	۷/۰۷		ضریب تغییرات (%)

ns. * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۱۲. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر فلورسانس حداکثر (Fm) برگ پرچم تریتیکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
فلورسانس حداکثر (Fm) (روز پس از کاشت)								
۲۴۲	۲۳۸	۲۳۴	۲۳۰	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸		
۷۲۴۷۴**	۷۴۳۹۷**	۴۲۰۰۶**	۳۴۱۸۴**	۶۷۷۹**	۴۶۱۵*	۴۳۰ ^{ns}	۲	تکرار
۹۸۷۸۷**	۱۳۱۲۷۰**	۱۲۶۵۸۵**	۹۱۹۴۲**	۱۰۰۰۸۶**	۹۴۰۸۰**	۵۰۲۴۶**	۲	سطوح آبیاری (I)
۴۴۸۲۷**	۶۵۹۶۱**	۶۰۴۸۲**	۵۶۱۹۱**	۸۴۳۲۸**	۱۰۳۵۶۳۲**	۸۵۰۷۴**	۳	کودهای زیستی (B)
۲۵۰۲۶**	۳۲۶۸۶**	۴۷۹۲۵**	۵۲۳۹۵**	۶۰۷۱۴**	۷۷۱۶۷**	۶۲۷۵۷**	۲	پوترسین (P)
۱۰۰۷ ^{ns}	۸۲۲ ^{ns}	۲۵۶۹**	۲۵۵۲*	۶۵۱ ^{ns}	۳۱۹۵*	۲۰۹۹*	۶	I×B
۲۶۰۶*	۶۳۹ ^{ns}	۲۱۹۲**	۱۴۵۸ ^{ns}	۱۲۹۵ ^{ns}	۲۹۰۲ ^{ns}	۲۰۶۸ ^{ns}	۴	I×P
۹۳۹ ^{ns}	۱۷۹۰*	۲۸۳۶**	۷۱۱ ^{ns}	۲۹۳۲*	۲۵۱۰ ^{ns}	۱۳۲۴ ^{ns}	۶	B×P
۲۸۱۸**	۱۶۰۷**	۱۵۰۲**	۴۳۹۲*	۲۵۸۱*	۳۳۳۶**	۲۸۹۵**	۱۲	I×B×P
۸۴۳	۶۵۳	۶۰۵	۱۱۰۷	۱۱۰۷	۱۲۴۴	۹۵۹	۷۰	خطا
۶/۳۲	۵/۰۷	۴/۶۵	۵/۴۲	۵/۰۲	۵/۰۲	۴/۲۳		ضریب تغییرات (%)

ns. * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۱۳. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم تربیتکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
عملکرد کوانتومی (F_v/F_m) (روز پس از کاشت)								
۲۴۲	۲۳۸	۲۳۴	۲۳۰	۲۲۶	۲۲۲	۲۱۸		
۰/۰۰۹۴**	۰/۰۰۲۶**	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۰۲۸**	۰/۰۲۵**	۰/۰۰۸۷**	۰/۰۱۹**	۲	تکرار
۰/۰۰۹۳**	۰/۱۰۴**	۰/۰۹۶**	۰/۰۰۶۸**	۰/۱**	۰/۰۵۲**	۰/۰۴۴**	۲	سطوح آبیاری (I)
۰/۰۰۳۶**	۰/۰۴۹**	۰/۰۴۳**	۰/۰۰۵۱**	۰/۰۷۳**	۰/۰۵۹**	۰/۰۶۷**	۳	کودهای زیستی (B)
۰/۰۰۲۱**	۰/۰۲۴**	۰/۰۳۴**	۰/۰۰۴۶**	۰/۰۷۳**	۰/۰۴۳**	۰/۰۵۹**	۲	پوترسین (P)
۰/۰۰۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۵*	۰/۰۰۰۱۴*	۰/۰۰۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۲ ^{ns}	۶	I×B
۰/۰۰۰۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۵۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۳۷**	۰/۰۰۰۰۸۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲ ^{ns}	۴	I×P
۰/۰۰۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۸*	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۰۱۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۶ ^{ns}	۶	B×P
۰/۰۰۰۲۶**	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۰۰۴۲**	۰/۰۰۰۰۱۸*	۰/۰۰۰۰۴۹**	۰/۰۰۰۰۲۲**	۱۲	I×B×P
۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۶۲	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۹	۷۰	خطا
۵/۲۶	۴	۳/۵۷	۶/۱۸	۴/۲۵	۶/۰۷	۴		ضریب تغییرات (%)

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

هدایت روزنه‌ای ضمن بهبود فعالیت آنزیم روبیسکو، موجب افزایش عملکرد کوانتومی برگ جو شد. جلیلی و همکاران (۱۶) نیز اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن، ضمن افزایش پایداری غشاء و محتوای کلروفیل، موجب افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی شد.

