

The effects of some Stress Modulators on Antioxidant Enzymes Activity, Compatible Osmolytes and some Physiological Traits of barley under Water Limitation Conditions

Sara Mohammadi Kale Sarlou^{1*}, Raouf Seyed Sharifi², Mohammad Sedghi²

Received: October 16, 2023

Accepted: January 19, 2025

1- PhD. Student, Crop Physiology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2-Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Corresponding Author: Email mohammadiisara1@gmail.com

Abstract

Background & Objectives: Water limitation is one of the most important adverse environmental stresses that limit plant growth and development. Drought stress induces generation of reactive oxygen species which affect almost every aspect of physiology and biochemistry of a plant, resulting in a reduction in its yield. Application of some stress modulators (vermicompost, mycorrhiza and foliar spraying of putresin and nano zinc oxide) increases growth, yield and the resistance of plants against various environmental stresses such as water limitation. The aims of this study was to investigate the effects of some stress modulators on compatible osmolytes and some physiological traits of barley under water limitation conditions.

Materials and Methods: experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabil during 2022. The experimental factors were included irrigation [(full irrigation as control; irrigation withholding at 50% of heading and booting stages as moderate and severe water limitation (equal BBCH 55 and 43, respectively)], application of biofertilizer, organic and organic fertilizer in four levels (no application of fertilizers as control, application of vermicompost, *Mycorrhiza*, both application vermicompost and *Mycorrhiza*), foliar application of putrescine and nano zinc oxide in four levels (foliar application with water as a control, foliar application of 0.4 g.L⁻¹ of nano Zn oxide, foliar application 0.8 mM of putrescine, both foliar application of nano Zn oxide and putrescine). *Mycorrhiza* fungi (*mosseae*) was purchased from the Zist Fanavar Turan corporation and soils were treated based on the manufacturer's protocol 10 g per 1 kg soil. Vermicompost was purchased from the Gilda corporation and soils were treated based on the manufacturer's protocol 50 g per 1 kg soil. Nano zinc oxide was with the average of particle size less than 30 nm and special surface of particle more than 30 m² g⁻¹. The barley cultivar "Nobahar" was used in the experiment with plant density of 400 seeds m⁻².

Results: The showed that under irrigation withholding condition at booting stage, application of stress modulators (vermicompost, mycorrhizal, zinc and putrescine) increased the content of chlorophyll a (23.07%), chlorophyll b (29.43%), total chlorophyll (24.91%), carotenoid (23.13%), protein (46.89%), weight and volume root (8.23 and 5.27% respectively), catalase, peroxidase and polyphenol oxidase (17.02, 26.91 and 14.61% respectively), proline and soluble sugars (17.6 and 15.77% respectively) and grain yield (25.18%) compared to the no application of stress modulators in the same irrigation level.

Conclusion: It seems that application of stress modulators (vermicompost, mycorrhizal, zinc and putrescine) can increase grain yield of barley due to improvement of chlorophyll content, antioxidant enzymes activity, compatible osmolytes and some physiological traits, it can increase the yield of barley grain in conditions of severe water limitation (irrigation interruption during the pregnancy stage) by 25.18% compared to the non-application of these stress modifiers at the same level of irrigation.

Keywords: Chlorophyll Content, Foliar Application, Mycorrhiza, Putrescine, Vermicompost.



This is an open-access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

Copyright© 2025 Sara Mohammadi Kale Sarlou Email mohammadiisara1@gmail.com

<https://doi.org/10.22034/saps.2024.58864.3132>



تأثیر برخی تعدیل کننده‌های تنش بر فعالیت‌های آنزیم اکسیدانی، اسمولیت‌های سازگار و برخی صفات فیزیولوژیک جو در شرایط محدودیت آبی

سارا محمدی کله سرلو^{۱*}، رئوف سید شریفی^۲، محمد صدقی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

