

تأثیر کودهای زیستی و محلول پاشی با نانواکسید روی و پوترسین بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت شرایط تنش شوری

سارا محمدی کله سرلو، رثوف سید شریفی* و محمد صدقی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانواکسید روی) بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار با نمک کلرید سدیم)، تیمار کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک، قارچ میکوریز آربوسکولار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک، تیمار همزمان ورمی کمپوست و میکوریز)، محلول پاشی پوترسین و نانواکسید روی در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین، محلول پاشی ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی) بودند. نتایج نشان داد که در مراحل ظهور برگ پرچم و سنبله دهی در بالاترین سطح شوری، تیمار همزمان تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، پوترسین و نانواکسید روی)، شاخص سبزیگی برگ (به ترتیب ۳۴/۸ و ۲۹/۵ درصد)، شاخص نیتروژن (به ترتیب ۲۸ و ۶/۲۱ درصد)، هدایت روزنه ای (به ترتیب ۵۸/۹۴ و ۷۷/۹ درصد)، محتوای نسبی آب (به ترتیب ۴۵/۴ و ۴۶/۱ درصد)، عملکرد کوانتومی (به ترتیب ۱۶/۳ و ۱۱۰ درصد)، فلورسانس حداکثر (به ترتیب ۳۸/۶ و ۴۱/۴ درصد)، فلورسانس متغیر (به ترتیب ۶۱/۲ و ۱۹۶/۳ درصد) را، نسبت به عدم کاربرد تعدیل کننده های تنش در همین سطح از شوری افزایش داد. همچنین در بالاترین سطح شوری، تیمار همزمان تعدیل کننده های تنش، عملکرد دانه را ۳۴/۲ درصد نسبت به عدم کاربرد تعدیل کننده های تنش در همین سطح از سطوح شوری افزایش داد. بر اساس نتایج این بررسی، تیمار همزمان تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، محلول پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، به واسطه بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک نظیر شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی و هدایت روزنه ایی قادر بودند بخشی از کاهش عملکرد جو در شرایط شوری را، جبران نمایند.

واژه های کلیدی: شاخص سبزیگی برگ، محتوای نسبی آب، قارچ میکوریز آربوسکولار، ورمی کمپوست، هدایت روزنه ای

مقدمه

در تغذیه انسان و دام دارد (شرفی زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

شوری از تنش های غیرزنده مهمی است که نه تنها رشد گیاهان

جو یکی از گیاهان متحمل به تنش های غیرزنده، نقش اساسی

افزایش جمعیت باکتری‌های مفید خاک، کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی و تعدیل اثرات ناشی از تنش‌های محیطی، مؤثر هستند (حسینی و قدرتی، ۱۳۹۵). نوروزیا و همکاران (۱۳۹۹) اظهار داشتند که کاربرد میکوریز تحت تنش شوری، عملکرد برنج را ۵۶ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش داد.

کاربرد ورمی‌کمپوست یکی دیگر از راه‌کارهای مناسب در تعدیل اثرات ناشی از شوری است (Liu et al., 2019) که می‌تواند با بهبود وضعیت تخلخل خاک و جذب آب، به افزایش محتوای نسبی آب و کاهش هدایت الکتریکی گیاهان تحت شرایط تنش، کمک کند (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) بهبود شاخص سبزیبگی و اجزای فلورسانس کلروفیل ترتیکاله را، با کاربرد ورمی‌کمپوست تحت تنش شوری گزارش کردند. Liu و همکاران (۲۰۱۹) اظهار داشتند که در شرایط شوری، کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل سهولت دسترسی گیاه به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، منجر به بهبود عملکرد گیاه می‌شود.

پلی‌آمین‌ها از پلی‌کاتیون‌های با وزن مولکولی پایین هستند که در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاهان (Kusano and Suzuki, 2015) و افزایش میزان کلونیزاسیون میکوریزا در سیستم ریشه‌ای نقش داشته (Wu et al., 2012) و با جذب بهتر برخی از عناصر مؤثر در فتوسنتز مانند پتاسیم به‌وسیله ریشه، موجب افزایش فتوسنتز و رشد گیاهان می‌شود (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018). در بین پلی‌آمین‌های مهم، پوترسین بیش‌ترین تأثیر را در این زمینه دارد (Rubinowska et al., 2012) و با کمک به بیان ژن‌های تنظیم‌کننده رشد مانند آبسزیک اسید، موجب افزایش سبزیبگی و بهبود عملکرد فلورسانسی گیاه می‌شود (Kusano and Suzuki 2015). محلول‌پاشی پوترسین در شرایط شوری با کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش پایداری غشا، موجب پایداری شاخص‌های فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب ترتیکاله تحت تنش شوری شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

زراعی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک مختل می‌کند بلکه موجب کاهش حاصلخیزی خاک و بهره‌وری از آن می‌گردد (Ahmed et al., 2019). شوری همچنین با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تثبیت CO₂ در گیاه، ضمن افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تأثیر منفی بر ساختار فتوسیستم نوری II، منجر به اختلال در اجزای فلورسانس کلروفیل (حداقل، متغیر، حداکثر و عملکرد کوانتومی)، کاهش فتوسنتز و عملکرد دانه می‌شود (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). در شرایط شوری جذب عناصر ریزمغذی مانند روی که از عناصر ضروری برای سنتز پروتئین‌ها، هورمون اکسین، رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی است، به شدت کاهش می‌یابد (Alloway, 2008). در این راستا محلول‌پاشی، یکی از راه‌کارهای مؤثر در رفع سریع نیاز گیاهان به عنصر روی است. محلوجی (۱۴۰۱) اظهار داشت که تغذیه برگی با نانوآکسید روی به‌عنوان یک عنصر محرک، موجب تقویت رشد و افزایش عملکرد دانه جو شد. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوآکسید روی در شرایط تنش با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل، عملکرد دانه ترتیکاله را افزایش داد.

امروزه با توجه به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد و هزینه بالای کودهای شیمیایی و همچنین شوری آب و خاک، استفاده از کودهای زیستی و آلی که شامل مجموعه‌ای از جوامع میکروبی همراه و همزیست هستند برای بهبود رشد گیاهان توصیه شده است (Liu et al., 2019). استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی همانند قارچ میکوریز آربوسکولار با برقراری روابط همزیستی بین ریشه گیاه با قارچ، می‌تواند ضمن کمک به افزایش توسعه برگی و عملکرد (Rezvanypour et al., 2015) و افزایش مقاومت به شوری گیاه از طریق حفظ مطلوب غلظت Na⁺ و K⁺، موجب رشد مناسب‌تر گیاهان تلقیح‌شده با قارچ میکوریز شود (Pollastri et al., 2018). این قارچ‌ها با استقرار درون بافت ریشه و تولید آربوسکولار درون سلول‌های پوست داخلی آن، شبکه ظریف ریشه‌های خارج ریشه‌ای تولید می‌کنند و ضمن گسترش بیشتر ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی برای گیاهان، در

تحقیقات جهاد کشاورزی استان اردبیل تهیه و با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است) کشت شد (شرفی زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج حاصل از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

اعمال شوری: مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک گلدان در هر یک از سطوح شوری به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، توسط نرم افزار Salt calc محاسبه و به هر گلدان اضافه شد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). برای حفظ شوری در طول دوره رشد، در زیر هر گلدان، زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، دوباره نمک‌های احتمالی وارد شده به زیرگلدانی، در آب حل شده و به داخل هرگلدان برگشت داده شود (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد.

قارچ میکوریز آربوسکولار: قبل از کاشت در عمق سه سانتی متری متری خاک در هر گلدان (حدود دو سانتی متر زیر بذر) از قارچ میکوریز آربوسکولار *Glomus moseae* استفاده شد که مخلوطی از اسپور و قطعات جدا شده از ریشه‌های آلوده بود که از شرکت زیست فناوری توران تهیه و به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (پنج گرم به ازای هر گلدان) بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

ورمی کمپوست: ورمی کمپوست تهیه شده از شرکت گیلدا براساس دستورالعمل ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک با خاک گلدان‌ها قبل از کاشت مخلوط شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). مشخصات فیزیکوشیمیایی ورمی کمپوست در جدول ۲ آورده شده است.

نانو اکسید روی: نانو اکسید روی با میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر و سطح ویژه ذرات بیش از ۳۰ مترمربع در هر گرم بود که مقدار ۰/۴ گرم در لیتر در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه دهی و ساقه دهی به ترتیب معادل کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) محلول پاشی شد (نریمانی و

اهمیت شوری به عنوان یکی از تنش‌های غیر زیستی مؤثر در کاهش رشد و عملکرد گیاهان و نقش تعدیل کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، پوترسین و نانو اکسید روی) در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از شوری و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم کنش همزمان این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک جو در شرایط شوری مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی: تیمارهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به عنوان شاهد، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار با نمک کلرید سدیم)، کاربرد کودهای زیستی و آلی در چهار سطح (عدم کاربرد به عنوان شاهد، کاربرد ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، تیمار همزمان ورمی کمپوست و میکوریز آربوسکولار)، محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، ابتدا محلول پاشی ۰/۸ میلی مولار پوترسین، به فاصله کمی بعد از آن محلول پاشی پوترسین، ۰/۴ گرم در لیتر نانو اکسید روی، محلول پاشی همزمان پوترسین و نانو اکسید روی) بودند که در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه دهی و ساقه دهی به ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) اعمال شد.

بذر مصرفی: ۵۰ بذر در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۴۰ سانتی متر کشت شدند. از جو دو ردیفه بهاره رقم "نوبهار" استفاده شد. این رقم با وزن هزار دانه ۵۱ گرم و میانگین ارتفاع بوته ۹۰ سانتی متر، دارای سنبله تقریباً بلند و مخروطی شکل، مقاوم به شکنندگی، ورس و بیماری‌های زنگ زرد و تنش‌های محیطی از جمله سرما، شوری و خشکی است. بذر آن از مرکز

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی

pH	بافت	هدایت الکتریکی	عصاره اشباع	رس	سیلت	شن	کربن آلی	نیترژن	میلی گرم بر کیلوگرم		
									روی	فسفر	پتاسیم
۷/۸	سیلت شنی	۱/۸	۴۷	۱۹/۵	۴۲	۳۸/۵	۰/۷۲	۰/۰۴	۱/۰۲	۲۷/۳	۲۵۵

جدول ۲- نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست شرکت گلیدا

pH	EC dSm ⁻¹	مشخصه					
		Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
	۱/۱۲	۵۰۰۰	۲۷۵	۲۰	۱۱۰	۱۹	۱
۷/۶۴	C/N	مشخصه					
		OC	N	P	K	Ca	Mg
	۲۱/۲۵	۳۲/۹	۱/۵۵	۰/۴	۰/۴	۲/۷۳	۰/۹۵

توسعه یافته (در فاصله زمانی ساعت ۸-۱۰ صبح) انتخاب شد و بعد از قرارگیری کلیپس‌های مخصوص بر روی برگ پرچم به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی، شاخص‌های F_v ، F_m ، F_0 و F_v/F_m اندازه‌گیری شدند (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016). هدایت روزنه‌ای برگ پرچم نیز توسط دستگاه پرومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) اندازه‌گیری شد.

شاخص سبزی‌نگی برگ پرچم با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (SPAD-502 مینولتای ژاپن)، به فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار (بر روی سه ناحیه انتها، وسط و بالای برگ پرچم) از هر تیمار به‌طور تصادفی بر روی دو برگ پرچم انتخابی، اندازه‌گیری شد (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). میانگین اعداد به‌دست آمده از این سه ناحیه به‌عنوان شاخص سبزی‌نگی برگ پرچم در آن مرحله رشدی در نظر گرفته شد. میزان نیترژن برگ از همان برگ‌هایی که شاخص کلروفیل اندازه‌گیری شده بود بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Scharf *et al.*, 2006).

رابطه ۱

$$N = 0.0173332 + 0.0016322 \times SPAD$$

برای بررسی روند تغییرات محتوای نسبی آب، از هر گلدان سه برگ پرچم توسعه‌یافته به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از

همکاران، ۱۴۰۳).

شرایط گلخانه: در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به طریق دستی انجام شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 50 ± 60 درصد و طول دوره روشنایی ۱۴-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند.

روش اندازه‌گیری صفات: روند تغییرات برخی صفات فیزیولوژیک از جمله اجزای فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزی‌نگی برگ، شاخص نیترژن، هدایت روزنه‌ای، هدایت الکتریکی و محتوای نسبی آب، از ۶۰ روز پس از کاشت (مرحله ظهور برگ پرچم یا BBCH ۳۸) تا ۸۴ روز بعد از کاشت یا اوایل مرحله سنبله‌دهی (BBCH ۵۵) هر چهار روز یک بار بر روی برگ پرچم اندازه‌گیری شد. اجزای فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_0 (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (عملکرد کوانتومی فتوسنتز دو در شرایط سازگار شده با تاریکی) بود، که توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (Chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA) اندازه‌گیری شدند. از هر گلدان به‌طور تصادفی سه برگ پرچم

آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی) مشاهده شد (جدول ۴)، که افزایش ۲۹/۵ درصدی نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانوذرات در همین سطح از سطوح شوری داشت (جدول ۴).

کاهش شاخص سبزی‌نگی برگ در شرایط شوری را می‌توان به اختلال در اجزای فلورسانس کلروفیل (جدول‌های ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰) و کاهش جذب برخی عناصر دخیل در سنتز کلروفیل مانند آهن و منیزیم و همچنین افزایش غلظت برخی تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند آبسزیک اسید و اتیلن نسبت داد که موجب تحریک فعالیت آنزیم کلروفیل‌لاز می‌شود (Neocleous and Vasilakakis, 2007). از سوی دیگر به نظر می‌رسد در شرایط شوری، یون‌های سدیم و کلر به مقدار زیادی وارد سیستم آوندی شده و افزایش محتوای یون سدیم تحت چنین شرایطی ضمن کاهش جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم و منیزیم و ممانعت از جذب یون پتاسیم، منجر به کاهش میزان پتاسیم و کاهش انتقال نترات می‌شود (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018)، از آنجایی‌که محتوای کلروفیل تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای گیاه به‌ویژه نیتروژن است، در نتیجه کمبود نیتروژن می‌تواند مانع تشکیل کلروفیل شده و میزان آن را در برگ کاهش دهد، ولی وجود مقادیر بالایی از عناصر غذایی ضروری و مؤثر در سنتز کلروفیل نظیر آهن، منیزیم و نیتروژن در ورمی‌کمپوست (جدول ۲)، موجب افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ می‌گردد. در این راستا صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش، به دلیل بهبود جذب آب و افزایش فراهمی عناصر غذایی، ضمن تعدیل اثرات ناشی از تنش، موجب افزایش شاخص کلروفیل شد. برخی محققان افزایش شاخص سبزی‌نگی برگ در شرایط شوری با کاربرد قارچ میکوریز آربوسکولار را، به بهبود وضعیت ریشه‌ای و عملکرد کواتومی (جدول ۱۴) و جذب بهتر مواد غذایی، نسبت دادند (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

به نظر می‌رسد محلول پاشی عنصر روی نیز از طریق تحریک بیوسنتز پروتئین و افزایش فعالیت آنزیم کربونیک

قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی Kostopoulou و همکاران (۲۰۱۰) مقدار آن اندازه‌گیری شد.

رابطه ۲

$$RWC = (F_w - D_w) / (T_w - D_w) \times 100$$

در این رابطه RWC محتوای نسبی آب، F_w وزن تر، T_w وزن آماس یافته و D_w وزن خشک است.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگ پرچم در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲).

برای تعیین عملکرد دانه تک بوته، در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه در هر گلدان برداشت، و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش این صفت در تجزیه و تحلیل داده‌ها به کار گرفته شد (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سبزی‌نگی برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر شاخص سبزی‌نگی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار این شاخص در مراحل اولیه نمونه‌برداری بالا بود، ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیرشدن برگ‌ها، روند نزولی داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد تحت شرایط شوری ۸۰ میلی‌مولار در ۸۴ روز پس از کاشت، حداکثر شاخص سبزی‌نگی (۳۷/۳) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص سبزینگی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۲۲۳۲/۷**	۲۶۵۰/۹**	۲۹۸۴/۲**	۵۸۸۳/۶**	۴۱۳۸/۲**	۴۸۰۳/۸**	۵۳۶۳/۵**	۲	تکرار
۳۰۶/۳**	۳۵۴/۹**	۳۲۲/۷**	۲۶۷/۹**	۳۷۷/۸**	۳۰۴/۲**	۴۰۰/۵**	۲	تنش شوری (S)
۱۷۰/۵**	۱۸۴/۱**	۸۸/۲**	۳۵۵/۴**	۵۸۳/۷**	۳۹۱/۶**	۴۳۰/۷**	۳	کودهای زیستی (B)
۲۶/۶**	۴۴/۸**	۱۰۶/۶**	۱۵۷/۸**	۲۸۳/۳**	۲۰۰/۸**	۱۶۴/۲**	۳	محلولپاشی برگی (F)
۶/۸**	۱۷/۳**	۲۹/۸**	۲۸/۵**	۵۵/۷**	۴۴/۲**	۵۸/۶**	۶	S×B
۳/۴ ^{ns}	۶/۷ ^{ns}	۸/۶**	۳۰/۲**	۳۸/۷**	۳۱/۲**	۴۳/۱**	۶	S×F
۱۱/۴**	۱۸/۸**	۲۴/۹**	۲۷/۴**	۴۲/۶**	۵۶/۳**	۴۳/۳**	۹	B×F
۹/۶**	۹/۵۸**	۲۲/۸**	۱۷/۷**	۳۹/۹**	۴۲/۳**	۳۱/۴**	۱۸	S×B×F
۲/۰۳	۳/۰۱	۳/۸۵	۸/۲۶	۴/۰۴	۶/۴۳	۱۲/۲	۹۴	خطا
۴/۷	۴/۶	۴/۹	۶/۴	۴/۳	۵/۵	۶/۵	-	ضریب تغییرات

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

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر شاخص سبزینگی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری شاخص سبزینگی برگ (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۳۰/۶u-x	۳۶/۵n	۳۹h-k	۴۱/۵۹j-o	۴۵/۴۵n	۴۸l-n	۵۰m-o	S1×B1×F1
۳۶/۳hi	۳۷l-n	۳۷/۵۴l-o	۴۴/۳h-l	۴۶/۴l-n	۲۴/۲۸m-o	۴۸pq	S1×B2×F1
۳۵/۷ij	۳۸/۹۹g-j	۳۹/۳g-j	۴۱/۵۸j-o	۴۰/۸s-u	۴۵/۶۲o-q	۵۰m-o	S1×B3×F1
۳۸/۰۹bc	۴۳bc	۴۳/۸d	۴۹/۶۶a-e	۵۴/۶a-d	۵۶/۱۳a-c	۵۰cd	S1×B4×F1
۳۲/۶p-r	۳۸j-l	۴۱/۳ef	۴۳/۱i-n	۴۴/۹۱no	۵۱ij	۵۳i-k	S1×B1×F2
۳۵/۷ij	۳۸/۸۹h-j	۴۱/۳ef	۴۵/۹۸d-i	۴۸/۷۹kj	۵۲g-i	۵۵gh	S1×B2×F2
۳۷/۵b-f	۳۹g-j	۳۶/۹n-p	۴۰/۶۶k-p	۴۳/۳o-q	۴۸/۵lm	۵۲/۳۵j-l	S1×B3×F2
۳۷/۸۹b-d	۳۹/۴g-i	۴۰/۴۲fg	۴۸/۴۸a-g	۵۲/۵e-h	۵۳/۴۲e-g	۵۷ef	S1×B4×F2
۳۳/۶m-p	۳۶/۸	۳۷/۳m-p	۳۹/۹۸l-q	۴۱/۶q-u	۴۴/۶۶q-s	۵۱lm	S1×B1×F3
۳۷/۴c-f	۳۹/۰۱g-j	۳۹/۴۱g-i	۴۰/۵۳k-p	۴۲/۸p-r	۴۸l-n	۴۹op	S1×B2×F3
۳۶/۶e-i	۳۹/۹۹f-h	۴۰/۳fg	۴۶/۵۹c-i	۵۱/۸gh	۵۷/۸۸a	۵۶fg	S1×B3×F3
۳۹/۷a	۴۴ab	۴۴/۳cd	۵۰/۶۶ab	۵۴/۸a-c	۵۷/۸۲ab	۶۰/۵b	S1×B4×F3
۳۴/۲k-n	۳۸/۷j-l	۴۱/۳ef	۴۴/۱۴h-k	۴۶/۳l-n	۵۲g-i	۵۵/۶f-h	S1×B1×F4
۳۷/۶b-e	۳۹g-j	۴۱/۴۲ef	۴۹/۷۸a-d	۵۴/۴b-e	۵۶/۶۶a-c	۵۸/۸۸cd	S1×B2×F4
۳۹/۷a	۴۱/۴de	۴۵/۱۶bc	۵۱/۱۴ab	۵۶ab	۵۸/۱۹a	۶۱/۵ab	S1×B3×F4
۴۰/۲۸a	۴۵a	۴۸/۱۳a	۵۲/۰۷a	۵۶/۵a	۵۸/۰۱a	۶۲/۴۵a	S1×B4×F4
۳۳o-r	۳۳/۱۹r-u	۳۶/۶op	۳۹/۸۵l-q	۴۱/۱۴r-u	۴۸/۱۸l-n	۴۹/۹m-o	S2×B1×F1
۳۱/۴t-v	۳۷l-n	۳۶/۷op	۴۰/۵۲k-p	۴۲/۸p-r	۴۴q-u	۴۷/۱۸qqr	S2×B2×F1