ورمی‌کمپوست به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی موجب بهبود رشد، افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو، حفاظت از یکپارچگی غشاء تیلاکوئید و بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، اجزای فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی می‌شود (۳۷). حسین‌زاده و همکاران (۱۲) افزایش عملکرد کوانتومی برگ در شرایط محدودیت آبی به واسطه کاربرد ورمی‌کمپوست را، به آزادسازی تدریجی عناصر به‌ویژه نیتروژن، افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و سنتز بیشتر کلروفیل نسبت دادند. همچنین، موسوی و همکاران (۲۶) بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و

کامل، از الگوی نسبتا یکسانی برای تمامی تیمارها تبعیت کرد (شکل ۴). با این تفاوت که در ۲۴۲ روز پس از کاشت، ترکیب تیماری کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی از بیشترین عملکرد کوانتومی (۰/۶۴) و از افزایش ۲۷/۶ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی در ۲۴۲ روز پس از کاشت برخوردار بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد تحت شرایط محدودیت آبی محلول‌پاشی پوترسین، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی (شکل‌های ۲، ۳ و ۴) را به واسطه بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برگ پرچم (شکل ۲ و جدول ۸)، افزایش داده است. در این راستا اسکورون و تورجک (۳۴) بیان کردند که کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و

فتوستتزی بیشتر و افزایش ارتفاع بوته می‌شود (۲۰). آقای و همکاران (۱) نیز بیان کردند که کاربرد قارچ میکوریزا با کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ، موجب افزایش طول سنبله گندم می‌شود. بخشی از افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله در شرایط محدودیت آبی را می‌توان به بالا بودن غلظت آهن، روی و نیتروژن موجود در ورمی‌کمپوست مورد استفاده (جدول ۳) نسبت داد که از عناصر اساسی در سنتز کلروفیل محسوب می‌شوند، که با افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۸ و ۱۰) موجب افزایش فتوستتزی و در نهایت بهبود ارتفاع بوته و طول سنبله می‌شود (۲۹). همچنین، گزارش شده است که بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز به‌واسطه کاربرد پوترسین ضمن کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای کلروفیل و تعداد دانه در سنبله، موجب افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله جو شد (۳۱). حسین و همکاران (۱۴) نیز افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله گندم به‌واسطه کاربرد پوترسین را، به بهبود مکانیسم‌های حفاظتی و افزایش محتوای کلروفیل نسبت دادند.

تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه

در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریزا و ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین موجب افزایش به‌ترتیب ۳۷/۴ و ۳۲/۹ درصدی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در همین سطح از سطوح آبیاری شد (جدول ۱۷). به‌نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی برگ به‌دلیل منفی‌تر شدن پتانسیل آب برگ، کاهش می‌یابد که ضمن ایجاد اختلال در فرآیندهای فتوستتزی، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه را کاهش می‌دهد (۳۵)، که با یافته‌های این بررسی هم‌خوانی داشت (جدول ۱۷). از طرفی کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی از طریق بهبود مکانیسم‌های حفاظتی و افزایش محتوای کلروفیل، موجب

فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را به افزایش پایداری غشاء، محتوای نسبی آب و محتوای کلروفیل برگ نسبت دادند. یافته‌های این پژوهش با بررسی‌های نظری و همکاران (۲۷) مبنی بر اینکه کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا در شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش دسترسی به عناصر غذایی، بهبود شاخص کلروفیل و محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی، موجب افزایش فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ تریپتیکاله شد، هم‌خوانی داشت (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

ارتفاع بوته و طول سنبله

تاثیر تیمارهای کودهای زیستی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا)، محلول‌پاشی پوترسین و سطوح آبیاری و برهم‌کنش توأم این تیمارها بر طول سنبله در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۴). ولی در رابطه با ارتفاع بوته تریپتیکاله تاثیر برهم‌کنش کودهای زیستی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا) و سطوح آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۴). بیش‌ترین ارتفاع بوته (۹۸ سانتی‌متر) در تیمار محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد (جدول ۱۵). محلول‌پاشی در شرایط محدودیت شدید آبی، کاربرد میکوریزا و ورمی‌کمپوست موجب افزایش ۱۷/۱ درصدی ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی شد (جدول ۱۶). همچنین، تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریزا با ورمی‌کمپوست و پوترسین از افزایش ۳۳/۳ درصدی طول سنبله نسبت به عدم کاربرد آن‌ها برخوردار بود (جدول ۱۷). احتمالاً محدودیت آبی از طریق ایجاد اختلال در وضعیت آبی و افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، موجب کاهش پایداری غشاء، کاهش شاخص کلروفیل، سرعت فتوستتزی و در نهایت کاهش رشد و طول سنبله می‌شود (۴۰). در چنین شرایطی کاربرد قارچ میکوریزا از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای نسبی آب، محتوای کلروفیل و عملکرد کوانتومی موجب بهبود سرعت فتوستتزی و تولید مواد