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

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

*مسئول مکاتبه: Email: mohammadiisara@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: محدودیت آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی نامطلوب است که رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در شرایط خشکی، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن بر تمام جنبه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمی گیاه اثر گذاشته و در نتیجه عملکرد کاهش می‌یابد. استفاده از تعدیل کننده‌های تنش شامل ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی، موجب افزایش رشد، عملکرد و مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های مختلف محیطی از جمله محدودیت آبی می‌شوند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر برخی تعدیل کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی) بر اسمولیت‌های سازگار و برخی صفات فیزیولوژیکی جو در شرایط محدودیت آبی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل آبیاری (آبیاری کامل به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل سنبله‌دهی و آبستنی (چکمه‌ای شدن) به ترتیب به- عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی معادل کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به عنوان شاهد، کاربرد ورمی‌کمپوست، میکوریزا، کاربرد توام ورمی‌کمپوست و میکوریزا)، محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی، ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی توام روی و پوترسین) بودند. قارچ میکوریزا گونه موسه‌آ از شرکت زیست فناوریان توران تهیه و بر اساس دستورالعمل ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک تیمار شدند. ورمی‌کمپوست از شرکت گیلدا تهیه و براساس دستورالعمل ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک استفاده گردید. نانواکسید روی با میانگین اندازه ذرات کمتر از ۳۰ نانومتر و سطح ویژه ذرات بیش از ۳۰ مترمربع در هر گرم بود. در این آزمایش از جو رقم نوبهار با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام تعدیل کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) محتوای کلروفیل a (۲۳/۰۷ درصد)، کلروفیل b (۲۹/۴۳ درصد)، کلروفیل کل (۲۴/۹۱ درصد)، کاروتنوئید (۲۳/۱۳ درصد)، پروتئین (۴۶/۸۹ درصد)، وزن و حجم ریشه (به ترتیب ۸/۲۳ و ۵/۲۷ درصد)، فعالیت آنزیم‌های

کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز (به ترتیب ۱۷/۰۲، ۲۶/۹۱ و ۱۴/۶۱ درصد)، محتوای پرولین و قندهای محلول (به ترتیب ۱۷/۶ و ۱۵/۷۷ درصد)، و عملکرد دانه (۲۵/۱۸ درصد) را نسبت به عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش تحت همین سطح از آبیاری، افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد که کاربرد تعدیل کننده‌های تنش (ورمی‌کمپوست، میکوریزا و محلول‌پاشی پوترسین و نانو اکسید روی) بواسطه بهبود محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار و برخی صفات فیزیولوژیکی، می‌تواند عملکرد دانه جو در شرایط محدودیت شدید آبی (قطع آبیاری در مرحله آبستنی) را ۲۵/۱۸ درصد نسبت به عدم کاربرد این تعدیل کننده‌های تنش در همین سطح از آبیاری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پوترسین، محتوای کلروفیل، محلول‌پاشی برگ، میکوریزا، ورمی‌کمپوست

مقدمه

خشکی یکی از علل اساسی کاهش عملکرد جو به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب شده (سیساری و همکاران ۲۰۰۴) که با تغییر خصوصیات فیزیولوژیکی، اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه داشته و میزان صدمات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ناشی از تنش رطوبتی به عواملی مانند مدت زمان بروز تنش، مقاومت ژنتیکی و مرحله رشد فنولوژیکی بستگی دارد (گانگ و همکاران ۲۰۱۳).

امروزه به دلیل محدودیت سطح زیرکشت و کمبود منابع آبی، مصرف کودهای شیمیایی معمولاً به عنوان یکی از راهکارهای اساسی در افزایش تولید در واحد سطح بوده ولی با توجه به کارایی پایین کودهای شیمیایی و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بالای آن‌ها، ضروری است که استفاده از کودهای آلی و زیستی توسعه پیدا کند. استفاده از کودهای آلی و زیستی مجموعه مکملی از جوامع میکروبی همراه و همزیست هستند که با بهبود رشد گیاه و کاهش هزینه‌های تولید، میزان آلاینده‌گی محیط را کاهش می‌دهند (رضوی و همکاران ۲۰۱۷). ورمی‌کمپوست از جمله کودهای آلی است که با افزایش تخلخل و ذخیره رطوبت خاک، افزایش جذب عناصر غذایی و تحریک میکروارگانیسم‌های مفید در ریزوسفر خاک، از منابع اساسی تغذیه گیاهان در نظام‌های زراعی پایدار محسوب می‌شود (علی و همکاران ۲۰۱۵). مام نبی و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط خشکی، با کاهش محتوای مالون دی‌آلدهید، موجب بهبود پایداری غشا،