۳۲/۴r-t	۳۵op	۴۵cd	۴۵/۹۴d-i	۴۷/۵k-m	۵۱ij	۵۲kl	S2×B3×F1
۳۶/۹d-h	۳۸/۹h-j	۴۵/۳bc	۴۹/۵۱a-e	۵۱/۹۳f-h	۵۳/۹ef	۵۸de	S2×B4×F1
۲۹/۷a-z	۴۳/۳p-r	۳۹/۳g-j	۴۲/۶۲i-n	۴۴/۶n-p	۴۸l-n	۵۳i-k	S2×B1×F2
۳۴/۵k-n	۳۴/۹o-q	۳۶/۳pq	۳۷/۱۴p-r	۳۷/۸wx	۴۱/۹uv	۴۵/۵r-t	S2×B2×F2
۳۴/۸۲jk	۳۸j-l	۳۸/۶i-l	۴۰/۶k-p	۴۱/۸q-t	۴۴/۴۵q-s	۴۸/۱۱pq	S2×B3×F2
۳۸/۵b	۴۱/۱۲ef	۴۲e	۴۴/۴۴g-k	۴۷/۸kl	۵۲g-i	۵۶/۱۷fg	S2×B4×F2
۳۱u-w	۳۳/۸q-s	۳۵/۱q-s	۳۸/۶۶n-r	۳۹/۸uv	۴۵p-r	۵۱/۹kl	S2×B1×F3
۳۳/۵n-q	۳۷/۷k-m	۴۱/۳ef	۴۶d-i	۴۷/۸kl	۵۱/۵h-j	۵۴h-j	S2×B2×F3
۳۶/۵f-i	۴۰/۱۱fg	۴۳/۸d	۵۰/۰۶a-c	۵۱/۸gh	۵۴/۴d-f	۵۹cd	S2×B3×F3
۳۲/۳۷r-t	۳۳/۳۴r-t	۳۵rs	۴۹/۴۸a-e	۵۳/۸c-f	۵۵c-e	۶۰bc	S2×B4×F3
۳۰/۴v-x	۳۳/۷rs	۳۸/۲j-m	۴۴/۵۶g-k	۵۰/۸hi	۴۷/۸l-n	۵۰/۸l-n	S2×B1×F4
۳۳/۷l-o	۳۷/۹r-s	۴۴/۴۵cd	۴۳/۴۴i-l	۴۲q-s	۴۸/۱۲l-n	۴۹op	S2×B2×F4
۳۶/۵f-i	۴۱ef	۴۴/۷cd	۴۸/۹۳a-f	۵۳/۳۴d-g	۵۷/۸۱ab	۵۹cd	S2×B3×F4
۳۹/۷a	۴۴ab	۴۶/۳b	۴۹/۹a-d	۵۴/۱b-e	۵۷/۳ab	۶۰/۹bc	S2×B4×F4
۲۸/۸a-z	۳۲v	۳۳/۳u	۳۵/۵۱r	۳۶/۱x	۳۹/۹۹w	۴۳u	S3×B1×F1
۲۹/۱۷a-z	۳۳s-v	۳۸k-n	۳۶/۸۶qr	۳۶/۸x	۴۳stu	۴۵st	S3×B2×F1
۱۲/۳۰w-z	۳۲/۱v	۳۴/۶st	۳۷/۶p-s	۳۸/۸vw	۴۴/۳q-t	۴۶/۳rs	S3×B3×F1
۳۴/۶k-m	۳۸/۲jk	۴۰/۳fg	۴۲/۸۸i-m	۴۴/۸no	۴۹/۰۸kl	۵۲/۱kl	S3×B4×F1
۲۹/۲۳a-z	۳۲/۲t-v	۳۳/۷tu	۳۷/۲۷p-r	۳۹/۸u-v	۴۲/۷t-v	۴۴/۴۵tu	S3×B1×F2
۳۱/۵s-u	۳۳/۳r-t	۳۴/۰۱s-u	۴۰/۸k-p	۴۲/۸p-r	۴۶/۶n-p	۴۹/۳n-p	S3×B2×F2
۳۲/۷p-r	۳۳/۳۳r-t	۳۳/۴tu	۳۹/۸۷l-q	۴۰/۴۴s-v	۵۳/۱۲f-h	۵۳i-k	S3×B3×F2
۳۰/۵u-x	۳۶/۷۷l-m	۳۷/۳m-p	۴۵/۶۸e-i	۴۸/۸kj	۵۰/۲۳kl	۵۴/۵۵g-i	S3×B4×F2
۳۰/۰۱w-z	۳۰/۷w	۳۶/۲p-r	۳۶/۳r	۳۶/۹wx	۴۱vw	۴۴/۶tu	S3×B1×F3
۳۰/۳w-y	۳۴/۹o-q	۳۸/۷i-l	۴۴/۱۸h-k	۴۸/۸ij	۵۳f-h	۵۴h-j	S3×B2×F3
۳۰/۸u-w	۳۴/۱p-s	۳۶/۳pq	۳۸/۲۸o-r	۳۹/۹۱t-v	۴۱vw	۴۵/۱st	S3×B3×F3
۳۶/۴g-i	۳۶/۹۹l-n	۳۷/۶l-o	۴۸/۴۸a-f	۵۲/۸d-g	۵۴ef	۵۶/۱g-i	S3×B4×F3
۳۲/۵q-s	۳۲/۱uv	۳۷/۱m-p	۳۹/۰۶m-r	۴۰/۸s-u	۴۳/۸r-t	۴۶r-t	S3×B1×F4
۲۹/۱۲a	۳۶no	۳۶/۳pq	۴۶/۴۴c-i	۴۹/۸ij	۵۱ij	۵۲/۱۲kl	S3×B2×F4
۳۴/۷j-l	۳۶no	۴۰gh	۴۵/۳۲f-i	۴۵/۸mn	۵۵c-e	۵۷ef	S3×B3×F4
۳۷/۳c-g	۴۲/۵cd	۳۹h-k	۴۷/۶b-h	۵۴/۸a-c	۵۶/۱۲b-d	۵۸de	S3×B4×F4
۱/۰۸	۱/۱۵	۱/۲	۴/۰۴	۱/۹۱	۱/۷۲	۱/۶۹	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر شاخص نیتروژن برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰
تکرار	۲	۰/۰۰۵۹**	۰/۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۷۹**	۰/۰۰۱۵۶**	۰/۰۰۱۱**	۰/۰۰۱۲۸**	۰/۰۰۱۴۳**
تنش شوری (S)	۲	۰/۰۰۰۹۶**	۰/۰۰۱۱۳**	۰/۰۰۰۰۸۸**	۰/۰۰۰۰۷۹**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۰۰۸۶**	۰/۰۰۰۱۱**
کودهای زیستی (B)	۳	۰/۰۰۰۰۳۷**	۰/۰۰۰۰۳۹**	۰/۰۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۰۸۷**	۰/۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۱۱**
محلولپاشی برگ (F)	۳	۰/۰۰۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۰۰۱*	۰/۰۰۰۰۲۲**	۰/۰۰۰۰۳۹**	۰/۰۰۰۰۷۲**	۰/۰۰۰۰۵۱**	۰/۰۰۰۰۰۴**
S×B	۶	۰/۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۱۵**	۰/۰۰۰۰۱۳**	۰/۰۰۰۰۱۷**
S×F	۶	۰/۰۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۰۹*	۰/۰۰۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۰۱۲*
B×F	۹	۰/۰۰۰۰۰۰۵*	۰/۰۰۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۸*	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲**	۰/۰۰۰۰۰۰۱۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۱۳**
S×B×F	۱۸	۰/۰۰۰۰۰۰۳*	۰/۰۰۰۰۰۰۴*	۰/۰۰۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۰۰۰۶*	۰/۰۰۰۰۰۰۱۱**	۰/۰۰۰۰۰۰۱۲**	۰/۰۰۰۰۰۰۰۹*
خطا	۹۴	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۰۴
ضریب تغییرات		۶/۸	۷/۸	۴/۶	۶/۵	۴/۷	۵/۲	۶/۴

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

اولیه نمونه برداری بالا بود، ولی با نزدیک شدن به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و همچنین پیرشدن برگ‌ها، همانند شاخص سبزیگی برگ (جدول ۴) از روند نزولی برخوردار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد در بالاترین سطح شوری در ۸۴ روز پس از کاشت، حداکثر این شاخص (۰/۰۷۸۲) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلولپاشی پوترسین و نانو اکسید روی) مشاهده شد (جدول ۶) که در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلولپاشی پوترسین و نانو اکسید روی در همین سطح از سطوح شوری، از افزایش ۲۱/۶ درصدی برخوردار بود (جدول ۶). از آنجایی که ۷۰ درصد از نیتروژن برگ در کلروپلاست ذخیره شده و از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده رنگیزه‌های کلروفیلی در کلروپلاست برگ است، از این‌رو در شرایط تنش‌های محیطی، کاهش فعالیت آنزیم نترات ردوکتاز موجب کاهش متابولیسم نیتروژن و در نتیجه کاهش تجمع نیتروژن و به تبع از آن منجر به کاهش شاخص نیتروژن می‌شود (معینی‌راد و همکاران، ۱۴۰۰). در چنین شرایطی کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل برخوردارگی از مقادیر بالایی از نیتروژن و فسفر (جدول ۲)،

آنهدراز، دخالت در تنظیم غلظت‌های سیتوپلاسمی آهن و منیزیم و افزایش جذب نیتروژن و فسفر (محمودسلطانی و همکاران، ۱۳۹۹)، منجر به افزایش محتوای کلروفیل و به تبع از آن منجر به افزایش شاخص کلروفیل شده است. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش شاخص کلروفیل با کاربرد نانوذرات روی توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (آقایی و همکاران، ۱۴۰۱). بخشی از بهبود شاخص سبزیگی برگ با کاربرد پوترسین می‌تواند ناشی از تأثیر این ماده در تنظیم یون‌هایی مانند پتاسیم و جذب آب در داخل و خارج سلول، بهبود وضعیت جذب و تجمع نیتروژن باشد (Mohammadi et al., 2024).

شاخص نیتروژن برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلولپاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر شاخص نیتروژن برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۵). روند تغییرات این شاخص مشابه تغییرات شاخص سبزیگی برگ بود. به طوری که مقدار این شاخص در مراحل

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر شاخص نیتروژن برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری شاخص نیتروژن (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۰/۰۶۷۳u-x	۰/۰۷۶۹n	۰/۰۸۱h-k	۰/۰۸۵۲j-o	۰/۰۹۱۵n	۰/۰۹۵۷l-n	۰/۰۹۸۹m-o	S1×B1×F1
۰/۰۷۶۶hi	۰/۰۷۷۷l-n	۰/۰۷۸۶l-o	۰/۰۸۹۶j-k	۰/۰۹۳۱	۰/۰۹۴۵m-o	۰/۰۹۵۷pq	S1×B2×F1
۰/۰۷۵۶ij	۰/۰۸۱۰g-h	۰/۰۸۱۵g-j	۰/۰۸۵۲j-o	۰/۰۸۳۹s-u	۰/۰۹۱۸o-q	۰/۰۹۸۹m-o	S1×B3×F1
۰/۰۷۹۵bc	۰/۰۸۷۵bc	۰/۰۸۸۸d	۰/۰۹۸۴a-e	۰/۱۰۶۵a-d	۰/۱۰۸۹b-d	۰/۱۱۳۶cd	S1×B4×F1
۰/۰۷۰۵p-r	۰/۰۷۹۴j-l	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۸۷۷i-m	۰/۰۹۰۶no	۰/۱۰۰۶ij	۰/۱۰۳۸i-k	S1×B1×F2
۰/۰۷۵۶ij	۰/۰۸۰۸h-j	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۹۲۴d-i	۰/۰۹۷jk	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۱۰۷۱gh	S1×B2×F2
۰/۰۷۸۵b-f	۰/۰۸۱g-j	۰/۰۷۷۶n-p	۰/۰۸۳۷k-p	۰/۰۸۸p-q	۰/۰۹۶۵k-m	۰/۱۰۲۸j-l	S1×B3×F2
۰/۰۷۹۲b-d	۰/۰۸۱۶g-i	۰/۰۸۳۳fg	۰/۰۹۶۵a-g	۰/۱۰۳e-h	۰/۱۰۴۵e-g	۰/۱۱۰۴ef	S1×B4×F2
۰/۰۷۲۲m-p	۰/۰۷۷۴	۰/۰۷۸۲m-p	۰/۰۸۲۶l-q	۰/۰۸۵q-u	۰/۰۹۰۲q-s	۰/۱۰۰۶lm	S1×B1×F3
۰/۰۷۸۴c-f	۰/۰۸۱g-j	۰/۰۸۱۷g-i	۰/۰۸۳۵k-p	۰/۰۸۷۲p-r	۰/۰۹۵۷l-m	۰/۰۹۷۳op	S1×B2×F3
۰/۰۷۷۱e-i	۰/۰۸۲۶f-h	۰/۰۸۳۱fg	۰/۰۹۳۴c-i	۰/۱۰۱۹gh	۰/۱۱۱۸a	۰/۱۰۸۷fg	S1×B3×F3
۰/۰۸۲۱a	۰/۰۸۹۱ab	۰/۰۸۹۶cd	۰/۱ab	۰/۱۰۶۸a-c	۰/۱۱۱۷ab	۰/۱۱۶۱bc	S1×B4×F3
۰/۰۷۳۲k-n	۰/۰۸۰۵i-k	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۸۹۴h-k	۰/۰۹۲۹mn	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۱۰۸۱f-h	S1×B1×F4
۰/۰۷۸۷b-e	۰/۰۸۱g-j	۰/۰۸۴۹ef	۰/۰۹۸۶a-d	۰/۱۰۶b-d	۰/۱۰۹۸a-c	۰/۱۱۳۴cd	S1×B2×F4
۰/۰۸۲۱a	۰/۰۸۴۹de	۰/۰۹۱bc	۰/۱۰۰۸ab	۰/۱۰۸۷ab	۰/۱۱۲۳۰a	۰/۱۱۷۷ab	S1×B3×F4
۰/۰۸۳۱a	۰/۰۹۰۸a	۰/۰۹۵۹a	۰/۱۰۲۳a	۰/۱۰۹۶a	۰/۱۱۲۳a	۰/۱۱۹۳a	S1×B4×F4
۰/۰۷۱۲o-r	۰/۰۷۱۵r-u	۰/۰۷۷۱l-q	۰/۰۸۲۴r-u	۰/۰۸۴۵	۰/۰۹۶۰l-n	۰/۰۹۸۸m-o	S2×B1×F1
۰/۰۶۸۶t-v	۰/۰۷۷۷l-n	۰/۰۷۷۲op	۰/۰۸۳۵k-p	۰/۰۸۷p-q	۰/۰۸۹۱q-t	۰/۰۹۴۳qr	S2×B2×F1
۰/۰۷۰۲r-t	۰/۰۷۴۵op	۰/۰۹۰۸c	۰/۰۹۲۳d-i	۰/۰۹۴۹l-n	۰/۱۰۰۶ij	۰/۱۰۲۲kl	S2×B3×F1
۰/۰۷۷۶d-h	۰/۰۸۰۸h-j	۰/۰۹۱۳bc	۰/۰۹۸۱a-e	۰/۱۰۲۱f-h	۰/۱۰۵۳ef	۰/۱۱۲۰de	S2×B4×F1
۰/۰۶۵۸x-z	۰/۰۷۳۳p-r	۰/۰۸۱۵g-j	۰/۰۸۶۹i-n	۰/۰۹۰n-p	۰/۰۹۵۷l-m	۰/۱۰۳۸i-k	S2×B1×F2
۰/۰۷۳۶k-n	۰/۰۷۴۳o-q	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۷۸۰p-r	۰/۰۷۹۰wx	۰/۰۸۵۷uv	۰/۰۹۱۶r-t	S2×B2×F2
۰/۰۷۴۲jk	۰/۰۷۹۴j-l	۰/۰۸۰۳i-l	۰/۰۸۳۶k-p	۰/۰۸۵۶q-s	۰/۰۸۹۹q-s	۰/۰۹۵۹pq	S2×B3×F2
۰/۰۸۰۲b	۰/۰۸۴۴ef	۰/۰۸۵۹e	۰/۰۸۹۹g-k	۰/۰۹۵۴kl	۰/۱۰۲۲g-i	۰/۱۰۹fg	S2×B4×F2
۰/۰۶۷۹u-w	۰/۰۷۲۵q-s	۰/۰۷۴۶q-s	۰/۰۸۰۴n-q	۰/۰۸۲۳uv	۰/۰۹۰۸	۰/۱۰۲kl	S2×B1×F3
۰/۰۷۲n-q	۰/۰۷۸۹k-m	۰/۰۸۴۷ef	۰/۰۹۲۴c-i	۰/۰۹۵۴kl	۰/۱۰۱۴h-j	۰/۱۰۵۵h-j	S2×B2×F3
۰/۰۷۶۹f-i	۰/۰۸۲۸fg	۰/۰۸۸۸d	۰/۰۹۹a-c	۰/۱۰۱۹gh	۰/۱۰۶۱d-f	۰/۱۱۳۶cd	S2×B3×F3
۰/۰۷۰۲r-t	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۷۴۵rs	۰/۰۹۸۱a-e	۰/۱۰۵۱c-f	۰/۱۰۷۱c-e	۰/۱۱۵۳bc	S2×B4×F3
۰/۰۶۷v-x	۰/۰۷۲۳rs	۰/۰۷۹۷j-m	۰/۰۹۰۱g-k	۰/۱۰۰۲hi	۰/۰۹۵۴l-n	۰/۱۰۰۲l-n	S2×B1×F4
۰/۰۷۲۳l-o	۰/۰۷۹۲j-m	۰/۰۸۹۹cd	۰/۰۸۸۲i-l	۰/۰۸۵۹q-s	۰/۰۹۵۹l-n	۰/۰۹۷۳op	S2×B2×F4
۰/۰۷۶۹f-i	۰/۰۸۴۳ef	۰/۰۹۰۳cd	۰/۰۹۷۲a-f	۰/۱۰۴۴c-g	۰/۱۱۱۷ab	۰/۱۱۳۶cd	S2×B3×F4
۰/۰۸۲۱a	۰/۰۸۹۱ab	۰/۰۹۲۹b	۰/۰۹۸۸a-d	۰/۱۰۶b-d	۰/۱۱۰۹ab	۰/۱۱۶۷ab	S2×B4×F4
۰/۰۶۴۳z	۰/۰۶۷۴w	۰/۰۷۱۷u	۰/۰۷۵۳r	۰/۰۷۶۳x	۰/۰۸۲۶w	۰/۰۸۷۵u	S3×B1×F1

۰/۰۶۴۹	۰/۰۷۱۲s-u	۰/۰۷۹۴k-n	۰/۰۷۷۵p-r	۰/۰۷۷۴x	۰/۰۸۷۵s-u	۰/۰۹۰۸st	S3×B2×F1
۰/۰۶۶۵w-y	۰/۰۶۹۶v	۰/۰۷۳۸st	۰/۰۷۸۷o-r	۰/۰۸۰۷vw	۰/۰۸۹۶q-t	۰/۰۹۲۹rs	S3×B3×F1
۰/۰۷۳۸k-m	۰/۰۷۹۷jk	۰/۰۸۳۱fg	۰/۰۸۷۳i-m	۰/۰۹۰۵no	۰/۰۹۷۴kl	۰/۱۰۲۴kl	S3×B4×F1
۰/۰۶۵۰yz	۰/۰۶۹۹t-v	۰/۰۷۲۳tu	۰/۰۷۸۲p-r	۰/۰۸۲۳uv	۰/۰۸۷۰t-v	۰/۰۸۹۹tu	S3×B1×F2
۰/۰۶۸۷s-u	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۷۲۸s-u	۰/۰۸۴k-p	۰/۰۸۷۲p-r	۰/۰۹۳۴n-p	۰/۰۹۷۸n-p	S3×B2×F2
۰/۰۷۰۷o-r	۰/۰۷۱۷r-t	۰/۰۷۱۸u	۰/۰۸۲۴	۰/۰۸۳۳s-v	۰/۱۰۴۰f-h	۰/۱۰۳۸i-k	S3×B3×F2
۰/۰۶۷۱u-x	۰/۰۷۷۳mn	۰/۰۷۸۲m-p	۰/۰۹۱۹e-h	۰/۰۹۷jk	۰/۰۹۹۳jk	۰/۱۰۶۴g-i	S3×B4×F2
۰/۰۶۶۳w-y	۰/۰۶۹۶v	۰/۰۷۶۴p-r	۰/۰۷۶۶qr	۰/۰۷۷۶wx	۰/۰۸۴۳vw	۰/۰۹۰۱tu	S3×B1×F3
۰/۰۶۶۸wx	۰/۰۷۴۳o-q	۰/۰۸۰۵i-l	۰/۰۸۹۴h-k	۰/۰۹۷۰jk	۰/۱۰۳۸f-h	۰/۱۰۵۵h-j	S3×B2×F3
۰/۰۶۷۶u-w	۰/۰۷۳۰p-s	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۷۹۸o-r	۰/۰۸۲۵t-v	۰/۰۸۴۳vw	۰/۰۹۰۹st	S3×B3×F3
۰/۰۷۶۷g-i	۰/۰۷۷۱n	۰/۰۷۸۷l-o	۰/۰۹۶۵a-g	۰/۱۰۳d-g	۰/۱۰۵۵ef	۰/۱۰۸۹fg	S3×B4×F3
۰/۰۷۰۴q-s	۰/۰۶۹۷uv	۰/۰۷۹۹m-p	۰/۰۸۱m-r	۰/۰۸۳۹s-u	۰/۰۸۸۸r-t	۰/۰۹۲۴r-t	S3×B1×F4
۰/۰۶۴۹z	۰/۰۷۶۱no	۰/۰۷۶۶pq	۰/۰۹۳۱c-i	۰/۰۹۸۶ij	۰/۱۰۰۶z	۰/۱۰۲۴kl	S3×B2×F4
۰/۰۷۴۰j-l	۰/۰۷۶۱no	۰/۰۸۲۶gh	۰/۰۹۱۳f-j	۰/۰۹۲۱mn	۰/۱۰۷۱c-e	۰/۱۱۰۴ef	S3×B3×F4
۰/۰۷۸۲c-g	۰/۰۸۶۷cd	۰/۰۸۱h-k	۰/۰۹۵۰b-g	۰/۱۰۶۸a-c	۰/۱۰۸۹b-d	۰/۱۱۲۰de	S3×B4×F4
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۲۸	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانو اکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانو اکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

می‌تواند از دلایل اصلی افزایش شاخص نیتروژن به واسطه کاربرد این مواد باشد.