جدول ۱۴. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		ارتفاع بوته	طول سنبله	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۸۴۷**	۱۹/۳**	۸۴/۲**	۱۱۸**
سطوح آبیاری (I)	۲	۵۲۷**	۹/۸۱**	۴۵۴**	۳۱۷**
کودهای زیستی (B)	۳	۸۲۴**	۸/۵۱**	۳۵۸**	۲۴۰**
پوترسین (P)	۲	۲۱۷**	۸/۷۲**	۲۵۱**	۱۵۸**
I×B	۶	۶۵/۵*	۰/۶۱ ^{ns}	۱۵/۹*	۳۰/۵**
I×P	۴	۵۳/۱ ^{ns}	۱/۶۳**	۱۲/۵ ^{ns}	۱۸/۸*
B×P	۶	۲۴/۳ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}	۲۹/۲**	۲۰/۲*
I×B×P	۱۲	۴۵/۱ ^{ns}	۱**	۱۲/۳*	۱۳/۴*
خطا	۷۰	۲۴/۲	۰/۳۴	۶	۷
ضریب تغییرات (%)		۵/۱۷	۶/۰۳	۵/۳۸	۵/۴۹
					۵/۱۹

ns. * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۱۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی کودهای زیستی و پوترسین بر ارتفاع بوته تریتیکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

ارتفاع بوته (cm)	سطوح آبیاری
۹۹/۵ ^a	I ₁
۹۳/۹ ^b	I ₂
۹۲/۱ ^b	I ₃
۲/۳۱	LSD
ارتفاع بوته (cm)	کودهای زیستی
۸۹ ^d	B ₁
۹۲/۶ ^c	B ₂
۹۷/۳ ^b	B ₃
۱۰۱ ^a	B ₄
۲/۶۷	LSD
ارتفاع بوته (cm)	محلول پاشی پوترسین
۹۳/۵ ^b	P ₁
۹۴ ^b	P ₂
۹۸ ^a	P ₃
۲/۳۱	LSD

I₁, I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله دهی و آبستنی. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. P₁, P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول پاشی پوترسین و محلول پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی مولار پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

جدول ۱۶. مقایسه میانگین تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کودهای زیستی بر ارتفاع بوته تریتیکاله

ارتفاع بوته (cm)				
کودهای زیستی				تیما
B ₄	B ₃	B ₂	B ₁	سطوح آبیاری
۱۰۶ ^a	۱۰۰ ^{b-c}	۹۴/۴ ^{d-e}	۹۶/۵ ^{b-e}	I ₁
۱۰۱ ^{a-b}	۹۵/۰ ^{c-e}	۹۱/۶ ^{e-f}	۸۷/۷ ^{f-g}	I ₂
۹۷/۱ ^{b-d}	۹۶/۵ ^{b-e}	۹۱/۹ ^{d-f}	۸۲/۸ ^g	I ₃
۵/۳۱				LSD

I₁، I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله‌دهی و آبستنی، B₁، B₂، B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا، P₁، P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول‌پاشی پوترسین و محلول‌پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

زیستی (ورمی کمپوست و میکوریزا)، محلول‌پاشی پوترسین و سطوح آبیاری و برهم‌کنش توأم این تیمارها بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک و پنج معنی‌دار بود (جدول ۱۴). بیشترین عملکرد دانه (۵۷۱ گرم در مترمربع) در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) در کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین مشاهده شد که از افزایش ۲۶/۲ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین تحت همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود (جدول ۱۷). به نظر می‌رسد کاهش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها در شرایط محدودیت آبی موجب اختلال در عملکرد کوانتومی و افزایش تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود، که ضمن افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش پایداری غشاء، شاخص کلروفیل گیاه را کاهش می‌دهد. در چنین شرایطی با کاهش سرعت فتوسنتز و اجزای عملکرد، عملکرد دانه گیاه کاهش می‌یابد (۴۰). در این راستا سومر و همکاران (۳۵) گزارش کردند که محدودیت آبی از طریق کاهش پتانسیل آب برگ‌ها، کاهش شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی برگ موجب اختلال در فرآیندهای فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه گندم می‌شود. به نظر می‌رسد کاربرد قارچ میکوریزا از طریق افزایش جذب فسفر، کاهش نشت الکترولیت و بهبود محتوای

افزایش تعداد دانه می‌شود (۱۴). سلم و همکاران (۳۱) نیز اظهار داشتند که کاربرد پوترسین از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، ضمن کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه جو شد.