محتوای کلروفیل، فسفر و نیتروژن برگ، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گردید.

یکی دیگر از راهکارهای مناسب در تعدیل اثر سوء ناشی از محدودیت آبی، کاربرد قارچ میکوریزا می‌باشد (خیری زاده آروق و همکاران ۲۰۱۶). همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاه میزبان ضمن بهبود وضعیت تغذیه‌ای، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، موجب افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زنده و غیرزنده از جمله تنش خشکی می‌شود (رئوز-لوزانو و همکاران ۲۰۱۱). این قارچ‌ها به دلیل داشتن توانایی همزیستی با ریشه گیاهان، جذب آب و مواد مغذی (به ویژه عناصر کم تحرکی مانند فسفر) را افزایش داده و با کاهش اثرات ناشی از شوری، خشکی و سمیت فلزات سنگین، موجب افزایش رشد گیاه می‌شوند (سایا و همکاران ۲۰۱۲). بهبود وضعیت ریشه در تیمارهای میکوریزایی گیاه تریتیکاله را، به افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد نسبت دادند (نظری و همکاران ۲۰۲۱).

روی عنصری است که به صورت کاتیون دوفرفیتی Zn^{2+} بوده و در pH بالا احتمالاً به صورت کاتیون یک ظرفیتی جذب گیاه شده و برای رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی، سنتز پروتئین و هورمون گیاهی اکسین اهمیت دارد. کمبود آن پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (آلوی ۲۰۰۴). امکان جذب روی از ریشه کمتر و کاربرد آن به صورت نانوکود با محلول‌پاشی

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل سطوح آبیاری (آبیاری کامل در طول دوره رشد گیاه به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل سنبله‌دهی و آبستنی (چکمه‌ای شدن) به ترتیب به-عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی معادل کد ۵۵ و ۴۳ (BBCH)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد، کاربرد ورمی-کمپوست، میکوریزا، کاربرد توام ورمی کمپوست و میکوریزا)، محلول‌پاشی پوترسین و نانواکسید روی در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول-پاشی ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی، ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین، محلول‌پاشی توام ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین) بودند. از جو دو ردیفه بهاره رقم نوبهار استفاده شد. این رقم با وزن هزار دانه ۵۱ گرم و میانگین ارتفاع بوته ۹۰ سانتی‌متر، دارای سنبله تقریباً بلند و مخروطی شکل، مقاوم به شکنندگی، ورس و بیماری‌های زنگ زرد، تنش‌های محیطی از جمله سرما، شوری و خشکی است. بذر آن از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آلاروق اردبیل تهیه شد و با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت گردید (شرعی‌زاده و همکاران ۲۰۲۰). ۵۰ بذر در گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر کشت گردید. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام گردید. قارچ میکوریزا موسسه^۱ تهیه شده از شرکت زیست فناوریان توران به مقدار ۱۰ گرم در هر کیلوگرم خاک بر اساس توصیه شرکت مذکور استفاده گردید. ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش از شرکت گیلدا خریداری و به میزان ۵۰ گرم در هر کیلوگرم خاک استفاده گردید. مشخصات فیزیکوشیمیایی ورمی-کمپوست در جدول ۱ آورده شده است.