هدایت الکتریکی برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر هدایت الکتریکی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۷). در تمامی سطوح شوری، هدایت الکتریکی برگ پرچم با گذشت زمان از روند صعودی برخوردار بود (جدول ۸). در ۸۴ روز بعد از کاشت تحت شرایط شوری ۸۰ میلی مولار، تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، موجب کاهش ۲۹/۸ درصدی هدایت الکتریکی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از

موجب افزایش شاخص نیتروژن برگ شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش شاخص نیتروژن تربیتکاله با کاربرد ورمی کمپوست در شرایط شوری، توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (صوآذر و سیدشریفی، ۱۴۰۲). بخشی از افزایش شاخص نیتروژن در کاربرد ورمی کمپوست می‌تواند ناشی از خاصیت اسید هیومیکی این ماده باشد که با کمک به بهبود جذب نیتروژن در طول دوره رشد، موجب افزایش نیتروژن برگ‌ها می‌شود (Liu et al., 2019). روی نیز یک عنصر ضروری برای بسیاری از سیستم‌های آنزیمی گیاه از جمله جذب و متابولسیم نیتروژن است، از این رو کاربرد نانو اکسید روی به دلیل تأثیر غیرمستقیم روی در افزایش جذب نیتروژن (Alloway, 2008)، و محلول پاشی پوترسین به دلیل تأثیر این ماده در افزایش جذب و تجمع نیتروژن در گیاهان (Hosseini Farahi and Aboutalebi Jahroomi, 2018)

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر هدایت الکتریکی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۲۰۲۸۶/۱**	۱۷۴۲۷/۵**	۱۵۱۷۵/۵**	۱۴۱۱۱/۹**	۱۳۳۵۸/۷**	۱۰۸۲۶/۲**	۱۰۶۱۸/۱**	۲	تکرار
۴۲۲۹/۵**	۴۲۲۲/۲**	۳۹۹۰/۱**	۳۹۹۸/۹**	۴۳۴۸/۲**	۴۲۱۲/۷**	۵۳۲۵/۹**	۲	تنش شوری (S)
۱۹۱۱/۵**	۱۹۱۸/۹**	۱۶۶۸/۵**	۱۷۳۷/۸**	۱۷۹۸/۸**	۲۰۵۴/۳**	۲۴۳۹/۵**	۳	کودهای زیستی (B)
۳۹۲/۹**	۵۵۶/۵**	۶۱۸/۴**	۵۹۵/۱**	۵۹۴/۶**	۵۶۲/۸**	۷۲۳/۷**	۳	محلول پاشی برگ (F)
۴۵/۷**	۶۳/۳**	۲۷/۴**	۲۶/۸**	۵۶/۶**	۶۰/۳**	۶۹/۹**	۶	S×B
۱۱/۷ ^{ns}	۲۶/۶**	۱۹/۸**	۱۸/۳**	۲۲/۶**	۵۵/۱**	۴۱/۲**	۶	S×F
۲۲/۵**	۲۲/۴**	۳۹/۶**	۳۴/۶**	۲۵/۴**	۱۹/۸**	۳۱/۷**	۹	B×F
۹/۸**	۸/۶**	۹/۲**	۱۰/۷**	۲۷/۲**	۱۴/۷**	۱۰/۴*	۱۸	S×B×F
۴/۵۶	۴/۷۵	۴/۳	۴/۴	۴/۸	۸/۱	۶/۶	۹۴	خطا
۷	۸/۲	۷/۳	۴/۴	۶/۲	۳/۸	۱۳		ضریب تغییرات

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

جدول ۸- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر هدایت الکتریکی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۱۰۵/۲۹k-n	۹۹/۹۵i-k	۹۲/۱۱j-m	۸۹/۱۱l-n	۸۵/۸۶m-o	۷۷/۷۲j-m	۷۸/۶۸k-n	S1×B1×F1
۹۸/۲۳q-s	۸۵pq۸۹	۸۴/۱۲r-t	۷۹/۴۳u-y	۷۸/۹۵st	۶۴/۸t-w	۶۷/۸۵t-v	S1×B2×F1
۹۳/۸۹t-v	۸۷/۷۷q-s	۸۲/۸۱s-u	۸۱/۴۵s-w	۷۶/۲t-v	۶۷/۷۳r-t	۶۵/۶۹v-x	S1×B3×F1
۹۰/۴۸v-y	۸۱/۳۲u-x	۷۵/۱۲a-z	۷۱/۹۵b-e	۶۷/۷۵a-d	۶۱/۱۵x-z	۵۸/۷۱a-z	S1×B4×F1
۱۰۲/۵n-p	۹۸/۲۹j-l	۸۷/۴o-r	۸۴/۱۸p-s	۸۴/۶۲n-p	۷۷/۳۷k-n	۷۶/۶۶m-o	S1×B1×F2
۹۲/۱u-w	۸۴/۸۸st	۷۸/۲۵w-y	۷۶/۸a-z	۷۴/۷۸u-w	۶۲/۹۴u-y	۶۳/۵۰w-y	S1×B2×F2
۹۱/۳۶v-x	۸۲/۴۹t-w	۷۵/۲۴a-z	۷۲/۰۵b-e	۷۱/۷۲w-z	۶۱/۱x-z	۶۰/۱۷yz	S1×B3×F2
۸۹/۱۶w-z	۷۹/۰۵w-y	۷۳/۵۶a-c	۷۰/۱۴d-f	۶۹cd۶۵	۵۹/۳۹zy	۵۶/۰۴ab	S1×B4×F2
۱۰۴/۳۶l-o	۹۵/۸۵l-n	۹۰/۳۳m-p	۸۷/۱۴m-p	۸۳/۱o-r	۷۷/۹۴i-l	۷۵/۳n-p	S1×B1×F3
۸۷/۴۷a-z	۸۰/۰۶v-y	۸۰u-x	۷۵/۰۷a-z	۶۹/۸a-z	۶۲/۳۴v-y	۵۸/۲۶a-z	S1×B2×F3
۹۵/۰۳s-u	۸۳/۹۶tu	۷۷/۱۶x-z	۷۳/۹۸a-c	۷۳/۱۷v-y	۶۶/۴۹s-v	۶۱/۷۵x-z	S1×B3×F3
۸۶/۱۲a-z	۷۷/۸۷xy	۷۲/۳۴bc	۶۹/۲۵def	۶۵/۹۵cd	۵۹/۷۳	۵۵/۶۵ab	S1×B4×F3
۱۰۱/۳o-q	۹۱/۱۸o-q	۸۵/۴۹q-s	۸۲/۳۷r-u	۸۱/۸۱p-r	۷۲/۶o-q	۶۹/۱r-v	S1×B1×F4
۸۶/۰۶a-z	۸۱/۳u-x	۷۴/۰۴a-z	۷۱/۴c-e	۶۹ a-z	۶۰/۱۱x-z	۵۸/۴a-z	S1×B2×F4
۸۸/۰۷x-z	۷۷/۹xy	۷۲/۵bc	۳ef۶۹	۶۶/۸۵b-d	۶۱/۰۴x-z	۵۵/۷۵ab	S1×B3×F4
۸۴/۰۹a-z	۷۷/۰۵y	۷۱/۶۸c	۶۷/۲۵f	۶۴/۲۸d	۵۷/۱۸z	۵۳/۸۸b	S1×B4×F4
۱۱۵/۲۹de	۱۰۷/۴۷c-f	۱۰۲/۴۱b-d	۹۸/۹۲de	۹۶/۸۳b-d	۹۰/۲۱b-d	۸۸/۲۹d-g	S2×B1×F1
۱۰۸/۵h-k	۱۰۲/۷۱g-i	۹۹/۲۵d-f	۹۳/۳۳h-k	۹۱/۴h-k	۸۴/۴۳e-h	۸۲/۷۵h-j	S2×B2×F1

۱۰۶/۶j-m	۱۰۱/۱۴h-j	۹۴/۴۸i-k	۹۱/۳۷j-l	۸۷/۶k-n	۸۰/۴۴h-k	۸۱/۲i-l	S2×B3×F1
۹۶/۸۱r-t	۹۱/۱۶o-q	۸۷/۴۵o-r	۸۴/۱۶p-s	۷۹/۵۹r-t	۷۰/۱۴p-s	۶۸/۸۶s-v	S2×B4×F1
۱۱۲/۷e-g	۱۰۴/۶۴e-h	۹۶/۵۶f-i	۹۶/۲۱e-h	۹۵/۱۷c-g	۸۶/۰۳d-g	۴۸/۶۸f-i	S2×B1×F2
۱۰۳/۶m-p	۱۰۰i-k	۸۹/۲۴m-p	۸۵/۹۳n-q	۸۳/۱۵o-r	۷۹/۱۵i-l	۷۹/۶۹j-m	S2×B2×F2
۹۸/۲۷q-s	۹۲/۴n-p	۸۳/۳۷s-u	۸۱/۴۶s-v	۸۵/۸۴m-o	۷۶/۲۱o	۶۹/۷۹r-u	S2×B3×F2
۹۳/۵۸t-v	۸۵/۶r-t	۸۴/۲r-t	۸۰/۰۵t-x	۸۴/۸۱u-w	۶۴/۱۵t-x	۶۵/۲v-x	S2×B4×F2
۱۱۳/۲e-g	۱۰۶/۱۸d-g	۱۰۱/۳۳c-e	۹۸/۱۸d-f	۹۵/۵b-c	۸۷/۰۱c-f	۸۶/۶۶e-h	S2×B1×F3
۱۰۱/۲o-q	۹۶/۸۱k-m	۹۱/۷k-n	۸۹/۱۷l-n	۸۸/۸۵j-m	۷۱/۳۵p-r	۷۴/۹۵n-p	S2×B2×F3
۱۰۴/۴l-o	۹۳/۹۵m-o	۸۸/۶۸n-q	۸۵/۴۷o-r	۸۱q-s	۷۳/۰۲n-p	۷۲/۷۳p-s	S2×B3×F3
۹۲/۰۷u-w	۸۳/۹۷tu	۷۹/۳۷v-x	۷۶/۳۹a-z	۷۱/۷۵w-z	۶۵/۹۷s-v	۶۱/۷۶x-z	S2×B4×F3
۱۱۱/۶۵f-g	۱۰۴/۲۲f-h	۹۷/۱۴f-h	۹۴/۵۶g-j	۹۲f-j	۸۲/۲۳g-j	۸۴/۴h-g	S2×B1×F4
۱۰۰/۱۴p-r	۹۳/۹۸m-o	۸۱/۶۸t-v	۷۵/۰۴a-z	۷۶/۸۵tu	۶۸/۱۹q-s	۷۳p-r	S2×B2×F4
۹۶/۰۴st	۸۸/۸۴qr	۷۸/۲۳xy	۷۸/۱v-y	۷۰/۶۹a-z	۷۳/۰۵n-p	۶۶/۶۷u-w	S2×B3×F4
۸۹/۱۸w-z	۸۲/۶۱t-v	۷۶/۷۰a-z	۷۳/۵۲a-d	۶۹/۰۶	۶۲/۹۸u-y	۶/۶yz	S2×B4×F4
۱۲۳/۷۸a	۱۱۳/۹۷a	۱۰۷/۶۷a	۱۰۴/۳۶a	۱۰۰/۷a	۹۰/۴۱a	۹۶/۷۳a	S3×B1×F1
۱۱۷/۸b-d	۱۱۲/۱۴ab	۱۰۲/۴۵b-d	۱۰۲/۳۶a-c	۹۶/۳۵b-e	۹۰/۴b-d	۹۴/۶ab	S3×B2×F1
۱۱۵/۸۰c-e	۱۱۰/۱۷bc	۱۰۳/۲ab۰۵	۹۸/۹۵c-e	۹۸/۶۲a-c	۹۳/۲ab	۹۲/۷b-d	S3×B3×F1
۱۱۰/۱۹g-i	۱۰۲/۲۳hi	۹۵/۱۵g-i	۹۲/۰۷i-l	۹۳/۹۳d-h	۸۱/۰۱h-k	۸۱/۹۳i-k	S3×B4×F1
۱۱۹/۹b	۱۱۲/۲ab	۱۰۴/۰۷bc	۱۰۰/۸۰a-d	۹۷/۷۳a-c	۹۰/۹۳bc	۹۳/۸۹ab	S3×B1×F2
۱۱۵/۰۱d-f	۱۰۹/۳۸b-d	۹۸e-g	۹۷/۴۷d-g	۹۸/۷۵ab	۸۹/۲۵b-d	۸۹/۶۱c-e	S3×B2×F2
۱۱۳/۲e-g	۱۰۲/۷۷g-i	۹۹/۲۸d-f	۹۶/۱۸e-h	۹۲/۷۹e-i	۸۹/۲۷b-d	۸۲/۷۷h-j	S3×B3×F2
۱۰۷/۲۲i-l	۹۶/۹۸k-m	۹۳/۵۷i-l	۹۰/۳۶k-m	۹۱/۷۳g-j	۷۱/۸۷o-r	۷۴/۵۹o-q	S3×B4×F2
۱۱۹/۲۲bc	۱۱۰/۷۸a-c	۱۰۵/۳۵ab	۱۰۲/۳۸ab	۹۷/۷a-d	۹۳/۲۳ab	۹۲/۶۳bc	S3×B1×F3
۱۱۴/۷d-f	۱۰۷/۸۹c-e	۱۰۰/۷۵c-e	۹۵/۱۷f-i	۹۵/۱۸c-g	۸۷/۹c-e	۸۸/۵۹d-f	S3×B2×F3
۱۱۰/۲۱g-i	۱۰۹/۳۹b-d	۹۶/۵۶f-i	۹۳/۳h-k	۹۰/۱۶i-k	۸۲/۸f-i	۹۰/۸۴b-d	S3×B3×F3
۹۹/۶۹p-r	۹۲/۷۱n-p	۸۶/۰۸p-s	۸۲/۸۹q-t	۸۴/۲۲n-q	۷۶/۲۳l-o	۷/۷q-t	S3×B4×F3
۱۱۷/۴b-d	۱۰۵/۸۴e-g	۱۰۳/۶bc	۱۰۰/۱۵b-d	۹۶/۹b-d	۸۵/۹۲d-g	۸۵/۹۸e-h	S3×B1×F4
۱۰۹/۱۲h-j	۹۸/۶۹j-l	۹۳/۶i-l	۸۷/۸۰m-o	۸۸/۸۲j-m	۷۴/۳۷m-p	۷۷/۹۱l-o	S3×B2×F4
۱۰۷/۲۵i-l	۹۵/۳l-n	۹۰/۳۵l-o	۹۰/۲۹k-m	۸۶/۹۵l-n	۷۷/۸۷j-m	۷۳/۸۲pq	S3×B3×F4
۹۵/۳۶s-u	۸۷/۷۹q-s	۸۱/۶۶t-w	۷۸/۰۳w-z	۷۳/۶۸u-x	۶۷/۳۴r-u	۶۵/۷۳v-x	S3×B4×F4
۳/۴۶	۳/۵۳	۳/۴۱	۳/۴۲	۳/۵۶	۴/۶۳	۳/۹۹	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانو اکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانو اکسید روی. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

سطوح شوری شد (جدول ۸).

از آنجایی که تنش‌های محیطی نظیر شوری از طریق ایجاد رادیکال‌های آزاد اکسیژن در داخل سلول و القای تنش اکسیداتیو، موجب کاهش پایداری غشاء و افزایش نشت مواد سیتوپلاسمی می‌شود، همین عوامل می‌تواند از دلایل اصلی افزایش هدایت الکتریکی باشد (Azari et al., 2012)، ولی در چنین شرایطی مصرف کودهای زیستی و آلی (قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست) با بهبود وضعیت غشایی و روزه‌ای، مانع از خروج بیشتر مواد به بیرون از سلول گیاهی شده و موجب می‌شود هدایت الکتریکی کاهش یابد (نظری و همکاران، ۱۴۰۰). از طرفی کلسیم موجب کنترل ورود و خروج انتخابی یون‌ها می‌شود (Marschner, 1995) و مقادیر بالای کلسیم می‌تواند موجب کاهش نفوذ سدیم به غشاء پلاسمایی و کاهش تجمع سدیم توسط انتقال غیرفعال شده و در نهایت منجر به بهبود هدایت الکتریکی شود (Cramer et al., 1986). از این‌رو به نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست با دارا بودن مقادیر بالایی از مواد معدنی به‌ویژه روی و کلسیم (جدول ۲) ضمن افزایش پایداری غشاهای زیستی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، موجب کاهش هدایت الکتریکی شده است (Beyk-Khormizi et al., 2023). همچنین قارچ میکوریز با کمک به افزایش محتوای نسبی آب در گیاه (جدول ۱۲) ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، می‌تواند موجب افزایش یکپارچگی غشاء و کاهش هدایت الکتریکی برگ شود (Benaffari et al., 2022). صور آذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) نیز اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط شوری به‌دلیل پایداری غشا و ممانعت از نشت یون‌ها به خارج از سلول، موجب کاهش هدایت الکتریکی در تربیتکاله شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر کاهش هدایت الکتریکی با کاربرد نانوآکسید روی توسط دیگر محققان گزارش شده است (محمدزاده و همکاران، ۱۴۰۲). پوترسین به‌عنوان یکی از پلی‌آمین‌ها، با اتصال به غشای سلولی قادر به حذف رادیکال‌های آزاد و محافظت از گیاهان در برابر تنش‌هایی مانند

شوری است. از این‌رو به نظر می‌رسد محلول‌پاشی پوترسین با تسریع در حذف گونه‌های فعال اکسیژن، ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو (Zhang et al., 2014) و افزایش پایداری غشاء (Jalili et al., 2023) موجب کاهش هدایت الکتریکی شده است.

هدایت روزه‌ای برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر هدایت روزه‌ای برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). هدایت روزه‌ای برگ پرچم با گذشت زمان در تمامی سطوح شوری، از روند نزولی برخوردار بود ولی با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی)، روند تغییرات این شاخص، نوسان کمتری نشان داد (جدول ۱۰). در ۸۴ روز بعد از کاشت در شوری ۸۰ میلی‌مولار، بیشترین هدایت روزه‌ای ($22/15 \text{ mmolH}_2\text{O.m}^{-2}\text{.sec}$) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش مشاهده شد که از افزایش ۷۷/۹ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۰).