بخشی از افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه به‌واسطه کاربرد قارچ میکوریزا را می‌توان به کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۵) و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ پرچم (جدول ۸، شکل ۱ و ۴) نسبت داد. در این راستا آقایی و همکاران (۱) نیز اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا با کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی برگ، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه گندم شد. همچنین، نظری و همکاران (۲۹) افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی به‌واسطه کاربرد ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و افزایش محتوای کلروفیل نسبت دادند.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای کودهای

جدول ۱۷. مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت سطوح مختلف آبیاری

ترکیب تیماری	**طول سنبله (cm)	*تعداد دانه در سنبله	*وزن هزار دانه (g)	*عملکرد دانه (g/m ²)
I ₁ ×B ₁ ×P ₁	۹/۵۶ ^{f-l}	۴۴/۳ ^{i-m}	۴۷/۶ ^{f-k}	۵۱۸ ^{p-s}
I ₁ ×B ₂ ×P ₁	۹/۹۶ ^{c-i}	۴۴/۶ ^{h-m}	۴۹/۷ ^{d-i}	۵۳۹ ^{l-o}
I ₁ ×B ₃ ×P ₁	۹/۰۳ ^{i-o}	۴۶/۴ ^{f-k}	۴۴/۴ ^{j-m}	۵۶۶ ^{g-j}
I ₁ ×B ₄ ×P ₁	۹/۵ ^{f-l}	۵۲/۲ ^{a-d}	۵۴/۴ ^{a-c}	۶۱۰ ^{b-c}
I ₁ ×B ₁ ×P ₂	۹/۷۳ ^{e-k}	۴۵/۲ ^{g-m}	۴۸/۷ ^{e-j}	۵۲۹ ^{n-q}
I ₁ ×B ₂ ×P ₂	۹/۹ ^{d-j}	۵۱/۴ ^{a-d}	۵۳/۴ ^{a-d}	۵۷۸ ^{e-h}
I ₁ ×B ₃ ×P ₂	۱۰/۸ ^{a-c}	۴۳ ^{j-o}	۴۶/۳ ^{g-l}	۵۹۷ ^{c-e}
I ₁ ×B ₄ ×P ₂	۱۱/۱ ^{a-b}	۵۴/۴ ^{a-b}	۵۵/۴ ^{a-b}	۶۱۹ ^{a-b}
I ₁ ×B ₁ ×P ₃	۱۰/۶ ^{a-e}	۴۹/۹ ^{c-f}	۵۳/۲ ^{a-d}	۵۸۶ ^{d-g}
I ₁ ×B ₂ ×P ₃	۱۱/۱ ^{a-b}	۵۳/۱ ^{a-c}	۵۴/۶ ^{a-c}	۶۱۲ ^{a-c}
I ₁ ×B ₃ ×P ₃	۱۱/۲ ^{a-b}	۵۴/۶ ^a	۵۵/۴ ^{a-b}	۶۲۰ ^{a-b}
I ₁ ×B ₄ ×P ₃	۱۱/۴ ^a	۵۵/۰ ^a	۵۶/۴ ^a	۶۳۲ ^a
I ₂ ×B ₁ ×P ₁	۸/۲ ^{n-p}	۳۷/۲ ^p	۴۰/۵ ^{n-m}	۴۶۶ ^{x-z}
I ₂ ×B ₂ ×P ₁	۸/۷۶ ^{l-o}	۳۹/۷ ^{n-p}	۴۲/۶ ^{l-n}	۴۶۹ ^{w-z}
I ₂ ×B ₃ ×P ₁	۹/۱۳ ^{h-n}	۴۲/۴ ^{k-o}	۴۵/۹ ^{h-l}	۵۱۲ ^{q-s}
I ₂ ×B ₄ ×P ₁	۱۰/۱ ^{c-g}	۴۷/۳ ^{e-i}	۵۰/۴ ^{c-g}	۵۵۵ ^{i-l}
I ₂ ×B ₁ ×P ₂	۸/۴۶ ^{m-p}	۳۹/۰ ^{o-p}	۴۲/۵ ^{l-n}	۴۸۳ ^{u-x}
I ₂ ×B ₂ ×P ₂	۱۰/۵ ^{a-e}	۴۳/۲ ^{j-n}	۴۶/۶ ^{g-l}	۵۰۷ ^{t-t}
I ₂ ×B ₃ ×P ₂	۹/۳۶ ^{g-m}	۴۵/۶ ^{g-l}	۴۶/۳ ^{g-l}	۵۳۳ ^{m-p}
I ₂ ×B ₄ ×P ₂	۱۰/۷ ^{a-d}	۵۰/۶ ^{b-e}	۵۲/۷ ^{a-e}	۵۸۹ ^{d-f}
I ₂ ×B ₁ ×P ₃	۹/۲۶ ^{g-m}	۴۳/۱ ^{j-n}	۴۵/۹ ^{h-l}	۴۹۲ ^{t-v}
I ₂ ×B ₂ ×P ₃	۹/۲۳ ^{g-m}	۴۸/۴ ^{d-h}	۴۵/۳ ^{j-l}	۵۴۹ ^{j-m}
I ₂ ×B ₃ ×P ₃	۱۰/۴ ^{b-f}	۴۸/۷ ^{d-g}	۵۰/۴ ^{c-g}	۵۶۵ ^{h-k}
I ₂ ×B ₄ ×P ₃	۱۰/۸ ^{a-c}	۵۱/۵ ^{a-d}	۵۳/۷ ^{a-d}	۶۰۳ ^{b-d}
I ₃ ×B ₁ ×P ₁	۷/۸ ^p	۳۵/۷ ^p	۳۸/۵ ⁿ	۴۵۳ ^z
I ₃ ×B ₂ ×P ₁	۹/۶ ^{f-l}	۳۷/۳ ^p	۴۸/۰ ^{f-k}	۴۵۸ ^{y-z}
I ₃ ×B ₃ ×P ₁	۱۰/۰ ^{c-h}	۴۶/۶ ^{e-j}	۵۰/۰ ^{d-h}	۴۷۷ ^{v-y}
I ₃ ×B ₄ ×P ₁	۹/۶ ^{f-l}	۴۴/۱ ^{i-m}	۴۷/۳ ^{f-k}	۵۲۳ ^{o-r}
I ₃ ×B ₁ ×P ₂	۸/۱۶ ^{o-p}	۳۶/۹ ^p	۴۰/۵ ^{m-n}	۴۶۰ ^{y-z}
I ₃ ×B ₂ ×P ₂	۸/۸۶ ^{k-o}	۴۵/۷ ^{g-l}	۴۴/۳ ^{k-m}	۴۹۹ ^{s-u}
I ₃ ×B ₃ ×P ₂	۹ ^{j-o}	۴۱/۵ ^{m-o}	۴۴/۰ ^{k-m}	۵۰۰ ^{s-u}
I ₃ ×B ₄ ×P ₂	۹/۹۳ ^{c-j}	۴۶/۴ ^{f-j}	۴۸/۶ ^{e-j}	۵۵۴ ^{i-l}
I ₃ ×B ₁ ×P ₃	۹/۷ ^{e-l}	۳۹/۶ ^{n-p}	۴۷/۸ ^{f-k}	۴۸۹ ^{t-w}
I ₃ ×B ₂ ×P ₃	۹/۲۳ ^{h-m}	۴۲/۲ ^{l-o}	۴۵/۴ ^{i-l}	۵۱۵ ^{p-s}
I ₃ ×B ₃ ×P ₃	۹/۷۳ ^{e-k}	۴۵/۶ ^{g-l}	۴۷/۷ ^{f-k}	۵۴۵ ^{k-n}
I ₃ ×B ₄ ×P ₃	۱۰/۴ ^{b-f}	۴۹/۱ ^{d-g}	۵۱/۲ ^{b-f}	۵۷۱ ^{f-i}
LSD	۰/۹۵	۳/۹۹	۴/۳۲	۲۰/۱