برگی ضمن توزیع یکنواخت، با مقدار کم و جذب سریع در گیاه، منجر به افزایش کارایی مصرف دیگر عناصر غذایی می‌شود (ساداتی و همکاران ۲۰۱۳). در این راستا بابایی و همکاران (۲۰۱۷) اظهار داشتند که محلول‌پاشی برگ‌ری روی، موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و در نهایت عملکرد دانه گندم گردید.

امروزه، ثابت شده است که پلی‌آمین‌ها در افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی و جلوگیری از سنتز اتیلن در گیاهان می‌تواند به عنوان یک منبع نیتروژنی، با افزایش برخی پارامترهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی، موجب افزایش رشد گیاه شوند (اسماعیل‌خان زندی و دانائی ۲۰۱۴). آستیر و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند محلول‌پاشی پوترسین از طریق بهبود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی (آنزیمی و غیرآنزیمی) و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و محافظت از غشاء سلولی، موجب افزایش وزن ریشه و اندام هوایی و در نهایت عملکرد دانه گندم گردید. گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی، از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای پرولین، و کاهش محتوای مالون دی‌آلدهید برگ، موجب بهبود محتوای کلروفیل و شرایط فتوسنتزی گیاه گندم گردید.

با توجه به کاهش نزولات جوی در منطقه مورد بررسی و مواجه شدن دوران رشد زایشی همچون مرحله آبستنی و سنبله‌دهی گیاه جو با محدودیت آبی، و از طرفی اهمیت تعدیل‌کننده‌های تنش همانند ورمی-کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین در کاهش بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی، موجب شد تا این عوامل بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، اسمولیت‌های سازگار و برخی صفات فیزیولوژیک گیاه جو در شرایط قطع آبیاری در مراحل رشد زایشی مورد بررسی قرار گیرد.

¹ Glomus moseae

جدول ۱- نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست شرکت گلیدا

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

داده‌های حاصل از آن‌ها، به‌عنوان ارزش صفت عملکرد تک بوته در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده گردید. تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کلروفیل و کارتنوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توأم تعدیل‌کننده‌های تنش شامل (ورمی‌کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش به ترتیب موجب افزایش به ترتیب ۲۳/۰۷، ۲۹/۴۳، ۲۹/۴۳ و ۲۴/۹۱ درصدی محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید نسبت به عدم کاربرد آن‌ها گردید (جدول ۳).

در طول تنش خشکی، برخی گیاهان میزان کلروفیل خود را حفظ کرده و در برخی دیگر، مقدار آن کاهش می‌یابد این روند کاهشی احتمالاً به‌علت از بین رفتن آنزیم‌های فتوسنتزی از جمله آنزیم گلوتمات لیگاز و همچنین القای تجزیه شدن یا مهار آن‌ها در شرایط تنش می‌باشد (دالا و همکاران ۲۰۱۲). از دلایل دیگر کاهش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط خشکی می‌توان به تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با اکسیژن و اختلالات هورمونی نسبت داد (نقوی و همکاران ۲۰۱۵). بخشی از افزایش محتوای کلروفیل و کارتنوئید در

در طول دوره رشد کنترل علف‌های هرز به روش دستی انجام شد. شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰±۵ درصد و طول دوره روشنائی ۱۵-۱۴ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) بود.

دو هفته بعد از قطع آخرین مرحله اعمال تنش (قطع آبیاری در مرحله خوشه‌دهی)، نسبت به اندازه گیری صفات مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اقدام گردید. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل برگ پرچم از روش آرنون (۱۹۴۹) استفاده شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز) با روش سوده‌کار و همکاران (۲۰۰۱)، محتوای قندهای محلول به روش دابویس و همکاران (۱۹۵۶)، اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین با روش وانگ و همکاران (۱۹۷۹)، محتوای مالون‌دی‌آلدهید از روش استوارت و بولی (۱۹۸۰)، محتوای پراکسید هیدروژن با روش الکسیو و همکاران (۲۰۰۱)، محتوای پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) و برای اندازه‌گیری درصد پروتئین برگ پرچم از روش برادفورد (۱۹۷۶) استفاده شد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، خارج سازی ریشه‌ها از گلدان‌ها انجام شد. ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با تراوزی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه‌ها با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی، تعداد هشت بوته به ظاهر مشابه که قبلاً در هر گلدان مشخص شده بود، برداشت و میانگین