بخشی از کاهش هدایت روزه‌ای با افزایش تنش شوری می‌تواند ناشی از کاهش محتوای نسبی آب باشد (جدول ۱۲). ولی استفاده از تعدیل‌کننده‌های تنش به‌دلیل کمک به افزایش محتوای نسبی آب در تمامی مراحل نمونه‌برداری (جدول ۱۲) منجر به افزایش هدایت روزه‌ای شد که با نتایج بررسی‌های صورآذر و سیدشریفی (۱۴۰۲) یکسان است. به‌نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست به دلیل برخوردارگی از مقادیر بالایی از کلسیم (جدول ۲) با ایجاد تخلخل در بافت خاک و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲)، در نهایت منجر به بهبود هدایت روزه‌ای (جدول ۱۰) می‌شود که با نتایج بررسی‌های فاروقی و همکاران (Farooqi et al., 2024) مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست با کمک به بهبود جذب آب و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزه‌ای گندم تحت شرایط

جدول ۹- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم جو تحت تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۶۷۶/۳**	۱۰۹۲/۲**	۱۵۵۸/۳**	۱۷۰۶/۸**	۲۰۷۷/۹**	۲۳۱۴/۵**	۲۵۶۹/۲**	۲	تکرار
۳۸۲/۸**	۳۵۶/۶**	۴۲۷/۹**	۳۹۵/۳**	۴۹۰/۷**	۶۹۳/۳**	۷۲۴/۷**	۲	تنش شوری (S)
۲۶۲/۶**	۲۹۵/۱**	۳۲۳/۶**	۴۴۳/۹**	۳۸۳/۳**	۵۲۲/۸**	۲۷۰**	۳	کودهای زیستی (B)
۳۵/۵**	۲۱/۱**	۳۹/۷۹**	۵۲/۱**	۳۸۳/۳۸**	۵۴/۳**	۱۲۳/۸**	۳	محلولپاشی برگگی (F)
۲/۱۱ ^{ns}	۹/۶**	۵/۶*	۱۲/۹**	۴۲/۱**	۱۵/۵**	۱۶۹/۹**	۶	S×B
۳/۶ ^{ns}	۴/۶ ^{ns}	۳/۱۲ ^{ns}	۴/۱۹ ^{ns}	۱۳/۲**	۱۱/۲**	۱۸/۹*	۶	S×F
۵/۴**	۱۲/۷**	۱۱/۳**	۱۶/۶**	۷/۱**	۷/۵*	۱۱/۶ ^{ns}	۹	B×F
۸/۱*	۵/۴۳*	۹/۷*	۵/۴*	۹/۱**	۵/۹*	۲۵/۴**	۱۸	S×B×F
۱/۸۹	۳/۷	۲/۲	۳/۵	۲/۳	۳/۵	۶/۴	۹۴	خطا
۷/۳	۷/۳	۴/۹	۵/۸	۴/۶	۵/۸	۶/۹		ضریب تغییرات

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

جدول ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه‌برداری هدایت روزنه‌ای (mmolH ₂ O.m ⁻² .sec) (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۱۶/۲۳t-w	۲۰/۹۵s-v	۲۵/۹۱q-s	۲۸/۱۴q-s	۳۰/۹r-u	۳۱/۸۶q-s	۳۴/۲۵s-u	S1×B1×F1
۲۰/۹۴h-j	۲۵/۰۵j-l	۳۰/۲۲g-j	۳۰l-p	۳۵/۳۴g-i	۳۵/۸۶j-m	۳۸/۹۲j-m	S1×B2×F1
۲۰/۰۴j-k	۲۶/۰۸h-j	۳۰/۹۹e-h	۳۱/۲۸j-m	۳۳/۷۸j-m	۳۸/۴۲g-i	۳۷/۳۶o-q	S1×B3×F1
۲۳/۳۴b-d	۲۸/۲۳c-e	۳۳/۳۳bc	۳۶/۲۵a-c	۳۸/۹۲a-c	۴۰/۷۲cd	۴۲/۵۶e-h	S1×B4×F1
۱۷/۳۶q-t	۲۲/۱۱q-s	۲۷/۰۴o-q	۲۹/۱۸o-q	۳۱/۱۲q-t	۳۴/۱۵n-p	۳۵/۹۴q-s	S1×B1×F2
۲۱/۲۲h-g	۲۷/۱۲e-h	۳۱/۹۸de	۳۲/۴۷ij	۳۷/۲۵d-f	۳۷/۹۷e-g	۳۸/۳۴n-p	S1×B2×F2
۲۳/۰۱b-d	۲۶/۱۴h-j	۳۳/۳bc	۳۰/۴۸l-o	۳۴/۴۸i-k	۳۹/۶۹d-g	۳۹/۹۵j-n	S1×B3×F2
۲۵/۱۲a	۲۸/۹۹b-d	۳۴/۴۵ab	۳۶/۰۳a-d	۳۸/۲۵b-d	۴۲/۴۲ab	۴۵/۲۳ab	S1×B4×F2
۱۶/۵۶s-v	۲۱/۵۶t	۲۶/۵۶p-r	۲۹/۲۵o-q	۳۲/۱۲n-r	۳۲/۶۲p-r	۳۵/۲۶rs	S1×B1×F3
۲۲/۱۷e-g	۲۷/۴۵e-g	۳۳/۵bc	۳۲/۹۱hi	۳۶/۳۴e-g	۳۶/۵۸j-l	۴۰/۷۸i-k	S1×B2×F3
۲۱/۵۶f-i	۲۸/۰۸ed	۳۱/۲۸e-g	۳۳/۹f-h	۳۶/۰۱fg	۳۸/۶۴f-h	۴۱/۴۷g-j	S1×B3×F3
۲۳/۹۴bc	۲۸/۷۸b-d	۳۳/۶۷a-c	۳۵/۶۷b-d	۳۹/۵۶ab	۴۱/۸۹a-c	۴۵/۴۷ab	S1×B4×F3
۱۷/۹۱o-r	۲۲/۹۷n-q	۲۷/۸۹m-o	۲۸/۷۷p-r	۳۲/۹۱l-p	۳۵/۳۸k-n	۳۶/۱۵qr	S1×B1×F4
۲۴/۴۵ab	۲۹/۳۶bc	۳۴/۳۶ab	۳۴/۶۵d-g	۳۹/۴۵ab	۴۱/۹۷a-c	۴۴/۰۱b-e	S1×B2×F4
۲۳/۶۷b-d	۲۹/۴bc	۳۴/۰۱a-c	۳۴/۶۵ab	۳۸/۲۳b-d	۴۰/۶۹cd	۴۴/۳۴b-d	S1×B3×F4
۲۵/۵۶a	۲۹/۸۵b	۳۴/۸۹a	۳۷/۳۹a	۳۹/۶۷a	۴۲/۶۷a	۴۶/۴۵a	S1×B4×F4
۱۴/۲۵a-z	۲۰/۱۴u-x	۲۴/۶۲t-v	۲۵/۵۸u-w	۲۷/۲۵a-z	۲۸/۴۵w-y	۳۰/۶۶a-z	S2×B1×F1
۱۷/۰۲r-u	۲۱/۱۷s-u	۲۵/۳۶r-t	۲۷/۰۲st	۳۰/۴۵s-v	۳۲/۰۸q-s	۲۷/۲۳e	S2×B2×F1

۱۷/۷۸۰-r	۲۱/۹۳q-s	۲۶/۸۱۰-q	۲۵/۰۱۷-y	۲۹/۹۲t-w	۳۱/۰۶-t	۲۹/۳۶b-d	S2×B3×F1
۲۱/۲۶h-g	۳۲/۱۲a	۳۱/۲۶e-g	۳۴/۰۳e-h	۳۶/۹۵d-f	۳۹/۴۱d-g	۳۱/۴۷w-z	S2×B4×F1
۱۵/۳۶w-z	۱۹/۰۴a-z	۲۳/۳۸vw	۲۶/۱۸t-v	۲۹/۱۴v-x	۳۰/۰۶t-v	۳۹/۶۷k-n	S2×B1×F2
۱۹/۱۶l-n	۲۴/۱۱l-n	۲۷/۴۹n-p	۲۸/۱۲q-s	۳۳/۱۲k-o	۳۵/۵۳k-n	۲۸/۰۳de	S2×B2×F2
۱۸/۲۳n-q	۲۲/۵۶o-r	۲۹/۰۴j-m	۲۷/۴۵r-s	۳۳/۹۱j-l	۳۶/۳j-l	۳۲/۵۶u-x	S2×B3×F2
۲۱/۹۵e-h	۲۶/۸۶f-h	۳۱/۸d-f	۳۴/۰۵e-g	۳۷/۶۷c-e	۴۰/۳۹c-e	۳۰/۰۳de	S2×B4×F2
۱۵/۰۵a-z	۱۹/۴۵w-z	۲۳/۱۲wx	۲۴/۱۳	۲۹/۵۶u-x	۲۹/۴۲u-w	۴۰/۵۴i-m	S2×B1×F3
۱۸/۵۸m-p	۲۳/۲۳m-p	۲۸/۳۸l-n	۳۰/۰۱l-p	۳۱/۴۵q-s	۳۴/۶۲m-o	۲۹/۵۶a-z	S2×B2×F3
۱۹/۵۶k-m	۲۴/۸kl	۲۸/۸k-m	۲۸/۹pq	۳۴/۵۶h-j	۳۶/۸۶i-k	۳۳/۰۵t-w	S2×B3×F3
۲۲/۶۷d-f	۲۷/۹d-f	۳۱/۹۶de	۳۵/۳۹b-e	۳۷/۹۱cd	۴۰/۰۸d-f	۳۲/۰۲v-y	S2×B4×F3
۱۵/۸۷u-w	۲۰/۰۳u-x	۲۴/۶۶s-u	۲۶/۸s-u	۲۸/۳۶x-z	۲۸/۸۴v-x	۴۱/۲۳h-k	S2×B1×F4
۲۰/۴۵i-k	۲۳/۸۹l-n	۳۰/۵۴f-i	۳۱/۳۶j-l	۳۲/۰۱o-r	۳۳/۱۷o-q	۲۸/۶۷a-z	S2×B2×F4
۱۹/۸j-l	۲۵/۴۸i-k	۲۹/۹۱h-k	۲۹/۹m-p	۳۵/۹۲f-h	۳۸/۶۳f-h	۳۶/۳۴qr	S2×B3×F4
۲۲/۱۴e-g	۲۷/۲۲e-g	۳۲/۹۲cd	۳۵/۴۵b-d	۳۸/۷۸a-c	۴۰/۹b-d	۴۳/۱۲d-f	S2×B4×F4
۱۲/۴۵d-z	۱۷/۳۴b-x	۲۱/۶۳y	۲۲/۳۴b	۲۵/۴۵d	۲۵/۱۱z	۲۷/۰۶e	S3×B1×F1
۱۴/۰۱a-c	۱۹/۵۶w-y	۲۲/۹۱wx	۲۳/۳۹a-z	۲۷/۵۸a-z	۲۶/۹۴y	۳۱/۶۷v-z	S3×B2×F1
۱۴/۲۳a-z	۱۹/۸۵v-y	۲۳/۱۴wx	۲۴/۶۶w-y	۲۶/۵۶a-d	۲۸/۶۸v-x	۳۲/۴۵v-x	S3×B3×F1
۱۷/۴۵p-s	۲۳/۳۹m-o	۲۸/۵۸l-n	۳۲/۹۲hi	۳۲/۴۶m-q	۳۵/۰۶l-n	۴۲/۱۲f-i	S3×B4×F1
۱۳/۳۶b-d	۱۸/۱۶ab	۲۱/۹xy	۲۳/۰۳ab	۲۶/۰۱b-d	۲۷/۵۳yx	۳۰/۴۵a-z	S3×B1×F2
۱۵/۱۲a-z	۲۰/۶t-w	۲/۹۲q-s	۲۵/۴۷u-x	۳۰/۰۷t-v	۲۹/۲۸u-w	۳۳/۳۶t-v	S3×B2×F2
۱۶/۱۷u-x	۱۹/۰۱	۲۳/۹۲u-w	۲۷/۰۱st	۲۸/۶۷w-y	۳۰/۸۶s-u	۳۵/۴۷rs	S3×B3×F2
۱۹/۲۵l-n	۲۴/۱۱l-n	۳۰/۱۹g-j	۳۲/۰۵i-k	۳۳/۴۵j-n	۳۵/۵۱k-n	۴۳/۴۷c-f	S3×B4×F2
۱۳/۱۴cd	۱۸/۲۵w-z	۲۱/۹۲	۲۳/۹۹a-z	۲۵/۶۷cd	۲۶/۸۶y	۲۹/۹۱a-z	S3×B1×F3
۱۵/۴۵v-y	۲۱/۱۶s-u	۲۵/۲۳st	۲۷/۹۱q-s	۲۹/۸t-w	۳۱/۱۶r-t	۳۴/۳۴st	S3×B2×F3
۱۴/۴۵a-z	۲۳/۲۴m-p	۲۸/۳۲l-n	۲۴/۱۴	۲۹/۱۵v-x	۲۹/۶۲t-w	۳۷/۶۷o-q	S3×B3×F3
۲۰/۰۱j-l	۲۵/۰۳j-l	۲۹/۰۱j-n	۳۳/۲۸i-k	۳۵/۴۵g-i	۳۷/۱۷h-j	۴۲/۲۳f-i	S3×B4×F3
۱۳/۲۵cd	۱۸/۷۸u-x	۲۲/۶۷w-y	۲۳/۰۸ab	۲۶/۹۱a-c	۲۸/۰۶w-y	۳۱/۲۵a-z	S3×B1×F4
۱۸/۱۸n-q	۲۲/۰۷p-s	۲۹/۳۹i-l	۲۹/۶۷n-p	۳۱/۱۳q-t	۳۳/۴۱o-q	۳۶/۹۱p-r	S3×B2×F4
۱۸/۸۹l-o	۲۴/۳۶k-m	۲۷/۰۱o-q	۳۰/۹۱k-n	۳۱/۶۷p-s	۳۲/۴۱q-s	۳۹/۱۲l-o	S3×B3×F4
۲۲/۱۵e-g	۲۶/۵۸g-i	۳۱/۷d-f	۳۴/۹۲c-f	۳۷/۱۴d-f	۳۹/۶۵d-g	۴۳/۰۱e-g	S3×B4×F4
۱/۱۵	۱/۲	۱/۲۶	۱/۳۸	۱/۳۶	۱/۶	۱/۷۷	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانوآکسید روی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰
تکرار	۲	۴۰۱۸/۳**	۴۷۰۷/۷**	۵۳۵۶/۲**	۶۳۲۹/۱**	۷۵۳۱/۳**	۸۱۸۸/۷**	۱۰۰۰۴/۸**
تنش شوری (S)	۲	۱۰۹۸**	۹۰۰/۹**	۱۰۷۷/۶**	۱۰۹۶/۲**	۱۳۱۹/۱**	۱۸۲۲/۲**	۱۳۲۶/۴**
کودهای زیستی (B)	۳	۶۶۸/۷۲**	۶۳۷/۷۸**	۸۱۰/۶۹**	۱۳۳۶/۸۴**	۱۰۲۱/۴**	۱۴۶۶/۲**	۱۵۲۷/۲**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۲۰۵/۱**	۲۲۲/۴**	۱۴۵/۸**	۱۸۷/۶**	۱۷۹/۳**	۲۳۵/۶**	۲۶۹/۴**
S×B	۶	۴۲/۳ ^{ns}	۳۴/۶**	۱۶/۹**	۴۳/۴**	۲۲/۸**	۲۳۵/۶**	۳۷/۵*
S×F	۶	۲۹/۷ ^{ns}	۳۳/۲**	۵/۸ ^{ns}	۵/۶ ^{ns}	۱۹/۹**	۲۳/۱**	۱۵/۹ ^{ns}
B×F	۹	۳۰/۹ ^{ns}	۲۵/۶**	۱۸/۳**	۴۵/۳**	۱۶/۱**	۳۰/۳**	۵۳/۱**
S×B×F	۱۸	۸۱/۴*	۵۱/۷*	۶۱/۵*	۳۹/۶*	۷۸/۷**	۳۶/۹*	۹۱/۶*
خطا	۹۴	۲۰/۹	۱۴/۴۱	۴/۳	۶/۶	۴/۹	۷/۱	۱۶/۳
ضریب تغییرات		۱۰	۷/۶	۳/۹	۴/۷	۳/۵	۴/۷	۵/۸

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

افزایش شوری، بیشتر بود (جدول ۱۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شوری ۸۰ میلی‌مولار در اولین مرحله از مراحل نمونه‌برداری (۶۰ روز بعد از کاشت مصادف با ظهور برگ پرچم)، بیشترین محتوای نسبی آب (۸۰/۵ درصد) در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلولپاشی پوترسین و نانوآکسید روی)، مشاهده شد که از افزایش ۴۵/۳ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۲).

علت کاهش محتوای نسبی آب با افزایش شوری ناشی از کاهش جذب آب در محیط است که شوری موجب به هم خوردن تعادل آبی گیاه می‌شود. در چنین شرایطی علاوه بر تأثیر مخرب شوری بر گیاه، محدودیت در جذب آب موجب کاهش فشار آماس برگ و کاهش هدایت روزنه‌ای (جدول ۶) می‌شود که یکی از عوامل محدودکننده فتوسنتز است (Ahmed et al., 2019). وجود مقادیر بالایی از کلسیم و پتاسیم موجود در ورمی‌کمپوست (جدول ۲) با تعدیل بخشی از اثرات ناشی از شوری، از دیگر دلایل افزایش محتوای نسبی آب گیاه است. در این راستا نظری و همکاران (۱۴۰۰) اظهار

تنش شوری شد هماهنگ است. احتمالاً قارچ میکوریز آربوسکولار به دلیل تأثیر مثبت بر گسترش ریشه و دسترسی بهتر گیاه به منابع آبی، ضمن بهبود محتوای نسبی آب برگ‌ها در تمامی مراحل نمونه‌برداری (جدول ۱۲) و کاهش آبسزیک اسید، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ تحت شرایط تنش می‌شود (نریمانی و همکاران، ۱۴۰۳). محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز بهبود هدایت روزنه‌ای برگ تربیتکاله در شرایط شوری با محلولپاشی برگی نانوآکسید روی را به افزایش محتوای نسبی آب، نسبت دادند. Mohammadi-Cheraghabadi و همکاران (۲۰۲۲) نیز بیان کردند که کاربرد پوترسین با بهبود محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شد.

محتوای نسبی آب برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلولپاشی پوترسین و نانوآکسید روی) در سطوح مختلف شوری بر محتوای نسبی آب برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۱۱). با گذشت زمان در تمامی ترکیبات تیماری، محتوای نسبی آب کاهش یافت و شدت این کاهش با

جدول ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری محتوای نسبی آب (روز پس از کاشت)

ترکیب تیماری	۶۰	۶۴	۶۸	۷۲	۷۶	۸۰	۸۴
S1×B1×F1	۶۸/۸۸r-t	۶۰/۹۳qr	۵۹/۳۶pq	۵۳/۹۵q-s	۴۸/۶۷v-y	۴۵/۵۶r-u	۴۱/۷۸a-z
S1×B2×F1	۷۳/۰۳l-p	۶۷/۲۵j-n	۶۵/۹۳j-i	۵۸/۴۵mn	۵۵/۵۶k-m	۵۱/۵۶i-k	۴۸/۶۷j-m
S1×B3×F1	۷۵/۴۵j-l	۶۹/۰۱g-j	۶۴/۱۴j-m	۶۰/۵۱k-m	۵۶/۲۵i-k	۵۲/۳۴g-i	۴۷/۲۹l-o
S1×B4×F1	۸۲/۵۶bc	۷۵/۹۲bc	۷۱/۹۶a-c	۶۸/۰۱ab	۶۰/۳۱c-e	۵۵/۹۱cd	۵۲/۶۷b-e
S1×B1×F2	۷۱/۰۶p-r	۶۴/۶n-p	۵۹/۹۱op	۵۶/۰۵n-p	۴۹/۵۶u-w	۴۷/۰۱p-s	۴۲/۰۱u-x
S1×B2×F2	۷۴/۳k-n	۷۱/۲۲fg	۶۵/۰۴i-k	۶۲/۶۱i-k	۵۸/۴۵e-h	۵۳/۹۳fg	۴۹/۴۵h-k
S1×B3×F2	۷۶/۰۱jk	۷۳/۰۹ef	۶۹/۰۹d-g	۵۹/۰۹l-n	۶۰/۲۷c-e	۵۲/۰۱h-j	۵۱/۸۹c-g
S1×B4×F2	۸۳/۸۳ab	۷۷/۰۳b	۷۰/۹۹b-d	۶۷/۱۷b-d	۶۲/۲۵ab	۵۵/۹۸cd	۵۴/۰۱ab
S1×B1×F3	۷۰/۲۳q-s	۶۲/۶۶pq	۶۱/۶۷no	۵۶/۰۱pq	۵۰/۵۵s-v	۴۶/۶۶p-s	۴۲/۱۴w-z
S1×B2×F3	۷۸/۴۵g-i	۶۸/۲۵j-l	۶۸/۳۳e-g	۶۳/۲۸h-j	۵۹/۰۴e-g	۵۴/۶۹d-f	۵۱/۰۱e-h
S1×B3×F3	۷۷/۰۳h-j	۷۰/۷f-i	۶۷/۱۴g-i	۶۴/۰۱g-i	۵۷/۲۳g-j	۵۵/۶۷c-e	۵۰/۱۸g-j
S1×B4×F3	۸۳/۱۲bc	۷۸/۲۸ab	۷۳/۱۴ab	۶۸/۱۴ab	۶۲/۱۱a-c	۵۶/۱۵cd	۵۳/۰۱a-d
S1×B1×F4	۷۱/۶۷o-q	۶۵/۱۴m-p	۶۲/۸۱l-n	۵۴/۹۹pq	۵۱/۵۶r-t	۴۷/۹۱n-p	۴۴/۱۲t-v
S1×B2×F4	۸۰/۰۶e-g	۷۸/۲۵ab	۷۱/۵bc	۶۵/۹۲b-f	۶۱/۰۷b-d	۵۷/۰۳bc	۵۳/۵۸a-c
S1×B3×F4	۸۲/۴۴b-e	۷۵/۸۹b-d	۷۳/۰۳ab	۶۷/۳۱a-c	۶۱/۴۲a-c	۵۷/۰۵bc	۵۲/۱۲c-f
S1×B4×F4	۸۵/۶۳a	۸۰/۳۶a	۷۴/۱۴a	۶۹/۵۶a	۶۳/۲۸a	۵۹/۴۸a	۵۴/۵۸a
S2×B1×F1	۶۴/۰۱w-z	۵۵/۰۳v-y	۵۴/۳۶tu	۵۰/۱۲u-w	۴۶/۹۵a-z	۴۴/۶t-w	۳۹/۰۱de
S2×B2×F1	۶۷/۰۱t-v	۶۰/۷۸q-s	۵۸/۰۱p-r	۵۱/۰۱s-u	۴۸/۱۲w-z	۴۵/۹۲r-t	۴۲/۴۷v-y
S2×B3×F1	۶۶/۱۸vw	۵۹/۱۴r-t	۵۹/۴۴pq	۴۹/۱۲v-x	۴۹/۹۳t-w	۴۶/۹۱p-s	۴۳/۷۸t-w
S2×B4×F1	۷۹/۳۴f-g	۷۰/۹۹f-h	۶۸/۰۴f-h	۶۴/۹۱d-i	۵۷/۰۵h-k	۵۱/۸۱h-j	۴۹/۰۷h-k
S2×B1×F2	۶۴/۴۹w-y	۵۷/۲۶t-v	۵۶/۱۵r-t	۵۰/۶۹t-v	۴۶/۳۴a-z	۴۳/۳۴w-y	۴۰/۱۲a-e
S2×B2×F2	۶۸/۹۱r-t	۶۶/۲۵k-o	۶۳/۰۸k-n	۵۴/۵۲qr	۵۱/۲۶r-u	۴۹/۹۱k-m	۴۶/۳۶o-r
S2×B3×F2	۷۰/۱۹q-s	۶۷/۱۲j-n	۶۴/۶۷j-l	۵۲/۹۲r-t	۵۳/۶۷m-q	۴۷/۶۷o-q	۴۴/۶۷r-u
S2×B4×F2	۷۹/۴۴f-h	۷۴/۱۲c-e	۷۰/۰۳c-f	۶۴/۶۲e-i	۵۸/۰۱f-i	۵۳/۳۴f-h	۵۰/۷۸f-i
S2×B1×F3	۶۲/۵۶yz	۵۶/۱۲u-w	۵۷/۲۵q-s	۴۸/۳۶wx	۴۵/۳۶a-d	۴۳/۷۶v-y	۳۹/۸۲c-e
S2×B2×F3	۷۲/۹۲m-p	۶۴/۱۴op	۶۴/۱۴j-m	۵۸/۳۳m-o	۵۲/۰۱p-s	۴۸/۱۴n-p	۴۵/۱۲q-t
S2×B3×F3	۶۹/۱۳r-s	۶۸/۵۶h-l	۶۵/۰۴j-l	۵۵/۳۴pq	۵۲/۰۱p-s	۵۱/۰۲i-l	۴۶/۵۴n-q
S2×B4×F3	۸۱/۴۲c-f	۷۴/۴c-e	۷۰/۲۵c-e	۶۶/۵b-d	۵۸/۲۵f-h	۵۵/۰۱d-f	۵۱/۶۳d-g
S2×B1×F4	۶۵/۰۹v-x	۵۵/۹۷u-w	۵۵/۰۹s-u	۵۰/۸۱t-v	۴۷/۰۱a-z	۴۴/۵۸t-w	۴۰/۹۱a-z
S2×B2×F4	۷۲/۸۱n-p	۶۲/۹۹pq	۶۱/۹۱no	۶۰/۳۴k-m	۵۴/۱۷l-o	۴۹/۵۶l-n	۴۶/۹۱n-p
S2×B3×F4	۷۵/۲۷j-m	۶۹/۹۷g-i	۶۷/۰۳g-i	۵۶/۹۳n-p	۵۶/۰۷j-l	۵۱/۹۵h-j	۴۸/۱۲k-n
S2×B4×F4	۸۱/۳۴c-f	۷۷/۴۳b	۷۲/۰۴a-c	۶۶/۳۶b-f	۵۹/۴۷d-f	۵۴/۰۱e-g	۵۲/۰۷c-f
S3×B1×F1	۵۵/۴c	۵۱/۴۷z	۴۸/۹۳y	۴۵/۳۶y	۴۰/۴۷f	۳۶/۹۷b-z	۳۵/۱۲g