I₁ و I₂ و I₃ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مراحل سنبله دهی و آبستنی. B₁، B₂، B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. P₁، P₂ و P₃ به ترتیب عدم محلول پاشی پوترسین و محلول پاشی ۰/۴ و ۰/۸ میلی مولار پوترسین. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد (***) و پنج درصد (*) با هم ندارند.

و پلی فنل اکسیداز برخوردار بود. همچنین قطع آبیاری در مرحله آبستنی موجب کاهش معنی دار محتوای نسبی آب، محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی برگ پرچم شد، ولی کاربرد میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول پاشی پوترسین با تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، موجب بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی شد. کاربرد توأم میکوریزا و ورمی کمپوست و محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین در شرایط آبیاری کامل موجب کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، محتوای رنگیزه‌های فتوستتزی، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد. به نظر می‌رسد کاربرد توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (میکوریزا، ورمی کمپوست و پوترسین) می‌تواند عملکرد دانه تریپتیکاله تحت شرایط محدودیت آبی را، به واسطه بهبود شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، محتوای نسبی آب و سایر صفات فیزیولوژیک افزایش دهد.

تشکر و قدردانی

مقاله مستخرج از بخشی از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد. نویسندگان مراتب سپاس و قدرشناسی خود را از یکایک همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی که همکاری‌های ارزشمندی را در تمامی مراحل اجرای طرح معطوف داشته‌اند اعلام می‌دارند.