شرایط کاربرد ورمی کمپوست و میکوریزا را می‌توان به افزایش محتوای برخی اسمولیت‌های سازگار، فعالیت

آنزیم‌های آنتی اکسیدان و کاهش محتوای مالون دی‌آلدهید (جدول ۵) نسبت داد. وجود مقادیر بالایی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر موجود در ورمی کمپوست مورد استفاده در این آزمایش (جدول ۱) و همچنین نقش میکوریزا در افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۳) می‌تواند از دیگر دلایل استفاده از این تعدیل کننده‌های تنش در افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی باشد. در بررسی موسوی دهموری (۲۰۱۸) کاربرد ورمی کمپوست از طریق افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و تامین عناصر غذایی مانند نیتروژن، موجب افزایش محتوای کلروفیل و کارتنوئید گردید. قارچ‌های میکوریزا نیز به دلیل بهبود دسترسی به آب و جذب بهتر عناصر به‌ویژه نیتروژن و فسفر و نیز افزایش فعالیت احیاکننده نترات ردوکتاز و سنتز پروتئینی می‌توانند موجب بهبود محتوای کلروفیل و فتوسنتز گیاهان گردند (گری و همکاران ۲۰۰۴). نتایج مشابهی نیز مبنی بر تاثیر افزایش اسمولیت‌های آلی در بهبود سنتز کلروفیل با کاربرد میکوریزا، توسط دیگر محققان گزارش شده است (نظری و همکاران ۲۰۲۱). عبد البار و همکاران (۲۰۲۲) نیز یکی از دلایل اصلی کاهش محتوای کلروفیل در شرایط خشکی را، به کاهش جذب عناصر غذایی جهت