۳۸/۴۷ef	۴۲/۵۶a-y	۴۴/۱۶de	۴۸/۰۳wx	۵۲/۰۴v-x	۵۳/۰۳yz	۶۱/۶۷a-z	S3×B2×F1
۳۹/۵۶c-e	۴۴u-x	۴۵/۰۳b-d	۴۹/۳۴v-x	۵۴/۰۱t-v	۵۵/۱۴v-y	۶۵/۱۲v-x	S3×B3×F1
۴۴/۴۸s-u	۴۹/۲۳m-o	۵۲/۷۲o-q	۶۳/۵۴hi	۶۲/۶۱l-n	۶۵/۹۵l-o	۷۶/۳۴i-k	S3×B4×F1
۳۸/۶۷ef	۴۱/۳۲a-z	۴۲/۹۸e	۴۷/۱۵xy	۵۱/۰۶xy	۵۴/۶۳w-y	۵۹/۲۸b	S3×B1×F2
۴۰/۰۱b-e	۴۵/۳۶s-v	۴۸/۹۴v-x	۴۹/۹۵u-w	۵۸/۱۲pq	۵۶/۴u-w	۶۶/۳۴u-w	S3×B2×F2
۴۱/۵۸a-z	۴۳/۱۲w-z	۴۶/۶۷a-z	۵۱/۶۷s-u	۵۵/۵۶st	۵۹/۴۵r-t	۶۸/۶۲s-u	S3×B3×F2
۴۶/۱۸o-s	۴۹/۹k-m	۵۵/۳۴k-n	۶۱/۰۱j-l	۶۳/۴۵k-n	۶۶/۱۲k-o	۷۷/۱۲h-j	S3×B4×F2
۳۷/۰۱f	۴۱/۴۵a-z	۴۳/۴۴de	۴۸/۰۱wx	۵۱/۳۳wx	۵۳/۴x-z	۶۱/۹۲a-z	S3×B1×F3
۴۰/۶۷a-z	۴۶/۰۱q-t	۴۷/۵۶x-z	۵۱/۹۹s-u	۵۵/۹۸r-t	۵۸/۱۸s-u	۶۷/۰۵t-v	S3×B2×F3
۳۹/۱۳de	۴۸/۰۸n-p	۵۱/۹۱q-s	۴۸/۸۱v-x	۵۷/۰۳rs	۵۷/۵۴t-v	۶۲/۹۷x-z	S3×B3×F3
۴۷/۲۹m-o	۵۱/۵۲i-k	۵۳/۵۴o-q	۶۴/۱۳f-i	۶۶/۰۱h-j	۶۹/۸۹g-i	۷۸/۴۶g-i	S3×B4×F3
۲۷/۲۳f	۴۲/۱۵a-z	۴۴/۴۵c-e	۴۷/۵۶xy	۵۳/۲۵u-w	۵۳/۹۵w-z	۵۹/۹۷ab	S3×B1×F4
۴۳/۲۳u-x	۴۷/۱p-r	۵۳/۹۲m-p	۵۷/۰۵n-p	۶۲m-o	۶۳/۰۹pq	۷۴/۰۴k-o	S3×B2×F4
۴۵/۴۹p-t	۵۰/۳۶j-m	۵۰/۳۶s-v	۵۹/۱۹l-n	۵۹/۸۹op	۶۲/۵۶pq	۷۲/۵۶n-q	S3×B3×F4
۵۱/۳۴d-g	۵۸/۰۱ab	۵۷/۶۴f-j	۶۵/۴۵c-g	۶۹/۰۷d-g	۷۳/۳d-f	۸۰/۵۶d-g	S3×B4×F4
۱/۷۲	۱/۶۸	۱/۹۳	۲/۳	۲/۱۸	۲/۶	۲/۴۲	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانوآکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانوآکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

سویه پتاسیم از غشاء شده و همین امر سبب تحریک بسته شدن روزنه‌ها و در پی آن کاهش از دست‌رفتن آب گیاه و افزایش محتوای نسبی آب برگ می‌شود (Rubinowska *et al.*, 2012). برخی محققان نیز، افزایش پایداری غشاء سلولی و جلوگیری از هدررفت آب از گیاه را، به افزایش محتوای نسبی آب برگ در اثر محلول‌پاشی پوترسین نسبت دادند (Jalili *et al.*, 2023).

عملکرد کوانتومی برگ پرچم: نتایج تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۳). بررسی روند تغییرات عملکرد کوانتومی در طول دوره رشدی نشان داد که این شاخص با

داشتند افزودن ورمی‌کمپوست به خاک می‌تواند به دلیل توانایی این ماده در حفظ رطوبت خاک و سهولت دسترسی به آب توسط گیاه، منجر به افزایش محتوای نسبی آب گیاه شود. بخشی از تأثیر ورمی‌کمپوست در افزایش محتوای نسبی آب در گیاهان کلونیزه‌شده با قارچ میکوریز آربوسکولار در مقایسه با عدم کاربرد آن، می‌تواند ناشی از تأثیر قارچ میکوریز در بهبود تغذیه گیاه میزبان و بالانگهداشتن نسبت K⁺/Na⁺ در بافت گیاهی باشد (Pollastri *et al.*, 2018). کاربرد نانوآکسید روی نیز به دلیل توانایی این ماده در تحریک تولید اکسین، ضمن رشد دیواره سلولی و کاهش خروج مواد و آب از غشا موجب می‌گردد محتوای نسبی آب افزایش یابد (زند و همکاران، ۱۳۸۹). احتمال داده می‌شود پلی‌آمین‌ها به دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء به کلسیم، میزان آن را در گیاه افزایش می‌دهند و این افزایش کلسیم موجب غیرفعال کردن ورود یک

جدول ۱۳- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۰/۰۰۰۰۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۷ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۴۶ ^{ns}	۰/۰۰۰۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۲۵ ^{ns}	۲	تکرار
۰/۲۹۳ ^{**}	۰/۲۶۸ ^{**}	۰/۰۷۹۳ ^{**}	۰/۰۴۳۸ ^{**}	۰/۱۰۲ ^{**}	۰/۰۸۸ ^{**}	۰/۰۱۵۲ ^{**}	۲	تنش شوری (S)
۰/۴۲۱ ^{**}	۰/۴۲۲ ^{**}	۰/۱۷۹ ^{**}	۰/۰۸۶۵ ^{**}	۰/۰۴۳۷ ^{**}	۰/۰۴۳۵ ^{**}	۰/۰۴۵۲ ^{**}	۳	کودهای زیستی (B)
۰/۰۸۸ ^{**}	۰/۰۸ ^{**}	۰/۰۴۸ ^{**}	۰/۰۴۵۵ ^{**}	۰/۰۲۹۵ ^{**}	۰/۰۱۹۷ ^{**}	۰/۰۱۹۶ ^{**}	۳	محلول پاشی برگ (F)
۰/۰۱۷۷ ^{**}	۰/۰۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۵۶ ^{**}	۰/۰۰۸ ^{**}	۰/۰۰۳۱ ^{ns}	۰/۰۰۳۸ [*]	۰/۰۰۲۲ ^{ns}	۶	S×B
۰/۰۲۸۳ ^{**}	۰/۰۰۹۱ ^{**}	۰/۰۰۵۱ ^{**}	۰/۰۰۷۹ ^{**}	۰/۰۰۹۶ ^{**}	۰/۰۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۶	S×F
۰/۰۱۳۱ ^{**}	۰/۰۱۲۹ ^{**}	۰/۰۰۴ ^{**}	۰/۰۰۸۱ ^{**}	۰/۰۰۶۵ [*]	۰/۰۰۱۲ ^{ns}	۰/۰۰۲۱ ^{ns}	۹	B×F
۰/۰۱۷ ^{**}	۰/۰۱۲ ^{**}	۰/۰۰۸۲ ^{**}	۰/۰۰۳۶ [*]	۰/۰۰۴۱ [*]	۰/۰۰۳۷ ^{**}	۰/۰۰۳۳ [*]	۱۸	S×B×F
۰/۰۰۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱۹	۹۴	خطا
۵/۸	۹/۹	۵/۷	۶/۴	۶/۹	۴/۶	۵/۲		ضریب تغییرات

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

جدول ۱۴- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر عملکرد کوانتومی برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری عملکرد کوانتومی (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۰/۵۰۱j-l	۰/۶۶۵g-i	۰/۶۵۴t-u	۰/۷۵۹n-q	۰/۷۷۰m-o	۰/۸۱۹pq	۰/۸۳۷rs	S1×B1×F1
۰/۵۲۳i	۰/۶۰۴k-n	۰/۶۸۸p-r	۰/۷۴۳q-s	۰/۷۹۸jk	۰/۸۴۴jz-n	۰/۸۴۴qr	S1×B2×F1
۰/۵۱۲ij	۰/۶۰۱l-o	۰/۶۹۸n-q	۰/۷۰۹uv	۰/۷۹۷jk	۰/۸۳۴no	۰/۸۶۲no	S1×B3×F1
۰/۶۲۴d-f	۰/۷۴۹ab	۰/۸۰۱ab	۰/۸۳۴a-d	۰/۸۵۹a-c	۰/۸۸۷ab	۰/۸۸۱g-i	S1×B4×F1
۰/۵۵۵h	۰/۶۰۹k-n	۰/۶۴۰v-x	۰/۷۷۷l-o	۰/۷۷۶lm	۰/۷۷۲xy	۰/۸۲۹st	S1×B1×F2
۰/۵۲۳i	۰/۶۳۳j-l	۰/۷۰۹l-o	۰/۸۱۳d-i	۰/۸۱۷f-i	۰/۸۳۵m-o	۰/۸۷۳i-l	S1×B2×F2
۰/۵۵۵h	۰/۶۹۵d-g	۰/۷۳۹hi	۰/۶۹۷v-x	۰/۸۰۷ij	۰/۸۵۲i-k	۰/۸۳۰st	S1×B3×F2
۰/۶۱۹d-f	۰/۷۰۹c-e	۰/۷۸۵b-e	۰/۸۱۸c-h	۰/۸۵۷a-c	۰/۸۶۹c-f	۰/۸۹۳b-f	S1×B4×F2
۰/۵۱۱ij	۰/۵۰۵v-x	۰/۶۴۶u-w	۰/۷۲۱s-u	۰/۸۴۶b-d	۰/۸۶۵d-h	۰/۸۵۶p	S1×B1×F3
۰/۵۱۴ij	۰/۶۹۷d-f	۰/۷۵۵gh	۰/۷۵۵o-r	۰/۸۳۷de	۰/۸۷۲cd	۰/۸۶۴m-o	S1×B2×F3
۰/۴۹۹i-k	۰/۶۹۰e-h	۰/۷۲۷i-k	۰/۸۰۶f-j	۰/۸۳۰d-g	۰/۸۴۸i-l	۰/۸۸۵e-f	S1×B3×F3
۰/۶۲۴d-f	۰/۷۱۸b-d	۰/۸۰۲ab	۰/۸۴۵ab	۰/۸۶۴ab	۰/۸۸۰a-c	۰/۸۹۶b-d	S1×B4×F3
۰/۴۶۵lm	۰/۵۴۸q-t	۰/۶۶۰tu	۰/۷۹۱j-m	۰/۷۷۵l-n	۰/۸۵۶f-j	۰/۸۷۸h-k	S1×B1×F4
۰/۶۶۹c	۰/۷۴۵b	۰/۷۹۷a-c	۰/۸۲۹e-h	۰/۸۲۹	۰/۸۸۵ab	۰/۸۸۶d-g	S1×B2×F4
۰/۷۰۲b	۰/۷۰۷c-e	۰/۷۶۸e-g	۰/۸۴۲ab	۰/۸۴۳c-e	۰/۸۷۰c-e	۰/۸۹۵b-d	S1×B3×F4
۰/۷۶۹a	۰/۷۷۹a	۰/۸۰۹a	۰/۸۵۴a	۰/۸۶۷a	۰/۸۲۹a	۰/۹۰۸a	S1×B4×F4
۰/۵۲۳i	۰/۵۴۷q-t	۰/۶۵۴t-v	۰/۷۳۸q-s	۰/۷۶۲m-q	۰/۷۹۳t-v	۰/۷۹۷w-z	S2×B1×F1
۰/۵۱۲ij	۰/۵۸۸m-p	۰/۶۳۴w-y	۰/۷۱۴t-u	۰/۷۵۹n-q	۰/۷۵۳a-z	۰/۸۰۲v-x	S2×B2×F1

•/۴۸۳j-l	•/۴۹۲a-z	•/۶۰۶a-c	•/۷۸۹j-m	•/۷۸۷kl	•/۸۰۴r-t	•/۸۴۳qr	S2×B3×F1
•/۴۲۷no	•/۵۶۹o-r	•/۶۲۱a-z	•/۸۱۰e-j	•/۸۳۱d-g	•/۸۸۶d-f	•/۸۷۶h-k	S2×B4×F1
•/۵۶۸gh	•/۴۶۴b-z	•/۶۷۱r-t	•/۷۵۵o-r	•/۷۴۵q-s	•/۷۸۲v-x	•/۷۹۸w-y	S2×B1×F2
•/۶۳۲de	•/۷۱۳c-e	•/۷۷۲d-g	•/۷۰۲u-w	•/۷۷۰m-o	•/۷۸۷u-w	•/۸۲۰tu	S2×B2×F2
•/۶۷۱bc	•/۶۲۵kl	•/۷۰۴m-p	•/۶۸۶w-y	•/۸۱۳h-j	•/۸۵۵g-j	•/۸۶۷l-o	S2×B3×F2
•/۴۱۹no	•/۷۲۳b-d	•/۷۸۰c-f	•/۷۷۲m-o	•/۸۰۳i-k	•/۸۶۹c-f	•/۸۸۳f-i	S2×B4×F2
•/۷۳۸a	•/۷۳۸b	•/۵۸۷de	•/۶۷۴yz	•/۷۵۰p-r	•/۸۰۰r-t	•/۷۹۲x-z	S2×B1×F3
•/۴۳۵m-o	•/۵۸۴n-p	•/۶۸۲q-s	•/۷۹۶h-l	•/۷۹۹jk	•/۸۲۸op	•/۸۵۱pq	S2×B2×F3
•/۵۹۹fg	•/۶۷۷f-i	•/۷۳۳ij	•/۸۰۴g-j	•/۷۴۰rs	•/۸۵۸e-i	•/۸۷۰j-n	S2×B3×F3
•/۵۶۶h	•/۷۱۸b-d	•/۷۷۶d-f	•/۸۲۸b-f	•/۸۰۸ij	•/۸۷۵b-d	•/۸۹۷a-c	S2×B4×F3
•/۴۲۷no	•/۵۷۸n-q	•/۵۸۹c-e	•/۷۴۸p-r	•/۷۸۸kl	•/۷۹۷s-u	•/۷۹۰a-z	S2×B1×F4
•/۶۴۸cd	•/۶۸۹e-h	•/۷۲۶i-l	•/۷۰۳u-w	•/۸۴۰de	•/۸۱۲qr	•/۸۶۳m-o	S2×B2×F4
•/۴۳۳m-o	•/۶۶۱h-j	•/۷۳۲ij	•/۸۲۵b-f	•/۸۱۶g-i	•/۸۴۰k-o	•/۸۹۱c-f	S2×B3×F4
•/۵۰۱j-l	•/۷۳۷bc	•/۷۸۹b-d	•/۸۳۶a-c	•/۸۶۰ab	•/۸۸۶ab	•/۹۰۲ab	S2×B4×F4
•/۲۹۰q	•/۴۶۵a-z	•/۴۹۷i	•/۵۹۲c	•/۶۴۷b-z	•/۶۹۵e	•/۷۶۴c-g	S3×B1×F1
•/۴۱۹no	•/۴۷۲a-z	•/۶۱۴a-z	•/۶۶۵a-z	•/۶۸۵x-z	•/۷۳۵bc	•/۸۰۴vw	S3×B2×F1
•/۳۸۴p	•/۵۴۳r-u	•/۵۶۸fg	•/۶۴۷ab	•/۷۰۵u-w	•/۷۶۰yz	•/۷۸۷a-z	S3×B3×F1
•/۵۶۴h	•/۵۶۵p-s	•/۶۹۴o-q	•/۷۶۶n-p	•/۷۶۴m-p	•/۷۴۲ab	•/۸۳۸rs	S3×B4×F1
•/۴۴۱m-o	•/۵۱۳u-x	•/۵۴۲h	•/۶۳۶b	•/۶۷۹a-z	•/۷۲۳cd	•/۷۸۱a-g	S3×B1×F2
•/۴۸۳j-l	•/۵۲۸t-w	•/۶۶۶st	•/۷۲۴s-u	•/۷۳۱st	•/۸۱۲qr	•/۸۳۲s	S3×B2×F2
•/۴۴۴mn	•/۴۹۹w-y	•/۵۵۰gh	•/۶۴۲b	•/۶۶۷a-z	•/۷۱۲d	•/۷۸۸a-z	S3×B3×F2
•/۵۱۲ij	•/۶۱۶k-m	•/۷۴۳hi	•/۷۸۰k-n	•/۷۲۰tu	•/۷۷۷wx	•/۸۶۸k-n	S3×B4×F2
•/۴۴۷kl	•/۵۱۰v-x	•/۵۳۵h	•/۶۵۸a-z	•/۶۹۷v-x	•/۷۱۶d	•/۷۹۶w-z	S3×B1×F3
•/۴۲۳no	•/۴۹۶x-z	•/۶۲۷x-z	•/۷۵۳k-l	۷۱۰uv	•/۷۵۰a-z	•/۸۳۹rs	S3×B2×F3
•/۴۹۵i-l	•/۶۳۵i-k	•/۷۶۲fg	•/۶۷۵x-z	•/۶۷۲a-z	•/۷۳۳bc	•/۸۲۲t	S3×B3×F3
•/۵۱۰ij	•/۵۸۸b-z	•/۷۱۴k-n	•/۸۰۲g-l	•/۶۹۲w-y	•/۸۳۷l-o	•/۸۱۰uv	S3×B4×F3
•/۴۹۹i-k	•/۵۳۵s-v	•/۵۷۷ef	•/۷۱۰uv	•/۷۴۲rs	•/۷۴۱ab	•/۷۷۶b-h	S3×B1×F4
•/۴۱۶no	•/۵۶۳p-s	•/۵۹۷b-d	•/۸۰۰h-k	•/۷۵۶p-r	•/۷۷۱xy	•/۸۶۰n-p	S3×B2×F4
•/۴۱۲op	•/۵۹۳m-p	•/۷۱۹j-m	•/۷۸۰k-m	•/۸۰۶ij	•/۸۰۸q-s	•/۸۸۱g-i	S3×B3×F4
•/۶۰۹ef	•/۶۶۷f-h	•/۸۰۲ab	•/۸۱۸c-h	•/۸۳۳d-f	•/۸۴۷i-m	•/۸۸۹c-f	S3×B4×F4
•/۰۳۱۷	•/۰۳۱۹	•/۰۱۸۱	•/۰۲۲۴	•/۰۱۷	•/۰۱۳	•/۰۱۰۶	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

فلورسانس حداکثر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۱۵). در ۸۴ روز پس از کاشت در بالاترین سطح شوری، بیشترین فلورسانس حداکثر (۳۹۹) در تیمار همزمان تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، میکوریز و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، به دست آمد که از افزایش ۴۱/۴ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل کننده های تنش در همین سطح از تنش شوری برخوردار بود (جدول ۱۶).