کلروفیل و هدایت روزنه‌ای موجب افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌شود (۲۱). عبادی و همکاران (۷) نیز اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا در شرایط محدودیت آبی از طریق کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی ضمن بهبود فتوستتزی جاری موجب افزایش عملکرد دانه جو شد. برخی پژوهشگران نیز افزایش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آبی به واسطه کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا را به افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی اکسیداز و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن نسبت دادند (۲۸). بخش دیگری از افزایش عملکرد دانه به واسطه کاربرد ورمی کمپوست را می‌توان به کاهش هدایت الکتریکی و افزایش محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، فلورسانس متغیر، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی (جدول ۵ و ۸ و شکل ۲) نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (۲۷) گزارش کردند که کاربرد ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا با تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل، شاخص‌های فلورسانس کلروفیل (فلورسانس متغیر و فلورسانس حداکثر) و عملکرد کوانتومی موجب افزایش عملکرد دانه تریپتیکاله شد. سلم و همکاران (۳۱) نیز افزایش عملکرد دانه جو به واسطه کاربرد پوترسین را به کاهش نشت الکترولیت، افزایش محتوای کلروفیل، بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و اجزای عملکرد جو نسبت دادند، که با نتایج به دست آمده از این پژوهش هم‌خوانی داشت.

نتیجه‌گیری

کاربرد توأم کودهای زیستی (میکوریزا و ورمی کمپوست) و محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی از بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز

منابع مورد استفاده

1. Aghaei, F., R. Seyed Sharifi and H. Narimani. 2021. Effects of uniconazole and biofertilizers application on yield and some biochemical characteristics of wheat under soil salinity stress. *Environmental Stresses Sciences* 14(2): 487-499. (In Farsi).
2. Ahmad, A., Z. Aslam, K. Bellitürk, E. Ullah, A. Raza and M. Asif. 2022. Vermicomposting by bio-recycling of animal and plant waste: A review on the miracle of nature. *Journal of Innovative Sciences* 8(2): 175-187. <http://doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.2.175.187>.
3. Alexieva, V., I. Sergiev, S. Mapelli and E. Karanov. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment* 24(12): 1337-1344.
4. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal* 23: 112-121.
5. Benaffari, W., A. Boutasknit, M. Anli, M. Ait-El-Mokhtar, Y. Ait-Rahou, R. Ben-Laouane, H. Ben Ahmed, T. Mitsui, M. Baslam and A. Meddich. 2022. The native *Arbuscular Mycorrhizal* fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. *Plants* 11(3): 393.
6. Campos, C. N., R. G. Avila, K. R. D. De Souza, L. M. Azevedo and J. D. Alves. 2019. Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. *Agricultural Water Management* 211: 37-47.
7. Ebadi, N., R. Seyed Sharifi and H. Narimani. 2020. Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on grain yield, dry matter remobilization and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed condition. *Journal of Crop Production and Processing* 10(2): 123-135. (In Farsi).
8. Gianinazzi, S., H. Schuepp, J. M. Barea and K. Haselwandter. 2001. Mycorrhizal technology in agriculture: From genes to bioproducts. Birkhäuser Basel. Springer, Basel AG.
9. Hannachi, S., A. Signore, M. Adnan and L. Mechi. 2022. Single and associated effects of drought and heat stresses on physiological, biochemical and antioxidant machinery of four eggplant cultivars. *Plants* 11(18): 2404.
10. Hashem, A., E. F. Abd-Allah, A. A. Alqarawi, A. A. Al-Huqail, S. Wirth and D. Egamberdieva. 2016. The interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria enhances plant growth of *Acacia gerrardii* under salt stress. *Frontiers in Microbiology* 7: 1089.
11. Hosseini Farahi, M. and A. Aboutalebi Jahroomi. 2018. Effect of pre-harvest foliar application of polyamines and calcium sulfate on vegetative characteristics and mineral nutrient uptake in *Rosa hybrida*. *Journal of Ornamental Plants* 8(4): 241-253.
12. Hosseinzadeh, S. R., H. Amiri and A. Ismaili. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica* 54(1): 87-92.
13. Hossen, M. S., M. F. Karim, M. Fujita, M. H. M. B. Bhuyan, K. Nahar, A. A. C. Masud, J. A. Mahmud and M. Hasanuzzaman. 2022. Comparative physiology of indica and japonica rice under salinity and drought stress: An intrinsic study on osmotic adjustment, oxidative stress, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification. *Stresses* 2(2): 156-178.
14. Hussein, H. A. A., S. O. Alshammari, M. E. Abd El-Sadek, S. K. M. Kenawy and A. A. Badawy. 2023. The promotive effect of putrescine on growth, biochemical constituents, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under water stress. *Agriculture* 13(3): 587.
15. Izadi, F., M. Ghabooli, M. Rostami and Z. Movahedi. 2021. Evaluation of fungus *Piriformospora indica* effects on some morphophysiological traits of radish under heavy metal stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 31(3): 117-129. (In Farsi).
16. Jalili, I., A. Ebadi, M. A. Askari, S. Kalatejari and M. A. Aazami. 2023. Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in *Vitis vinifera* cv. 'Giziluzum'. *BMC Plant Biology* 23(135): 1-15.
17. Kiran, S. 2019. Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici ClujNapoca* 47(2): 352-358.
18. Kostopoulou, P., N. Barbayiannis and N. Basile. 2010. Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil* 330(1-2): 65-71.
19. Küçüközdemir, Ü., B. Dumlu, Z. Yalçın and H. Karagöz. 2019. Determination of yield, quality and winter hardiness characteristics of some triticale (*X Triticosecale* Wittmack) genotypes in Pasinler and Erzincan locations. *Journal of Crop Breeding and Genetics* 5(2): 74-83.
20. Liu, Y., J. Lu, L. Cui, Z. Tang, D. Ci, X. Zou, X. Zhang, X. Yu, Y. Wang and T. Si. 2023. The multifaceted roles of *Arbuscular Mycorrhizal* fungi in peanut responses to salt, drought, and cold stress. *BMC Plant Biology* 23(36): 1-19.