رشد و ساخت بیومولکول‌های حیاتی گیاه نسبت دادند. به نظر می‌رسد بخشی از بهبود محتوای کلروفیل در ورمی کمپوست را می‌توان به وجود مقادیر بالایی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر موجود در آن نسبت داد (جدول ۱). زیرا مصرف کودهای زیستی می‌تواند با افزایش جذب عناصر غذایی و نیتروژن، موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و افزایش محتوای کلروفیل گردد (نظری و همکاران ۲۰۲۱). دادخواه و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند در شرایط تنش رطوبتی، با تولید گونه‌های فعال اکسیژنی، کلروفیل‌ها در کلروپلاست تجزیه و ساختارهای تیلاکوئید آسیب دیده ولی محلول‌پاشی روی، در شرایط تنش به ثبات پروتئین و کلروفیل کل کمک می‌کند. محلول‌پاشی پوترسین نیز با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و کاهش گونه‌های فعال اکسیژن، موجب افزایش محتوای کلروفیل کل می‌گردد (عبدالبار و همکاران ۲۰۲۲). در تمامی سطوح آبیاری، کاربرد پوترسین نسبت به عدم کاربرد آن، منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی شد (جدول ۵). نتایج مشابهی نیز توسط محسنی محمدجانلو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تاثیر محلول‌پاشی پوترسین بر بهبود محتوای کلروفیل برگ گندم گزارش شده که محلول‌پاشی پوترسین در شرایط قطع آبیاری با افزایش میزان کارتنوئید، اسمولیت‌های آلی مانند پرولین و قند-های محلول، موجب بهبود محتوای کلروفیل شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس تاثیر کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی پوترسین و روی بر محتوای کلروفیل، پروتئین، وزن و حجم ریشه و عملکرد دانه جو در سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پروتئین	وزن ریشه	حجم ریشه	عملکرد
تکرار	۲	۴۹/۵۱۵**	۳۰۳/۸۴۴**	۵۹۸/۵۷**	۱۰/۶۱۵**	۴۵/۱۵۷**	۰/۰۵۵۲**	۱۰/۵۶۷**	۰/۵۰۴**
محدودیت آبی (I)	۲	۳۰۶/۲۸۷**	۸۰/۰۳۳**	۶۹۹/۳۴۲**	۱۲/۰۵۹**	۶۲/۲۹۵**	۰/۰۷۱۵**	۱۹/۷۴**	۱/۱۹**
کودهای زیستی (B)	۳	۵۰/۳۴**	۱۲/۶۷۶**	۱۱۳/۳۷۷**	۱/۹۵۲**	۵۱/۳۰۷**	۰/۰۳**	۱۵/۷**	۰/۱۶۳**
محلول‌پاشی برگ (F)	۳	۶۷/۸۴۶**	۱۸/۳۱۱**	۱۵۶/۲۵۹**	۲/۴۵۰**	۱۱/۲۲۸**	۰/۰۱۷۴**	۵/۷۰۲**	۰/۱۶۴**
I×B	۶	۷/۳۳۱**	۱/۲۴۲ ^{ns}	۱۴/۳۲۵**	۰/۶۰۶**	۰/۹۰۳*	۰/۰۰۱۶**	۰/۷۱۲ ^{ns}	۰/۰۱۸*
I×F	۶	۹/۹۴۱**	۲/۱۱۳*	۲۰/۲۴۸**	۰/۵۱۸**	۰/۴۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۵**	۰/۶۷ ^{ns}	۰/۰۱۸*
B×F	۹	۴/۹۰۸*	۱/۱۲۷ ^{ns}	۹/۹۸۲*	۰/۳۴۹*	۰/۶۵۱*	۰/۰۰۱۵**	۱/۱۹۸*	۰/۰۰۲ ^{ns}
I×B×F	۱۸	۱۰/۹۱۷**	۲/۱۶۶**	۲۱/۸۸۲**	۰/۷۹۴**	۰/۵۳۱*	۰/۰۰۲۲**	۱/۰۵۵*	۰/۰۱۸**
خطا	۹۴	۲/۱۱۲	۰/۷۲۲	۴/۷۶۵	۰/۱۵۳	۰/۳	۰/۰۰۰۵	۰/۵۵۲	۰/۰۰۷۲
ضریب تغییرات (%)		۴/۸۵	۶/۵۸	۵/۰۹	۱۰/۵۴	۴/۹۷	۳/۸۹	۷/۷۶	۴/۸۳

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

جدول ۳. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی پوترسین و روی بر محتوای کلروفیل، پروتئین، و وزن و حجم ریشه و عملکرد دانه جو در سطوح مختلف آبیاری