از آنجایی که فلورسانس منحصر در فتوسیستم II اتفاق می افتد، با افزایش تنش پارامترهای Fm و کارایی فتوسیستم II برای تبدیل انرژی نوری جذب شده به انرژی شیمیایی، کاهش می یابد و همه مراکز واکنشی فتوسیستم II بسته می شود، بنابراین فلورسانس حداکثر در اثر تابش فوتون های نوری و احیای الکترون و بسته بودن (اشباع) همه مراکز واکنشی ایجاد می شود (Mehta et al., 2010). از این رو بسته بودن مراکز فتوسیستم II تحت شرایط تنش، کاهش سرعت واکنش های فتوشیمیایی است و هر چه سیستم دیرتر بسته شود، یعنی قادر باشد تعداد الکترون های بیشتری را بپذیرد، فلورسانس حداکثر آن بالاتر یا سیستم کارآمدتر خواهد بود (Mehta et al., 2010). به نظر می رسد محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی و کاربرد ورمی کمپوست و میکوریز آربوسکولار با تعدیل اثرات ناشی از شوری، با افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و شاخص سبزینگی برگ (جدول ۴)، ضمن بهبود جریان الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I، موجب افزایش فلورسانس حداکثر شده است (Zlatev, 2010). این یافته با نتایج بررسی های نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) هم خوانی دارد. محمدزاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز افزایش فلورسانس حداکثر برگ تربیتکاله به واسطه محلول پاشی نانو اکسید روی تحت شرایط شوری را، به بهبود محتوای نسبی آب نسبت دادند.

فلورسانس متغیر برگ پرچم: تیمار توأم تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، میکوریز و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر فلورسانس متغیر برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه برداری در سطح احتمال یک

گذشت زمان از روند کاهشی برخوردار بود (جدول ۱۴)، به طوری که در ۸۴ روز پس از کاشت تحت شرایط شوری ۸۰ میلی مولار، از افزایش ۱۱۰ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در همین سطح از سطوح شوری برخوردار بود (جدول ۸).

به نظر می رسد سمیت حاصل از کلرید سدیم در شرایط شوری در بافت های گیاهی، به دلیل کاهش پتانسیل آبی سیستم ریشه و کاهش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲)، موجب کاهش عملکرد کوانتومی گیاه می شود (Neocleous and Vasilakakis, 2007). بخشی از کاهش عملکرد کوانتومی در شرایط شوری می تواند ناشی از کمبود عناصر ریزمغذی همچون آهن، روی و منیزیم باشد که با تأثیر بر ساختار کلروفیل بر توان فتوسنتزی و عملکرد کوانتومی تأثیر می گذارد، در این شرایط کاربرد ورمی کمپوست به دلیل برخورداری از عناصر ریزمغذی مورد نیاز گیاه و مؤثر در ساختار کلروفیل (جدول ۲)، موجب بهبود عملکرد کوانتومی شد که با اظهارات نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر اینکه ورمی کمپوست به دلیل توان نگهداری بالای آب و بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، منجر به افزایش محتوای نسبی آب و در نتیجه عملکرد کوانتومی می شود، هماهنگ است. بخشی از بهبود عملکرد کوانتومی می تواند با اثر نانو اکسید روی در حفظ محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و بهبود وضعیت روزنه ای (جدول ۱۰) مرتبط باشد که شرایط مطلوب را برای عملکرد کوانتومی تحت شرایط تنش فراهم می کند که با یافته های Kheirizadeh Arough و همکاران (۲۰۱۶) هم خوانی دارد. کاربرد پوترسین تحت شرایط تنش نیز، به دلیل کاهش گونه های فعال اکسیژن و بهبود شاخص های کلروفیل (جدول ۱۶ و ۱۸) موجب بهبود عملکرد کوانتومی شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Islam et al., 2022).

فلورسانس حداکثر برگ پرچم: نتایج تیمار همزمان تعدیل کننده های تنش (ورمی کمپوست، میکوریز و محلول پاشی پوترسین و نانو اکسید روی)، در سطوح مختلف شوری بر

جدول ۱۵- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰
تکرار	۲	۲۵۵۹۴۶/۹**	۲۶۲۱۶۱/۹**	۳۶۲۸۸۰/۱**	۴۴۶۷۵۴/۸**	۵۵۰۷۸۴/۳**	۶۶۱۷۳/۸**	۷۳۳۴۸۵/۷**
تنش شوری (S)	۲	۸۳۰۷۹/۱**	۹۳۴۰۵/۸**	۷۸۶۰۴/۵**	۸۲۸۹۳/۱**	۲۱۸۴۴۳/۲**	۳۱۷۰۴۲/۴**	۱۰۶۱۷۴/۹**
کودهای زیستی (B)	۳	۱۲۱۹۴۵/۵**	۱۲۶۷۳۲/۲**	۹۰۰۸۸/۵**	۹۴۹۰۷/۳**	۵۲۷۴۱/۷**	۸۴۱۸۳/۳**	۷۵۴۲۰/۶**
محلولپاشی برگ (F)	۳	۲۱۵۶۵/۲**	۲۵۶۸۲/۵**	۱۸۸۵۳/۷**	۴۸۸۵۳/۶**	۲۹۵۴۶/۴**	۲۶۳۳۲/۶**	۳۱۸۵۸/۷**
S×B	۶	۲۲۶۸۲**	۱۰۰۹/۵ ^{ns}	۱۷۲۰/۵ ^{ns}	۵۶۶۴**	۱۷۰۷/۲ ^{ns}	۷۱۹۷/۲**	۱۰۲۴۴/۸**
S×F	۶	۴۱۱۴/۵**	۴۸۹۱/۵**	۶۲۳۴**	۵۵۲۹/۳**	۱۱۰۶۹**	۷۱۹۷/۸**	۳۸۴۰/۹ ^{ns}
B×F	۹	۲۸۴۰/۳**	۶۸۶۶/۶**	۸۳۷۳/۳**	۱۲۸۶۳/۲**	۵۴۵۰/۴**	۴۵۵۷/۲**	۸۶۳۹/۴*
S×B×F	۱۸	۳۶۲۹/۸**	۴۰۳۶/۹**	۴۰۵۵/۱**	۳۴۸۴/۵**	۲۹۰۰۳/۱**	۶۰۹۸/۲**	۱۸۶۳۹/۵**
خطا	۹۴	۴۰۹/۷	۱۱۱۴/۱	۶۹۰/۹	۹۲۱/۸	۱۰۲۹/۷	۱۴۹۳/۲	۲۰۲۳/۶
ضریب تغییرات		۵/۵	۹/۶	۶	۶/۵	۶/۳	۶/۷	۷/۳

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

جدول ۱۶- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداکثر برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری شاخص کلروفیل حداکثر (روز پس از کاشت)							
							ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۴۰۲bc	۴۰۹i-l	۴۱۵t-x	۴۷۴p-w	۵۰۸/۳۳۱-q	۵۶۱o-q	۵۹۲u-w	S1×B1×F1
۴۱۲bc	۴۱۴h-k	۴۲۶r-u	۴۵۵t-z	۵۵۴g-m	۶۱۱j-m	۶۱۵r-t	S1×B2×F1
۴۰۲bc	۴۳۳f-h	۴۳۴q-t	۴۱۹a-z	۵۵۲/۶h-m	۵۹۲l-n	۶۲۹o-s	S1×B3×F1
۵۱۶a	۵۲۳a	۵۴۲a-c	۵۸۳a-e	۶۴۶a-c	۷۰۲ab	۶۸۷c-h	S1×B4×F1
۳۱۷i-m	۳۷۷o-q	۳۸۹a-z	۴۹۷m-t	۵۱۴l-p	۴۸۵w-z	۵۶۰a-z	S1×B1×F2
۳۷۶de	۳۸۰n-q	۴۴۳p-s	۵۵۱d-j	۵۶۹/۶e-j	۵۷۵n-p	۶۶۲k-m	S1×B2×F2
۳۴۸fg	۴۱۰i-l	۴۷۱j-n	۴۰۹a-g	۵۵۹g-l	۶۲۷h-k	۵۸۱v-y	S1×B3×F2
۴۱۳bc	۴۶۱c-d	۵۲۱c-f	۵۵۹c-g	۶۵۷ab	۶۸۶a-d	۶۹۹b-e	S1×B4×F2
۲۹۷m-p	۳۰۹yz	۳۹۳a-z	۴۳۳a-z	۶۳۰a-d	۶۸۶/۳e-h	۶۳۴n-r	S1×B1×F3
۳۳۷f-i	۴۲۹f-i	۴۸۶h-k	۴۹۶m-t	۶۱۲b-f	۶۵۰a-d	۶۴۱m-q	S1×B2×F3
۳۵۸ef	۳۹۴k-o	۴۵۸m-p	۵۴۱e-l	۶۰۰c-h	۶۴۶e-h	۶۷۶f-j	S1×B3×F3
۵۰۴a	۵۱۵ab	۵۴۶ab	۶۰۵ab	۶۶۰/۴a	۶۹۷a-c	۷۱۵b	S1×B4×F3
۳۹۹c	۴۰۲j-k	۴۰۳w-z	۵۱۷i-o	۵۰۳m-r	۶۳۳g-j	۶۷۱g-j	S1×B1×F4
۴۰۱a	۵۱۶ab	۵۳۶bc	۵۷۸b-f	۵۱۷/۲e-j	۶۹۵/۵a-c	۶۸۴d-h	S1×B2×F4
۴۹۹a	۵۰۱ab	۵۰۰f-h	۶۰۱a-c	۵۸۹/۶e-i	۶۶۲d-g	۷۰۳b-d	S1×B3×F4
۵۱۹a	۵۲۵a	۵۶۰a	۶۲۲ab	۶۶۷a	۷۱۱a	۷۴۴a	S1×B4×F4
۳۰۲v-z	۳۲۲w-z	۳۹۹a-z	۴۵۰a-z	۵۴۲/۶i-n	۵۲۶r-u	۵۴۰b-f	S2×B1×F1
۲۹۰op	۳۶۶p-s	۳۸۵a-z	۴۲۶a-z	۵۰۸/۲۱-q	۴۷۴a-z	۵۵۶a-z	S2×B2×F1
۳۰۸k-o	۳۰۳z	۳۶۸c-f	۵۱۱j-q	۵۵۷g-l	۵۴۱q-s	۶۱۱s-u	S2×B3×F1

۳۲۱h-l	۳۴۱t-w	۳۷۷b-e	۵۴۶d-i	۶۱۱/۸b-f	۶۵۸d-g	۶۶۷h-k	S2×B4×F1
۲۸۸op	۳۱۹x-z	۴۱۰u-y	۴۷۰q-w	۴۷۹p-u	۵۱۰t-w	۵۲۸e-g	S2×B1×F2
۳۵۶ef	۴۴۶e-f	۵۰۴e-h	۴۵۶t-z	۵۰۹l-q	۵۱۶s-v	۵۷۳w-z	S2×B2×F2
۳۲۴h-k	۳۷۳o-s	۴۳۹u-x	۴۰۱b-g	۵۷۲e-j	۶۲۳h-k	۶۴۵l-p	S2×B3×F2
۳۹۶cd	۴۵۵c-e	۵۱۴d-f	۴۹۲n-u	۵۵۷g-l	۶۶۹c-f	۶۷۸e-i	S2×B4×F2
۳۰۱l-p	۳۱۲a-z	۳۵۶e-g	۳۹۳c-h	۴۸۴o-u	۵۳۶q-t	۵۱۹f-i	S2×B1×F3
۳۳۱g-j	۳۵۱q-t	۴۲۲s-w	۵۲۴h-o	۵۵۲h-m	۵۸۳m-o	۶۲۵p-t	S2×B2×F3
۳۵۷ef	۴۰۵j-m	۴۶۵k-o	۵۳۶f-m	۴۵۵r-w	۶۴۰f-i	۶۵۵j-n	S2×B3×F3
۴۱۰bc	۴۵۰c-f	۵۰۹e-g	۵۷۴b-g	۵۸۱d-j	۶۷۳b-d	۷۰۸bc	S2×B4×F3
۳۰۲r-w	۳۱۸x-z	۳۴۱g-i	۴۶۰s-x	۵۳۲j-o	۵۳۲q-t	۵۳۳d-g	S2×B1×F4
۳۱۲j-n	۴۲۱g-j	۴۸۱i-k	۴۱۴a-z	۶۱۷a-d	۵۵۲p-r	۶۴۳m-q	S2×B2×F4
۳۵۷ef	۴۰۱j-n	۴۶۰l-p	۵۷۰b-g	۵۷۶e-i	۶۰۶j-m	۶۹۶b-f	S2×B3×F4
۴۲۲b	۴۷۱c	۵۳۱b-d	۵۸۷a-d	۶۶۰ab	۶۹۴a-c	۷۱۳b	S2×B4×F4
۲۸۲p	۳۰۱z	۳۱۲j-m	۳۵۲h	۳۹۹y	۴۱۶e-z	۵۰۰i	S3×B1×F1
۳۰۱e-j	۳۰۵z	۳۷۳b-d	۳۸۵d-h	۴۲۲w-y	۴۴۹	۵۴۷a-d	S3×B2×F1
۳۱۸i-m	۳۴۴t-v	۳۴۵g-i	۲۷۴f-h	۴۴۰t-y	۴۸۰a-z	۵۰۶hi	S3×B3×F1
۳۳۳g-j	۳۶۱q-t	۴۳۱q-u	۴۸۲o-v	۴۹۹n-r	۴۶۱a-z	۶۲۲q-t	S3×B4×F1
۲۹۲n-p	۳۲۹w-z	۳۳۴i	۳۶۸gh	۴۱۷xy	۴۳۴de	۵۱۵g-i	S3×B1×F2
۳۱۲j-n	۳۳۵u-x	۴۰۷v-y	۴۳۹a-z	۴۶۱q-w	۵۷۵n-p	۵۸۴v-x	S3×B2×F2
۲۸۸op	۳۱۲yz	۳۳۸hi	۳۷۱	۴۱۱xy	۴۴۰c-e	۵۲۴f-h	S3×B3×F2
۳۴۹h-j	۴۱۵g-k	۴۷۵j-m	۵۰۰k-p	۴۵۰t-y	۵۰۲u-x	۶۵۰k-o	S3×B4×F2
۲۹۹m-p	۳۲۷w-z	۳۳۱i-n	۳۷۹e-h	۴۳۳u-y	۴۳۳d-x	۵۳۵c-g	S3×B1×F3
۳۰۳o-t	۳۱۸x-z	۳۸۱a-d	۴۶۵s-x	۴۴۵t-y	۴۶۹a-z	۶۰۳t-v	S3×B2×F3
۳۳۳g-j	۴۳۶g-k	۴۹۲g-j	۳۹۵c-h	۴۱۵xy	۴۴۵b-e	۵۶۶a-z	S3×B3×F3
۳۱۲j-n	۳۸۴n-p	۴۴۷o-r	۵۵۷e-h	۴۲۸v-y	۶۰۱k-n	۵۵۴a-z	S3×B4×F3
۲۸۴p	۳۴۲t-w	۳۵۰f-i	۴۰۵	۴۷۲p-w	۴۵۵a-b	۵۱۰hi	S3×B1×F4
۲۸۸op	۳۵۵a-z	۳۶۲d-g	۵۳۱g-m	۴۹۱n-t	۴۹۴v-y	۶۳۷n-r	S3×B2×F4
۳۴۲f-h	۳۸۹l-o	۴۵۲n-q	۵۰۵k-o	۵۶۱f-k	۵۴۷p-r	۶۷۳g-j	S3×B3×F4
۳۹۹c	۴۶۶c-d	۵۲۵b-e	۵۶۵b-h	۶۰۵c-f	۶۱۵i-l	۶۹۳b-g	S3×B4×F4
۲۱/۶۱	۲۱/۱۸	۲۱/۹۳	۴۳/۳۷	۵۲/۰۲	۲۹/۱۹	۲۲/۱۵	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانو اکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانو اکسید روی. میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

درصد معنی دار بود (جدول ۱۷). مقدار این شاخص در طی مراحل رشدی از روند نزولی برخوردار بود ولی میزان این

جدول ۱۷- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس متغیر برگ پرچم جو تحت تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰
تکرار	۲	۹۰۶۹۵/۸**	۹۷۷۳۰/۱**	۱۷۹۷۶۸**	۲۶۱۹۰۶**	۳۴۱۶۷۱**	۴۱۲۸۸۷/۱**	۵۲۹۸۱۱/۵**
تنش شوری (S)	۲	۱۱۳۵۷۹/۷**	۱۲۲۹۳۱/۶**	۹۱۸۸۵**	۱۰۴۸۷۳**	۲۹۰۹۵۳**	۳۹۳۰۳۱/۱۲**	۱۲۱۰۷۷/۷**
کودهای زیستی (B)	۳	۱۷۲۹۱۷/۵**	۱۷۷۳۸۰/۷۵**	۱۴۶۵۷۹**	۱۲۸۸۴۹**	۷۳۵۳۲**	۱۱۶۱۱۵/۱**	۱۲۱۹۵۲/۹**
محلولپاشی برگی (F)	۳	۲۷۵۹۳/۹**	۳۴۱۴۹/۷**	۳۲۳۹۴/۱**	۵۹۴۲۴/۹**	۳۶۸۰۲/۹**	۳۳۱۶۰/۶**	۴۴۳۹۲/۸**
S×B	۶	۳۱۳۶/۹۵**	۱۵۶۲/۶ ^{ns}	۳۰۶۷/۵**	۸۶۹۶/۸**	۲۱۳۵/۲ ^{ns}	۱۰۰۷۰/۵**	۱۱۳۶۹/۳**
S×F	۶	۳۰۴۳/۴**	۵۳۹۱/۳**	۶۱۹۸/۳**	۶۴۹۲/۲**	۱۷۱۲۸/۱**	۷۴۰۰/۳**	۳۰۵۴/۳**
B×F	۹	۴۸۲۱/۹**	۸۹۲۵/۹**	۷۷۳۲/۷**	۱۳۷۷۴/۵**	۶۳۵۱/۵**	۳۷۷۸/۸**	۶۲۱۳/۸**
S×B×F	۱۸	۴۸۲۱/۹**	۵۱۰۳/۲**	۵۶۴۳/۵**	۴۲۴۷/۸**	۳۲۷۲/۸**	۷۲۷۱/۵**	۳۳۶۸/۹۸**
خطا	۹۴	۳۵۹/۶	۱۱۷۰/۶	۳۱۲/۲	۸۱۷/۱	۱۱۰۶/۶	۹۲۷/۳	۵۳۳/۴
ضریب تغییرات		۹/۵	۱۵	۵/۸	۷/۷	۷/۹	۶/۷	۴/۹

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

جدول ۱۸- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانواکسید روی و پوترسین بر فلورسانس متغیر برگ پرچم جو تحت تنش شوری