21. Mehmood, H., M. A. Ali, S. Hussain, K. S. Baig, H. Sultan, S. A. Hasan Naqvi, M. N. Shahid, S. Ali, E. A. Alhomaiddi and R. Datta. 2022. Sole and combined effect of foliarzinc and *Arbuscular mycorrhizae* inoculation on basmati rice growth, productivity and grains nutrient. *PLOS ONE* 17(4): e0266248.
22. Mehta, P., A. Jajoo, S. Mathur and S. Bharti. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 48(1): 16-20.
23. Mirshad, P. P. and J. T. Puthur. 2016. *Arbuscular mycorrhizal* association enhances drought tolerance potential of promising bioenergy grass (*Saccharum arundinaceum* Retz.). *Environmental Monitoring and Assessment* 188(7): 425-445.
24. Mohammadi Kale Sarlou, S., R. Seyed Sharifi and H. Narimani. 2023. Effects of vermicompost, humic acid and *Flabacterium* on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of triticale under soil salinity conditions. *Environmental Stresses Sciences* 15(4): 953-974. (In Farsi).
25. Moludi, A., A. Ebadi, S. Jahanbakhsh, M. Davari and G. Parmoon. 2014. The effect of water deficit and nitrogen on the antioxidant enzymes activity and quantum yield of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Notula Botanica Horticultural Agrobo* 42(2): 398-404.
26. Mousavi, S. S., A. Karami and F. Maggi. 2022. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence of Iranian licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) accessions under salinity stress. *Frontiers in Plant Science* 13: 984944.
27. Nazari, Zh., R. Seyed Sharifi and H. Narimani. 2022. Effect of Mycorrhiza, vermicompost and Nano silicon on agronomic and physiological traits of triticale under different intensities of drought stress. *Crop Production Journal* 14(4): 21-46. (In Farsi).
28. Nazari, Zh., R. Seyed Sharifi, H. Narimani and S. Mohammadi Kale Sarlou. 2022. Effect of water limitation, biofertilizers, and nano silicon on compatible osmolytes and biochemical traits of X *Triticosecale*. *Journal of Crops Improvement* 24(4): 1199-1215. (In Farsi).
29. Nazari, Zh., R. Seyed Sharifi, M. Sedghei and H. Narimani. 2023. Evaluation of yield and grain filling components of triticale (X *Triticosecale* Witt.) affected by application of mycorrhizal fungi, vermicompost and nano-silicon under water deficit conditions. *Environmental Stresses Sciences* 16(1): 53-69. (In Farsi).
30. Paknejad, F., M. Nasri, H. R. Tohidi Moghadam, H. Zahedi and M. Jami Alahmad. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *Journal of Biological Sciences* 7(6): 841-847.
31. Seleem, E. A., H. M. S. Ibrahim and Z. K. Taha. 2021. Exogenous application of ascorbic acid and putrescine: A natural eco-friendly potential for alleviating NaCl stress in barley (*Hordeum vulgare*). *Emirates Journal of Food and Agriculture* 33(8): 657-670.
32. Shao, J., K. Huang, M. Batool, F. Idrees, R. Afzal, M. Haroon, H. A. Noushahi, W. Wu, Q. Hu, X. Lu, G. Huang, M. Aamer, M. U. Hassan and A. El Sabagh. 2022. Versatile roles of polyamines in improving abiotic stress tolerance of plants. *Frontiers in Plant Science* 13: 1003155.
33. Shen, Z., Z. Yu, L. Xu, Y. Zhao, S. Yi, C. Shen, Y. Wang, Y. Li, W. Zuo, C. Gu, Y. Shan and Y. Bai. 2022. Effects of vermicompost application on growth and heavy metal uptake of barley grown in mudflat aalt-affected soils. *Agronomy* 12: 1007.
34. Skowron, E. and M. Trojak. 2021. Effect of exogenously-applied abscisic acid, putrescine and hydrogen peroxide on drought tolerance of barley. *Biologia* 76(2): 453-468.
35. Sommer, S. G., E. Han, X. Li, E. Rosenqvist and F. Liu. 2023. The chlorophyll fluorescence parameter Fv/Fm correlates with loss of grain yield after severe drought in three wheat genotypes grown at two CO₂ concentrations. *Plants* 12(3): 436.
36. Sudhakar, C., A. Lakshmi and S. Giridara Kumar. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science* 167(3): 613-619.
37. Tammam, A., W. El-Aggan, A. Helaly, G. Badr and R. El-Dakak. 2023. Proteomics and photosynthetic apparatus response to vermicompost attenuation of salinity stress *Vicia faba* leaves. *Acta Physiologiae Plantarum* 45(17): 1-20.
38. Tang, H., M. U. Hassan, L. Feng, M. Nawaz, A. N. Shah, S. H. Qari, Y. Liu and J. Miao. 2022. The critical role of *Arbuscular mycorrhizal* fungi to improve drought tolerance and nitrogen use efficiency in crops. *Frontiers in Plant Science* 13: 919166.
39. Toupchi Khosrowshahi, Z. H., S. Y. Slehi- Lisar, K. Ghassemi-Golezani and R. Motafakkerazad. 2018. Physiological responses of safflower to exogenous putrescine under water deficit. *Journal of street physiology & Biochemistry* 14(3): 38-48.
40. Ullah, A., Z. Tian, L. Xu, M. Abid, K. Lei, A. Khanzada, M. Zeeshan, C. Sun, J. Yu and T. Dai. 2022. Improving the effects of drought priming against post-anthesis drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) using nitrogen. *Frontiers in Plant Science* 13: 965996.