مراحل نمونه برداری شاخص کلروفیل متغیر (روز پس از کاشت)								ترکیب تیماری
۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۲۰۱h-k	۲۷۲i-l	۲۷۳t-w	۳۶۰t-w	۳۹۱۱-n	۴۶۰q-t	۴۹۶r-t	S1×B1×F1	
۲۱۵f-i	۲۵۰l-o	۲۹۳o-s	۳۳۸t-z	۴۴۲i-l	۵۱۶j-n	۵۱۹p-r	S1×B2×F1	
۲۰۶g-k	۲۶۰k-m	۳۰۳n-q	۲۹۷a-z	۴۴۱i-k	۴۹۴m-p	۵۴۳n-p	S1×B3×F1	
۳۲۲c	۳۹۲ab	۴۳۴a-c	۴۸۶a-d	۵۵۵a-d	۶۲۲ab	۶۰۴d-h	S1×B4×F1	
۱۷۶l-o	۲۳۰o-t	۲۴۹v-z	۳۸۶l-s	۴۰۰k-n	۳۷۵a-z	۴۶۵u-w	S1×B1×F2	
۱۹۷i-l	۲۴۰m-p	۳۱۴l-p	۴۴۸ej	۴۶۶f-j	۴۸۱o-r	۵۷۸h-k	S1×B2×F2	
۱۹۳j-m	۲۵۸h-j	۳۴۸i-k	۲۸۵b-h	۴۵۱g-k	۵۳۴j-l	۴۸۲s-u	S1×B3×F2	
۲۵۶d	۳۲۷a-d	۴۰۹c-f	۴۵۷d-i	۵۶۴a-c	۵۹۶b-d	۶۲۴b-e	S1×B4×F2	
۱۵۲p-t	۱۵۶p-v	۲۵۴v-y	۳۱۲a-z	۵۳۳a-e	۵۶۲e-h	۵۴۳n-p	S1×B1×F3	
۱۷۳m-p	۲۹۹f-h	۳۶۷h-j	۳۷۷n-u	۵۱۲c-f	۵۹۴b-d	۵۵۴l-o	S1×B2×F3	
۱۷۹l-o	۲۷۲i-l	۳۳۳k-m	۴۳۶f-k	۴۹۸e-h	۵۴۶g-j	۵۹۹e-h	S1×B3×F3	
۳۱۴c	۳۷۰bc	۴۳۸ab	۵۱۱ab	۵۷۰ab	۶۱۲a-d	۶۴۰bc	S1×B4×F3	
۱۸۵k-n	۲۲۰n-s	۲۶۶s-w	۴۰۹j-o	۳۹۰l-o	۵۴۲h-k	۵۸۹g-j	S1×B1×F4	
۳۳۵c	۳۸۵ab	۴۲۷a-c	۴۸۰b-f	۴۷۳f-i	۶۱۶a-c	۶۰۶d-g	S1×B2×F4	
۳۵۰b	۳۵۴c	۳۸۴f-g	۵۰۶a-c	۴۹۷e-h	۵۷۶e-g	۶۲۹b-d	S1×B3×F4	
۳۹۹a	۴۰۹a	۴۵۳a	۵۳۱a	۵۷۸a	۶۳۴a	۶۷۵a	S1×B4×F4	
۱۵۸p-u	۱۷۶w-y	۲۶۱t-w	۳۳۲a-z	۴۲۰i-m	۴۱۷u-x	۴۳۰x-z	S2×B1×F1	
۱۴۸q-w	۲۱۵s-w	۲۴۴a-z	۳۰۴a-z	۳۸۶m-p	۳۵۷a-z	۴۴۶v-y	S2×B2×F1	
۱۴۹q-v	۱۴۹a-z	۲۲۳a-z	۴۰۳j-p	۴۴۱i-l	۴۳۵s-v	۵۱۵qr	S2×B3×F1	

۱۳۷u-z	۱۹۴t-v	۲۳۴a-z	۴۴۲e-j	۵۰۹d-f	۵۷۰e-g	۵۸۴i-l	S2×B4×F1
۱۶۳o-s	۱۴۸a-z	۲۷۵q-u	۳۵۵t-x	۳۵۷n-r	۳۹۹x-y	۴۲۱a-z	S2×B1×F2
۲۲۵e-g	۳۱۸ef	۳۸۹f-g	۳۲۶a-z	۳۹۲l-n	۴۰۶v-y	۴۷۰t-v	S2×B2×F2
۲۱۷f-i	۲۳۳i-l	۳۰۹m-p	۲۷۵d-i	۴۶۵f-j	۵۳۳j-l	۵۵۹j-n	S2×B3×F2
۱۶۶n-p	۳۲۹de	۴۰۱d-g	۳۸۰m-t	۴۴۷h-k	۵۸۱d-f	۵۹۹e-h	S2×B4×F2
۲۲۲e-h	۱۱۶b	۲۰۹b-d	۲۶۵e-i	۳۶۳n-q	۴۲۹t-w	۴۱۱a-z	S2×B1×F3
۱۴۴r-w	۲۰۵n-q	۲۸۸p-t	۴۱۷i-n	۴۴۱i-l	۴۸۳n-q	۵۳۲o-q	S2×B2×F3
۲۱۴f-j	۲۷۰i-l	۳۴۱j-l	۴۳۱h-l	۳۳۵p-u	۵۴۹f-j	۵۷۰j-m	S2×B3×F3
۳۲۳ef	۳۲۳b-e	۳۹۵e-h	۴۷۵b-g	۴۷۱f-j	۵۸۹c-e	۶۳۵bc	S2×B4×F3
۱۲۹v-z	۱۸۴u-w	۱۹۹e-f	۳۴۴t-y	۴۱۹j-m	۴۲۴u-w	۴۲۱a-z	S2×B1×F4
۲۰۲h-k	۲۹۰g-i	۳۵۱i-k	۲۹۱a-g	۵۱۸b-f	۴۴۸r-u	۵۵۵k-o	S2×B2×F4
۱۵۵p-u	۲۶۵j-l	۳۳۷k-m	۴۷۰b-h	۴۷۰f-j	۵۰۹k-o	۶۲۰b-e	S2×B3×F4
۲۱۱f-j	۳۴۷cd	۴۱۹b-d	۴۹۱a-d	۵۶۸ab	۶۱۵a-c	۶۴۳a	S2×B4×F4
۸۲a-z	۱۴۰b-z	۱۵۵g	۲۰۸j	۲۵۸w	۲۸۹f	۳۸۲c	S3×B1×F1
۱۲۶x-z	۱۴۴a-z	۲۲۹a-z	۲۵۶f-i	۲۸۹t-w	۳۳۰de	۴۴۰w-y	S3×B2×F1
۱۲۲yz	۱۸۷u-w	۱۹۶e-f	۲۴۲h-j	۳۱۰r-w	۳۶۵a-z	۳۹۹bc	S3×B3×F1
۱۸۸k-m	۲۰۴r-u	۲۹۹n-r	۳۶۹t-u	۳۸۱m-p	۳۴۲b-d	۵۲۰p-r	S3×B4×F1
۱۲۹v-z	۱۶۹w-y	۱۸۱e-g	۲۳۴ij	۲۸۳u-w	۳۱۴ef	۴۰۲a-c	S3×B1×F2
۱۵۱q-u	۱۷۷v-x	۲۷۱s-w	۳۱۸a-z	۳۳۷o-t	۴۶۶p-s	۴۸۶s-u	S3×B2×F2
۱۲۸x-z	۱۵۶a-z	۱۸۶ef	۲۳۸ij	۲۷۴vw	۳۱۲ef	۴۱۳a-z	S3×B3×F2
۱۷۹l-o	۲۵۶k-n	۳۵۳i-k	۳۹۰k-q	۳۲۴q-v	۳۹۰x-z	۵۶۴j-n	S3×B4×F2
۱۴۳s-y	۱۶۷w-z	۱۷۷fg	۲۴۹g-j	۳۰۲t-w	۳۱۰ef	۴۲۶a-z	S3×B1×F3
۱۲۸v-z	۱۵۸a-z	۲۳۹a-z	۳۴۴t-y	۳۱۶r-v	۳۵۲a-d	۵۰۶q-s	S3×B2×F3
۱۶۵n-r	۲۷۷h-k	۳۷۵h-g	۲۶۷d-i	۲۷۹vw	۳۲۶de	۴۶۵u-w	S3×B3×F3
۱۵۹p-t	۲۲۶i-m	۳۱۹l-o	۴۴۸e-j	۲۹۶t-w	۵۰۳l-o	۴۹۹v-x	S3×B4×F3
۱۴۲t-y	۱۸۳u-w	۲۰۲c-f	۲۸۶a-h	۳۵۰n-s	۳۳۷c-e	۳۹۶bc	S3×B1×F4
۱۲۰z	۲۰۰s-v	۲۱۶a-d	۴۲۵h-m	۳۷۱m-q	۳۸۱a-z	۵۴۸m-o	S3×B2×F4
۱۴۱t-z	۲۳۱j-o	۳۲۵k-n	۳۹۴k-q	۴۵۲g-k	۴۴۲s-u	۵۹۳f-i	S3×B3×F4
۲۴۳de	۳۱۱d-f	۴۲۳b-d	۴۶۲c-i	۵۰۴d-g	۵۲۱j-m	۶۱۶c-f	S3×B4×F4
۲۱/۲۳	۲۴/۳۳	۲۸/۶۴	۴۶/۳۴	۵۳/۹۲	۳۳/۲۸	۲۶/۳۳	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

کاهش در تیمار همزمان تعدیل کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، میکوریزا و محلول پاشی پوترسین و نانواکسید روی)، در

مقایسه با عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش، کمتر بود (جدول ۱۸). به‌طوری‌که در ۸۴ روز پس از کاشت در شوری ۸۰ میلی‌مولار، بیشترین (۲۴۳) و کم‌ترین (۸۲) فلورسانس متغیر برگ پرچم به‌ترتیب در کاربرد همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش و عدم کاربرد آن‌ها مشاهده شد، که این مقادیر نشان‌دهنده افزایش ۱/۹ برابری فلورسانس متغیر در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از تنش شوری است (جدول ۱۸).

تنش با تأثیر منفی که بر آسیمیلسیون کربن می‌گذارد، ظرفیت پذیرش و انتقال الکترون را کاهش داده، در نتیجه الکترون سیستم به سرعت به فلورسانس حداکثر می‌رسد که نتیجه آن، کاهش فلورسانس متغیر خواهد بود (Zhao *et al.*, 2007). فلورسانس متغیر نشانگر احیای کامل پذیرنده‌های الکترون (QA) است. بدین صورت که وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت احیای کامل باشند، فلورسانس زیاد است، بنابراین فلورسانس متغیر نیز زیاد است، اما وقتی پذیرنده‌های الکترون در حالت اکسید هستند، مقدار فلورسانس، حداقل بوده و فلورسانس متغیر نیز کاهش می‌یابد، به بیانی دیگر در شرایط تنش QA در حالت اکسید شدن است (Mehta *et al.*, 2010). در پژوهش حاضر میزان فلورسانس متغیر در تمامی سطوح تنش کاهش یافت که این کاهش می‌تواند به دلیل مهار الکترون و جلوگیری از انتقال آن از سمت دهنده فتوسیستم II به محل پذیرش الکترون توسط مولکول‌های کوئینون (QA و QC) و ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II باشد (Mehta *et al.*, 2010). نریمانی و همکاران (۱۴۰۲) اظهار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و همچنین محلول‌پاشی پوترسین در شرایط تنش، موجب بهبود وضعیت فلورسانس متغیر در گیاه تربیت‌کاله شد. در بررسی رئیسی ساداتی و همکاران (۱۳۹۹) نیز، با محلول‌پاشی برگی نانوآکسید روی در گندم، فلورسانس متغیر افزایش یافت.

فلورسانس حداقل برگ پرچم: تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی)، در سطوح مختلف

شوری بر فلورسانس حداقل برگ پرچم در تمامی مراحل نمونه‌برداری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۹). بررسی روند تغییرات فلورسانس حداقل در طول دوره رشدی نشان داد که این شاخص با گذشت زمان از روند افزایشی برخوردار بود (جدول ۲۰). به‌طوری‌که در ۸۴ روز پس از کاشت در بالاترین سطح شوری، کمترین میزان فلورسانس حداقل (۱۱۶)، در تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی) به‌دست آمد که از کاهش ۲۸/۲ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین سطح از شوری برخوردار بود (جدول ۲۰).

به‌نظر می‌رسد تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش، با تعدیل اثرات ناشی از تنش و سهولت دسترسی گیاه به آب و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۷)، موجب می‌شود تا شرایط فتوسنتزی بهتری ایجاد شده و مانع از افزایش بیش از حد فلورسانس حداقل شود که با یافته‌های نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) مبنی بر اینکه کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریز آربوسکولار با تعدیل اثرات ناشی از تنش، منجر به کاهش فلورسانس حداقل می‌شود هم‌خوانی دارد. محلوچی (۱۴۰۱) اظهار داشتند مصرف نانوآکسید روی در تنش شوری با تحریک سیستم فتوسنتزی، موجب افزایش فلورسانس حداکثر و کاهش فلورسانس حداقل شد. نتایج مشابهی نیز مبنی بر بهبود فلورسانس حداکثر و متغیر و کاهش فلورسانس حداقل در شرایط تنش با کاربرد پوترسین توسط دیگر محققان گزارش شده است (Islam *et al.*, 2022).

عملکرد دانه: کاربرد همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریز، پوترسین و نانوآکسید روی) در سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱۹). در بالاترین سطح شوری، بیشترین عملکرد دانه (۱/۷۶ گرم در بوته) در تیمار همزمان ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار و محلول‌پاشی پوترسین و نانوآکسید روی مشاهده شد که از افزایش ۳۴/۲ درصدی نسبت به عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش در همین

جدول ۱۹- تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداقل برگ پرچم و عملکرد جو تحت تنش شوری

عملکرد دانه	میانگین مربعات							درجه آزادی	منابع تغییر
	۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰		
۰/۴۸۸**	۴۲۱۵۱/۸**	۳۹۷۹۰/۶**	۳۱۵۷۳/۹**	۲۴۳۷۹/۷**	۲۴۷۸۴/۹**	۲۱۸۹۲/۸**	۱۶۰۸۴/۶**	۲	تکرار
۱/۲۳**	۲۴۷۳/۸**	۲۰۷۲/۷**	۲۰۳۴/۴**	۱۸۹۵/۳**	۶۴۷۰/۹**	۶۹۳۸/۲**	۳۳۴۵/۹**	۲	تنش شوری (S)
۰/۱۸۱**	۵۵۱۶/۵ ^{ns}	۵۷۸۷/۰۷**	۵۲۶۴/۳**	۲۷۷۵/۷**	۱۹۰۲/۷**	۲۰۸۲/۸**	۳۳۳۲/۵**	۳	کودهای زیستی (B)
۰/۱۷**	۱۳۶۹/۹**	۱۸۰۹/۳**	۱۵۹۳/۴**	۱۵۷۶/۸**	۱۵۳۲/۹**	۷۷۲/۳**	۱۴۹۸/۷**	۳	محلول پاشی برگ (F)
۰/۰۱۳*	۳۳۶/۵ ^{ns}	۲۳۰/۷ ^{ns}	۲۱۷/۷**	۱۹۷/۹۴**	۷۹/۱۴ ^{ns}	۲۲۶/۳**	۳۱۳/۷**	۶	S×B
۰/۰۲۳**	۱۹۸/۲ ^{ns}	۱۳۴/۷ ^{ns}	۱۵۰/۸ ^{ns}	۲۴۲/۴**	۲۳۷/۷**	۹۱/۵**	۶۳/۲*	۶	S×F
۰/۰۰۲ ^{ns}	۲۳۱/۵ ^{ns}	۵۶/۴ ^{ns}	۱۴۹/۷**	۲۱۲/۹**	۲۰۱/۹**	۴۴/۸ ^{ns}	۱۷۲/۶**	۹	B×F
۰/۰۲**	۹۹۱/۸*	۶۶۹/۳*	۲۶۹/۹**	۱۲۰/۴**	۸۰/۸**	۱۲۶/۹**	۹۰/۶**	۱۸	S×B×F
۰/۰۰۷	۱۲۷/۸	۱۷۰/۴	۵۴/۷	۵۴/۶	۳۶/۵	۳۱/۷	۲۳/۵	۹۴	خطا
۵/۲	۷/۹	۹/۶	۵/۶	۶/۵	۵/۸	۵/۳	۵/۵		ضریب تغییرات

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

جدول ۲۰- مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی و نانو اکسید روی و پوترسین بر فلورسانس حداقل برگ پرچم و عملکرد جو تحت تنش شوری

عملکرد دانه	مراحل نمونه برداری بر فلورسانس حداقل (روز پس از کاشت)							ترکیب تیماری
	۸۴	۸۰	۷۶	۷۲	۶۸	۶۴	۶۰	
۱/۷۱۷g-o	۱۵۱d-h	۱۳۷mn	۱۴۱e-m	۱۱۴p-r	۱۱۷l-o	۱۰۰k-q	۹۶i-l	S1×B1×F1
۱/۷۹۵c-j	۱۴۶ij	۱۴۴h-k	۱۳۳m-t	۱۱۷j-o	۱۱۲o-t	۹۵p-u	۹۵i-m	S1×B2×F1
۱/۸۲۶a-h	۱۴۸h-j	۱۴۳c	۱۳۱o-v	۱۲۲f-j	۱۱۲o-s	۹۸n-s	۸۵/۸q-t	S1×B3×F1
۱/۸۹۹a-e	۱۲۷g-i	۱۳۱o-q	۱۰۸e-g	۹۷b-e	۹۱f	۷۹a-z	۸۳q-v	S1×B4×F1
۱/۷۵۶e-l	۱۴۹h-j	۱۴۷jk	۱۴۰f-n	۱۱۱p-u	۱۱۵l-q	۱۰۹/۹g-l	۹۴i-m	S1×B1×F2
۱/۹a-d	۱۳۷lm	۱۴۰lm	۱۲۹p-w	۱۰۳a-z	۱۰۴x-z	۹۳/۹r-w	۸۴p-u	S1×B2×F2
۱/۹۵۴ab	۱۴۱kl	۱۲۵r-t	۱۲۳a-z	۱۲۴d-i	۱۰۸s-w	۹۳q-w	۹۹g-z	S1×B3×F2
۱/۹۵۱ab	۱۳۱f-h	۱۳۴n-p	۱۱۲c-f	۱۰۲a-z	۹۴c-f	۹۰s-x	۷۵x-z	S1×B4×F2
۱/۵۹۳n-s	۱۵۲c-g	۱۵۳hi	۱۳۹g-n	۱۲۱h-l	۹۷b-e	۸۷a-z	۹۱n-p	S1×B1×F3
۱/۹۱۵a-c	۱۴۳v-y	۱۳۰p-r	۱۱۹a-z	۱۱۹i-m	۱۰۲a-z	۸۸u-y	۸۷n-r	S1×B2×F3
۱/۸۷۵a-f	۱۳۵lm	۱۲۲t	۱۲۵s-x	۱۰۵t-z	۱۰۲a-z	۹۹n-s	۷۷u-y	S1×B3×F3
۱/۹۲۱a-c	۱۲۶mn	۱۴۵kl	۱۰۸e-g	۹۴de	۹۰f	۸۵a-z	۷۵x-y	S1×B4×F3
۱/۸۸۸a-e	۱۴۷h-k	۱۴۲b	۱۳۷k-q	۱۰۸r-x	۱۱۴m-r	۹۱r-w	۸۳q-w	S1×B1×F4
۱/۹۴۱ab	۱۳۲lm	۱۳۱o-q	۱۰۹d-g	۹۸a-d	۹۸a-d	۸۰a-z	۷۸t-w	S1×B2×F4
۱/۹۶۴a	۱۳۲lm	۱۴۷jk	۱۱۶a-z	۹۵de	۹۳e-f	۸۶a-z	۷۴x-z	S1×B3×F4
۱/۹۶۵a	۱۱۶n	۱۱۶u	۱۰۷fg	۹۱e	۸۹f	۷۷b	۶۹z	S1×B4×F4
۱/۵۱۸r-w	۱۵۲i-k	۱۴۶jk	۱۳۹k-p	۱۱۸i-m	۱۲۳h-j	۱۰۹g-l	۱۰۹/۵۳b-d	S2×B1×F1