41. Wang, H., L. Liang, B. Liu, D. Huang, S. Liu, R. Liu, K. H. M. Siddique and Y. Chen. 2020. *Arbuscular mycorrhizas* regulate photosynthetic capacity and antioxidant defense systems to mediate salt tolerance in maize. *Plant* 9(1430): 1-17.
42. Zhang, G., Y. Sun, H. Sheng, H. Li and X. Liu. 2018. Effects of the inoculations using bacteria producing ACC deaminase on ethylene metabolism and growth of wheat grown under different soil water contents. *Plant Physiology and Biochemistry* 125: 178-184.
43. Zlatev, Z. 2010. Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. *Journal of Biotechnology and Biotechnological Equipment* 23(4): 438-441.

Effect of Putrescine, Vermicompost and Mycorrhiza on Yield, Activity of Antioxidant Enzymes and the Changes of Some Physiological Traits of Triticale in Different Irrigation Regimes

H. Narimani¹, R. Seyed Sharifi^{2*} and M. Sedghi²

(Received: May 23-2023; Accepted: September 02-2023)

Abstract

In order to evaluate the effect of putrescine, vermicompost and mycorrhiza on yield, activity of antioxidant enzymes and some physiological traits of triticale in different irrigation regimes, an experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm of University of Mohaghegh Ardabil, northwest of Iran in 2020. The experimental factors included irrigation in three levels (full irrigation as control; irrigation withholding at 50% of heading, and irrigation withholding at booting stage), application of bio-organic fertilizers in four levels (no application as control, application of vermicompost, mycorrhiza, and simultaneous application of vermicompost and mycorrhiza), foliar application of putrescine in three levels (foliar application with water as control, foliar application of 0.4 and 0.8 mM). The results showed that the irrigation withholding in booting stage with application of mycorrhiza, vermicompost and foliar application of 0.8 mM putrescine increased activity of catalase, peroxidase and polyphenol oxidase enzymes compared with no application of bio-organic fertilizers and putrescine at the same irrigation level. Evaluation of some physiological traits showed that at 242 days after planting, the simultaneous application of vermicompost and mycorrhiza and foliar application of 0.8 mM putrescine under irrigation withholding in booting stage conditions increased the relative water content (39.1%), chlorophyll a content (49.3%), chlorophyll index (37.2%), stomatal conductance (32.1%), variable fluorescence (84.9%), maximum fluorescence (45.1%), and quantum efficiency of photosystem II (27.6%) in comparison with no application of biofertilizers and putrescine at the same irrigation level. Moreover, application of vermicompost and mycorrhiza and foliar application of 0.8 mM putrescine at full irrigation conditions decreased hydrogen peroxide (29.2%), while increased grain yield (39.6%) in comparison with no application of biofertilizers and putrescine under irrigation withholding in booting stage. It seems that the simultaneous application of mycorrhiza and vermicompost and foliar application of putrescine can increase the grain yield of triticale under water limitation conditions due to improvement of antioxidant enzymes activity and some physiological traits.

Keywords: Chlorophyll index, Drought stress, Quantum yield, Relative water content, Stomatal conductance

1 and 2. Ph.D student of Crop Physiology and Professors, Respectively, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

*: Corresponding Author, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com