۱/۵۷۲p-v	۱۶۲c	۱۵۱ji	۱۴۱e-m	۱۲۲f-j	۱۲۲g-j	۱۱۷d-h	۱۱۰/۴۶a-d	S2×B2×F1
۱/۵۹۹n-u	۱۴۹h-l	۱۵۳h-g	۱۴۵e-h	۱۰۸r-x	۱۱۶k-p	۱۰۶i-o	۹۶i-k	S2×B3×F1
۱/۶۶۴j-q	۱۳۶a-z	۱۴۷jk	۱۴۳e-k	۱۰۴a-z	۱۰۳a-z	۸۸a-z	۸۳q-u	S2×B4×F1
۱/۵۵۱p-w	۱۵۷c-g	۱۵۱c	۱۳۵k-s	۱۱۵l-q	۱۲۲g-j	۱۱۱d-i	۱۰۷/۳۳b-f	S2×B1×F2
۱/۵۹۳o-u	۱۶۲c	۱۲۸q-s	۱۱۵a-z	۱۳۰b-d	۱۱۷k-o	۱۱۰e-k	۱۰۲/۶۶d-i	S2×B2×F2
۱/۶۸۹h-p	۱۶۴e-i	۱۴۰lm	۱۳۰o-v	۱۲۶c-h	۱۰۷t-x	۸۹/۸t-u	۸۶o-s	S2×B3×F2
۱/۸۴۷a-g	۱۳۴c-f	۱۲۶q-t	۱۱۳c-f	۱۱۲n-t	۱۱۰p-t	۸۸u-z	۷۹s-w	S2×B4×F2
۱/۶۰۹l-u	۱۶۷bc	۱۶۰a	۱۴۷b-g	۱۲۸b-g	۱۲۱g-k	۱۰۷i-n	۱۰۸b-f	S2×B1×F3
۱/۶۷۶j-q	۱۴۴i-k	۱۴۶lm	۱۳۴m-q	۱۰۷r-x	۱۱۱p-u	۱۰۰l-r	۹۳j-o	S2×B2×F3
۱/۵۸۰v	۱۳۸a-z	۱۳۵m-p	۱۲۴s-y	۱۰۵t-z	۱۱۹h-m	۹۱r-x	۸۵q-t	S2×B3×F3
۱/۷۲۹j-n	۱۳۱f-h	۱۲۷q-t	۱۱۴b-f	۹۹a-z	۱۱۰p-t	۸۴a-z	۷۳x-z	S2×B4×F3
۱/۶۵۳k-s	۱۴۶h-k	۱۳۴n-p	۱۴۲e-k	۱۱۶k-p	۱۱۳n-r	۱۰۸h-m	۱۱۲a-c	S2×B1×F4
۱/۸۱۶c-i	۱۶۳bc	۱۳۱o-q	۱۲۹p-w	۱۲۳e-j	۹۹a-z	۱۰۴k-o	۸۸m-q	S2×B2×F4
۱/۷۲۹g-n	۱۳۹k-m	۱۳۶m-o	۱۲۳a-z	۱۰۰a-z	۱۰۶u-y	۹۷n-s	۷۶x-z	S2×B3×F4
۱/۹۰۶a-d	۱۲۹g-i	۱۲۴st	۱۱۲c-f	۹۶c-e	۹۲ef	۷۹ab	۶۹z	S2×B4×F4
۱/۳۱۵x	۲۰۰a	۱۶۱a	۱۵۷a	۱۴۳a	۱۴۱a	۱۲۷ab	۱۱۸a	S3×B1×F1
۱/۴۱۶wx	۱۷۵b-d	۱۶۱a	۱۴۴e-j	۱۲۹b-d	۱۳۳b-d	۱۱۹a-f	۱۰۷b-f	S3×B2×F1
۱/۴۳۹v-x	۱۹۶ab	۱۵۷e-h	۱۴۹a-e	۱۳۲bc	۱۳۰de	۱۱۵c-i	۱۰۶/۶b-g	S3×B3×F1
۱/۴۹۶u-w	۱۴۵h-k	۱۵۷e-h	۱۳۲m-t	۱۱۳m-s	۱۱۸k-n	۱۱۹a-d	۱۰۲/۴e-i	S3×B4×F1
۱/۵۳۹q-w	۱۶۳b-e	۱۷۰d-f	۱۵۳a-c	۱۳۴b	۱۳۴b-d	۱۲۰a-d	۱۱۳ab	S3×B1×F2
۱/۶۵۷j-r	۱۶۱c	۱۵۸e-h	۱۳۶k-q	۱۲۱h-l	۱۲۴f-h	۱۰۹g-k	۹۸h-k	S3×B2×F2
۱/۵۰۳s-w	۱۶۰ab	۱۵۶e-i	۱۵۲a-d	۱۳۳b	۱۳۷ab	۱۲۷a	۱۱۱a-c	S3×B3×F2
۱/۵۷۲p-v	۱۷۰w-z	۱۵۹d-g	۱۲۲a-z	۱۱۰p-u	۱۲۶e-g	۱۱۲d-h	۸۶o-s	S3×B4×F2
۱/۶۸۴i-p	۱۵۶c-g	۱۶۰d-f	۱۵۴ab	۱۲۹b-d	۱۳۱c-e	۱۲۳a-c	۱۰۹b-d	S3×B1×F3
۱/۴۹t-w	۱۷۵b-d	۱۶۰b-d	۱۴۲e-k	۱۲۱g-l	۱۲۹d-f	۱۱۷c-h	۹۷i-k	S3×B2×F3
۱/۶۴۱k-s	۱۶۸a-c	۱۵۹d-g	۱۱۷a-z	۱۲۸b-f	۱۳۶a-c	۱۱۸/۹a-f	۱۰۱f-i	S3×B3×F3
۱/۶۵۱k-r	۱۵۳c-f	۱۵۸e-h	۱۲۸p-w	۱۱۰p-u	۱۳۲b-d	۹۸n-s	۱۰۵c-h	S3×B4×F3
۱/۴۴۶v-x	۱۶۹de	۱۵۹d-g	۱۴۹a-f	۱۱۸i-m	۱۲۲g-j	۱۱۸b-g	۱۱۴ab	S3×B1×F4
۱/۵۸۸o-u	۱۶۸de	۱۵۵f-i	۱۴۶b-g	۱۰۶t-y	۱۲۰h-k	۱۱۳d-j	۸۹l-q	S3×B2×F4
۱/۶۲l-t	۱۹۹a	۱۵۸e-h	۱۲۸s-x	۱۱۱p-u	۱۰۹r-v	۱۰۵j-o	۸۰-x	S3×B3×F4
۱/۷۶۵e-k	۱۵۶d-f	۱۵۵f-i	۱۰۲g	۱۰۳a-z	۱۰۱a-z	۹۴q-u	۷۷u-y	S3×B4×F4
۰/۱۴	۹/۶۱	۵/۵	۸/۷۴	۶/۵۱	۵/۸	۹/۱۳	۱/۸۷	LSD

S₁, S₂ و S₃ به ترتیب عدم اعمال شوری، شوری ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار. B₁, B₂, B₃ و B₄ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و میکوریزا. F₁, F₂, F₃ و F₄ به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانواکسید روی، محلول‌پاشی توأم پوترسین و نانواکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

(نظری و همکاران، ۱۴۰۰) و پوترسین (محسنی محمدجانلو و همکاران، ۱۴۰۲) با تعدیل اثرات ناشی از شوری، به دلیل افزایش قابلیت دسترسی به مواد غذایی و بهبود برخی شاخص‌های فیزیولوژیک، منجر به افزایش عملکرد دانه شد.

نتیجه‌گیری

تیمار همزمان تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، قارچ میکوریز آربوسکولار، روی و پوترسین) در سطوح مختلف شوری با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب برگ در طول دوره رشد، عملکرد دانه جو را در شرایط تنش شوری افزایش داد، به طوری که بیشترین عملکرد دانه (۱/۷۶ گرم در بوته) در شوری ۸۰ میلی‌مولار، با تیمار همزمان ورمی‌کمپوست، میکوریز و محلول پاشی نانو اکسید روی و پوترسین مشاهده شد که از افزایش ۳۴/۲ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد تعدیل‌کننده‌ها در همین سطح از سطوح شوری برخوردار بود. بر اساس نتایج این بررسی می‌توان اظهار داشت که کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش قادر بودند با بهبود اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیک، از کاهش بیشتر عملکرد دانه جو تحت شرایط شوری جلوگیری کنند.

تشکر و قدردانی

مقاله مستخرج از بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است. 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.

سطح از سطوح شوری برخوردار بود (جدول ۲۰). بخشی از افزایش عملکرد دانه با کاربرد تعدیل‌کننده‌های تنش می‌تواند ناشی از تأثیر این عوامل بر افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای (جدول ۱۲ و ۹)، شاخص سبزیگی برگ و عملکرد کوانتومی (جدول ۴ و ۱۴) باشد. در این راستا نریمانی و همکاران (۱۴۰۳) نیز افزایش عملکرد دانه در شرایط شوری با مصرف همزمان قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست را، به افزایش محتوای نسبی آب، عملکرد کوانتومی، شاخص سبزیگی برگ و کاهش هدایت الکتریکی برگ پرچم بوته‌های تربیتکاله نسبت دادند. محلوجی (۱۴۰۱) نیز افزایش عملکرد دانه جو در شرایط شوری با کاربرد عنصر روی را به نقش این ماده در بهبود عملکرد کوانتومی و اجزای فلورسانس کلروفیل نسبت دادند. رئیسی ساداتی و همکاران (۱۳۹۹) نیز اظهار داشتند کاربرد نانو اکسید روی به دلیل نقش مؤثر در عملکرد کوانتومی، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. بخشی از بهبود عملکرد دانه در کاربرد پوترسین در شرایط شوری را می‌توان به اثر این ماده در کاهش اثرات ناشی از تنش اکسیداتیو نسبت داد که با کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۸) و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۱۲) همراه بود. از طرفی افزایش محتوای نسبی آب در چنین شرایطی با ایجاد شرایط بهینه برای گیاه، ضمن افزایش هدایت روزنه‌ای (جدول ۱۰) منجر به افزایش عملکرد کوانتومی (جدول ۱۴) و فرایند فتوسنتزی شده و مجموع این عوامل می‌تواند از دلایل اصلی افزایش عملکرد دانه تحت چنین شرایطی باشد. در این راستا Elhakem (۲۰۲۰) بیان کردند که شوری با کاهش شاخص سبزیگی برگ، هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب، به کاهش سرعت فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت منجر به کاهش عملکرد گندم شد. در این زمینه برخی پژوهشگران اظهار داشتند که در شرایط شوری کاربرد کودهای زیستی مانند قارچ میکوریز آربوسکولار و ورمی‌کمپوست

منابع

آقایی، احمد، شهابی‌وند، صالح، اطهای، معصومه، و نصیری، یوسف (۱۴۰۱). تأثیر محلول پاشی روی و نانوذره روی بر رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی و ترکیبات اسانس ریحان سبز. *پژوهش‌های گیاهی*، ۳۵(۲)، ۲۳۱-۲۱۸.

- حسینی چالستری، اسما، و قدرتی، لیلا (۱۳۹۵). نقش قارچ میکوریزا آربوسکولار در کنترل بیولوژیک بیماری‌های گیاهی. دومین همایش بین‌المللی و پنجمین همایش ملی گیاهان دارویی و کشاورزی پایدار. <https://civilica.com/doc/958892>
- رئیزی ساداتی، یلدا، جهانبخش گده کهریز، سودابه، عبادی، علی، و صدقی، محمد (۱۳۹۹). اثر محلول‌پاشی نانوآکسید روی بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت تنش خشکی. *فیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۲(۴۶)، ۴۵-۶۴. <http://dori.net/dor/20.1001.1.2008403.1399.12.46.3.5>
- زند، بهنام، سروش‌زاده، علی، فئاتی، فائزه، و مرادی، فواد (۱۳۸۹). اثر محلول‌پاشی روی (Zn) و اکسین (IBA) بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ذرت دانه‌ای. *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۳، ۳۵-۴۸. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20088264.1389.2.3.5.6>
- شرفی‌زاده، مهران، جزائری، محمدرضا، نیکخواه حمیدرضا، و روستایی، مظفر (۱۳۹۹). خصوصیات زراعی و مورفولوژیکی ارقام جو. *وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده ثبت و گواهی بذر*، ۹۱-۹۸.
- صوآذر، خدیجه، و سیدشریفی، رئوف (۱۴۰۲). تأثیر ورمی‌کمپوست و متانول بر روند تغییرات اجزای فلورسانس کلروفیل و برخی صفات فیزیولوژیکی تربیتکاله تحت تأثیر تنش شوری. *زیست‌شناسی گیاهی ایران*، ۱۴(۴)، ۳۹-۷۰. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2023.138576.1332>
- محسنی محمدجانلو، علیرضا، سیدشریفی، رئوف، و علی‌پور، سعید (۱۴۰۲). تأثیر پوترسین و کودهای زیستی بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم تحت تنش شوری. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۲، ۲۴۱-۲۲۱. <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.79107.1202>
- محلوجی، مهرداد (۱۴۰۱). تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی روی بر پر شدن دانه و برخی صفات فیزیولوژیک سه رقم جو. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۱(۴۸)، ۲۱۱-۲۷۷. <http://dori.net/dor/20.1001.1.23222727.1401.11.48.14.5>
- محمدزاده، زهرا، سیدشریفی، رئوف، فرزانه، سلیم، و نریمانی، حامد (۱۴۰۲). تأثیر نانو ذرات (روی و سیلیکون) و آزوسپریلیوم بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی تربیتکاله (*Triticosecale wittmak L.*) تحت تنش شوری. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۶(۲)، ۱۰۴-۲۲۷. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2023.20673.2539>
- محمودسلطانی، شهرام، اله‌قلی‌پور، مهرزاد، شکوری کتیگری، مریم، پیکان، مریم، شعبان‌زاده، حمید، عطار، افشین، طبالوندی، علی اصغر، و کشتکار، فاطمه (۱۳۹۹). بررسی تأثیر کاربرد همزمان مصرف خاکی و محلول‌پاشی کود فسفات روی بر عملکرد، مقدار پروتئین دانه و محتوای روی در اندام‌های گیاه برنج در مراحل مختلف رشد. *پژوهش‌های خاک*، ۳۴(۳)، ۳۲۸-۳۰۹. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2020.342790.529>
- معینی‌راد، اکرم، زینلی، ابراهیم، گالشی، سراله، سلطانی، افشین، و یگانه‌پور، فرهود (۱۴۰۰). بررسی حساسیت فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزی‌نگی، میزان کلروفیل (a, b)، غلظت نیتروژن و شاخص تغذیه نیتروژن گیاه تحت تغذیه نیتروژنی و فسفوری در گندم. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴(۱)، ۱۸-۱. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.12259.1947>
- نریمانی، حامد، سیدشریفی، رئوف، و صدقی، محمد (۱۴۰۳). تأثیر میکوریزا، ورمی‌کمپوست و پوترسین بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی تربیتکاله (*Triticosecale wittmack*) تحت تنش شوری. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۱۳(۵۹)، ۹۳-۶۱. <http://dx.doi.org/DOI:%2010.22034/13.59.61>
- نظری، ژیلا، سیدشریفی، رئوف، و نریمانی، حامد (۱۴۰۰). اثر مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و نانوسیلیکون بر صفات زراعی و فیزیولوژیکی تربیتکاله تحت شدت‌های مختلف تنش خشکی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۴(۴)، ۲۱-۴۵. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413>
- نوروزیان، فاطمه، انصاری، محمدحسین، امین‌پناه، هاشم، و فیروزی، سعید (۱۳۹۹). تأثیر میکوریزا و سودوموناس بر صفات

- فیزیولوژیکی و عملکرد برنج در شرایط تنش شوری خاک. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۱۴(۵۴)، ۶۳-۸۱.
<https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413>
- Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, K., Woo, S. H., Sonawane, K. D., & Shohael, A. M. (2019). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Journal of Open Agriculture*, 4(1), 361-373. <http://dx.doi.org/10.1515/opag-2019-0033>
- Alloway, B. J. (2008). Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd Ed. IZA and IFA, Brussels, Belgium and Paris, France.
- Azari, A., Modares Sanavi, S. A. M., Askari, H., Ghanati, F., Naji, A. M., & Alizade, B. (2012). Effect of salinity stress on morphological and physiological of canola and turnip (*Brassica napus* and *B. rapa*). *Journal of Crop Science*, 14, 2. 121-135. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1508-7>
- Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, Y., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., & Meddich, A. (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. <https://doi.org/10.3390/plants11030393>
- Beyk-Khormizi, A., Sarafraz-Ardakani, M. R., Hosseini Sarghein, S., Moshtaghion, S. M., Mousavi-Kouhi, S. M., & Taghavizadeh Yazdi, S. E. (2023). Effect of organic fertilizer on the growth and physiological parameters of a traditional medicinal plant under salinity stress conditions. *Horticulture*, 9(6), 701-721. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060701>
- Cramer, G. R., Lauchli, A., & Epstein, E. (1986). Effects of NaCl and CaCl₂ on ion activities in complex nutrient solutions and root growth in cotton. *Plant Physiology*, 81, 792-797.
- Elhakem, A. H. (2020). Growth, water relations, and photosynthetic activity are associated with evaluating salinity stress tolerance of wheat cultivars. *Hindawi, International Journal of Agronomy*, 2020, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/8882486>
- Farooqi, Z. U. R., Qadir, A. A., Khalid, S., Murtaza, G., Ashraf, M. N., Rahman, S. U., Javed, W., Waqas, M. A., & Xu, M. (2024). Greenhouse gas emissions, carbon stocks and wheat productivity following biochar, compost and vermicompost amendments: Comparison of non-saline and salt-affected soils. *Scientific Repots*, 14, 7752. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56381-y>
- Hosseini Farahi, M., & Aboutalebi Jahroomi, A. (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.
- Islam, M. J., Uddin, M. J., Hossain, M. A., Henry, R., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., Mou, M. A., Ahn, J., Cheong, E.J., & Lim, Y. S. (2022). Exogenous putrescine attenuates the negative impact of drought stress by modulating physiobiochemical traits and gene expression in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *PLoS ONE*, 17, 0262099. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262099>
- Jalili, I., Ebadi, A., Askari, M. A., Kalatejari, S., & Aazami, M. A. (2023). Foliar application of putrescine, salicylic acid, and ascorbic acid mitigates frost stress damage in *Vitis vinifera* cv. 'Giziluzum'. *Journal of BMC Plant Biology*, 23(135), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04126-w>
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44(1), 116-124.
- Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Journal of Plant and Soil*, 330(1-2), 65-71. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0176-x>
- Kusano, T., & Suzuki, H. (2015). Polyamines. Springer.
- Liu, M., Wang, C., Wang, F., & Xie, Y. (2019). Maize (*Zea mays*) growth and nutrient uptake following integrated improvement of vermicompost and humic acid fertilizer on coastal saline soil. *Journal of Applied Soil Ecology*, 14(62), 142-154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.024>
- Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S., & Bharti, S. (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. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.006>
- Mohammadi, M., Nezamdoost, D., Khosravi Far, F., Zulfiga, F., Eghlima, G., & Aghamir, F. (2024). Exogenous putrescine application imparts salt stress-induced oxidative stress tolerance via regulating antioxidant activity, potassium uptake, and abscisic acid to gibberellin ratio in Zinnia flowers. *Journal of BMC Plant Biology*, 24, 865. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05560-0>
- Mohammadi-Cheraghbad, M., Modarres-Sanavy, A. A. M., Sefidkon, F., Mokhtassi-Bidgoli, A., & Hazrati, S. (2022). Effects of water-deficit stress and putrescine on performances, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll

- fluorescence parameters of *Salvia officinalis* in two cutting times. *Journal of Crop Food Science and Nutrition*, 10(5), 1431-1441. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2741>
- Neocleous, D., & Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on redraspberry (*Rubus idaeus* L."AutumnBliss"). *Journal of Horticulture*, 112, 282-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.025>
- Pollastri, S., Savvides, A., Pesando, M., Lumini, E., Volpe, M. G., Ozudogru, E. A., Faccio, A., De Cunzo, F., Michelozzi, M., Lambardi, M., & Fotopoulos, V. (2018). Impact of two arbuscular mycorrhizal fungi on *Arundo donax* L. response to salt stress. *Journal of Planta*, 247(3), 573-585. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2808-3>
- Rezvanypour, S., Hatamzadeh, A., Elahinia, S. A., & Asghari, H. R. (2015). Polyamines and calcium sulfate on vegetative characteristics and mineral nutrient uptake in *Rosa* polyamines improve mycorrhizal development and growth and flowering of *Freesia hybrida*. *Journal of Reseach Horticultural Science*, 23(2), 17-25. <http://dx.doi.org/10.2478/johr-2015-0013>
- Rubinowska, K., Pogroszewska, E., & Michalek, W. (2012). The effect of polyamines on physiological parameters of post- harvest quality of cut stems of *Rosa* 'Red Berlin'. *Journal of Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 11, 81-93.
- Scharf, P. C., Brouder, S. M., & Hoefl, R. G. (2006). Chlorophyll meter reading can predict nitrogen need and yield response of corn in the north-central USA. *Journal of Agronomy*, 98, 655-665.
- Wu, Q. S., Zou, Y. N., Liu, M., & Cheng, K. (2012). Effects of exogenous putrescine on mycorrhiza, root system architecture, and physiological traits of *Glomus mosseae* -colonized Trifoliate orange seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40, 80-85.
- Zhang, G. W., Xu, S. C., Hu, Q. Z., Mao, W. H., & Gong, Y. M. (2014). Putrescine plays a positive role in salt-tolerance mechanisms by reducing oxidative damage in roots of vegetable soybean. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(2), 349-357. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60405-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60405-0)
- Zhao, G., Ma, B., & Ren, C. (2007). Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Journal of Crop Scienc*, 47(1), 123-131. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.371>
- Zlatev, Z. (2010). Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. *Journal of Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 23(4), 438-441. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818458>

Effects of bio fertilizers and foliar application with nano zinc oxide and putrescine on chlorophyll fluorescence components and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress

Sara Mohammadi Kale Sarlou¹, Raouf Seyed Sharifi^{2*}, Mohammad Sedghi²

Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

(Received: 2024/07/22, Accepted: 2024/11/03)

Abstract

In order to evaluate the effects of stress modulators (vermicompost, arbuscular mycorrhiza fungi and foliar application of putrescine and nano zinc oxide) on fluorescence chlorophyll components and some physiological traits of barley under salinity stress conditions, an experimental factorial was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research greenhouse, faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabil in 2022. The experimental treatments were included salinity in three levels (no salinity as control, salinity of 40 and 80 mM) by NaCl, bio fertilizers in four levels (no application as control, application of vermicompost 50 g/kg of soil, arbuscular mycorrhiza fungi 20 g/m² of soil, both application of vermicompost and mycorrhiza), foliar application of putrescine and nano zinc oxide in four levels (foliar application with water as control, foliar application 0.4 g.L⁻¹ nano zinc oxide, 0.8 mM putrescine, foliar application of nano zinc oxide and putrescine). The results showed that in stages of flag leaf emergence and heading under the highest salinity level, simultaneous treatment of stress modulators (vermicompost, arbuscular mycorrhizal fungi, putrescine and zinc oxide) increased chlorophyll index (34.8 and 29.5% respectively), nitrogen index (28 and 21.6% respectively), stomatal conductivity (58.94 and 77.9% respectively), relative water content (45.4 and 46.1% respectively), quantum yield (16.3 and 110% respectively), maximum fluorescence (38.6 and 41.48% respectively), variable fluorescence (61.2 and 196.3% respectively) in comparison with no application of stress modulators at the same level from salinity levels. Also, at the highest salinity level, simultaneous treatment of stress modulators increased 34.2% grain yield in comparison with no application of stress modulators at the same level from salinity levels. Based on the results of this study, simultaneous treatment of stress modifiers (vermicompost, arbuscular mycorrhizal fungi, and foliar spraying of putrescine and nano zinc oxide) was able to compensate a part of the reduction of barley yield under salinity conditions due to improving fluorescence chlorophyll components and some physiological traits such as chlorophyll indices, quantum yield and stomatal conductivity.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Chlorophyll index, Relative water content, Stomatal conductivity, Vermicompost