ترکیب تیماری	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	پروتئین برگ پرچم (%)	وزن ریشه (g)	حجم ریشه (cm ³)	عملکرد تک بوته (g)
I ₁ ×B ₁ ×F ₁	۲/۹۹۱j-o	۱/۳۱۵g-o	۴/۳۰۷i-o	۰/۳۴۶k-o	۱۰/۳۸۶j-n	۰/۵۸۱k-p	۱/۶۸۴f-l	h- ۱/۷۷۲o
I ₁ ×B ₂ ×F ₁	۳/۰۵۸g-l	۱/۳۳۷f-m	۴/۳۹۵f-m	۰/۳۷۳g-l	۱۱/۷۹۶f-i	۰/۵۸۳j-o	۲/۳۶۲d-i	۱/۸۵۵d-j
I ₁ ×B ₃ ×F ₁	۲/۷۲p-v	۱/۱۴۸s-x	۳/۹p-w	۰/۲۹۸n-p	۱۱/۵۱۴j-g	۰/۵۵۲o-v	۲/۸۰۹a-f	b- ۱/۸۸۳h
I ₁ ×B ₄ ×F ₁	۳/۳۷۹a-c	۱/۴۵۶b-f	۴/۸۳۶a-c	۰/۴۷۶ab	۱۲/۹۲۵b-d	۰/۵۱۳w-z	۲/۶۵۷a-f	a- ۱/۹۵۴e
I ₁ ×B ₁ ×F ₂	۳/۳۰۲c-e	۱/۳۹۳b-g	۴/۹۶۹c-g	۰/۴۴۵a-f	j- ۱۰/۶۶۸m	۰/۵۶۸l-r	۱/۹۶۸e-k	۱/۸۱۱f-l
I ₁ ×B ₂ ×F ₂	۲/۸۲۹o-t	۱/۲۰۵n-t	۴/۰۲۶n-u	۰/۳۳۳j-p	۱۲/۰۷۸e-g	۰/۵۱w-z	۲/۴۹۴b-h	a- ۱/۹۸۶d
I ₁ ×B ₃ ×F ₂	۳/۳۲۲a-d	۱/۳۹۹c-g	۴/۷۲۲c-g	۰/۴۵۱a-c	۱۲/۰۷۸e-h	۰/۵۵۷o-t	۱/۲۹۸j-m	۲/۰۰۹ab
I ₁ ×B ₄ ×F ₂	۴/۴۸۱ab	۱/۵۹۴a	۵/۰۷۶ab	۰/۴۶۳a-c	۱۳/۷۷۱ab	۰/۵۰۲yz	۳/۳۱۶a-d	a- ۲/۰۰۶c
I ₁ ×B ₁ ×F ₃	۳/۱۱۴d-j	۱/۳۴۷f-m	۴/۴۶۱f-k	۰/۳۹d-j	۱۰/۹۵i-l	۰/۵۵۵o-s	۱/۶۶۳f-m	n- ۱/۶۴۹w
I ₁ ×B ₂ ×F ₃	۳/۴۲۴a-c	۱/۵۰۵a-d	۴/۹۳a-c	۰/۴۷۶ab	۱۲/۳۶۱d-g	۰/۵۳۲s-z	۳/۱۲۶a-c	۱/۹۷a-d
I ₁ ×B ₃ ×F ₃	۳/۳۷۷a-c	۱/۴۳۹a-e	۴/۸۷۱a-c	۰/۴۶۴a-c	۱۲/۶۴۳c-f	۰/۵۲۳t-z	۲/۰۹۶a-e	۱/۹۳a-g
I ₁ ×B ₄ ×F ₃	۳/۴۶۱a-c	۱/۵۲۱ab	۴/۹۸۳a-c	۰/۴۷ab	۱۳/۴۸۹a-c	۰/۵z	۲/۰۹۷a-e	a- ۱/۹۷۶d
I ₁ ×B ₁ ×F ₄	۳/۳۷۹a-c	c- ۱/۳۵۹m	۴/۵۹۶e-j	۰/۴۰۵c-i	۱۰/۹۵i-l	۰/۵۴۶p-w	۲/۲۴۷d-j	۱/۹۴۳a-f
I ₁ ×B ₂ ×F ₄	۳/۴۸۱ab	۱/۴۹۹a-d	۴/۸۹۹a-e	۰/۴۷ab	۱۳/۴۸۹a-c	۰/۵۰۶x-z	۳/۵۳۳ab	a- ۱/۹۹۶c
I ₁ ×B ₃ ×F ₄	۳/۶۴۱a-c	۱/۵۱۲a-c	۴/۹۶a-d	۰/۴۸۲ab	۱۳/۲۰۷a-d	۰/۵۱۶v-z	۳/۴a-d	۲/۰۲ab
I ₁ ×B ₄ ×F ₄	۳/۵۴۲a	۱/۶۰۹a	۵/۱۵۱a	۰/۴۸۷a	۱۴/۰۵۳a	۰/۶۸۳a	۳/۸۰۷a	۲/۰۲۴a
I ₂ ×B ₁ ×F ₁	۲/۶۴۵s-x	۱/۰۸۷u-y	۳/۷۳۲t-z	۰/۳۱۹l-p	۹/۲۵۸o-r	۰/۶۴۶b-c	۲/۳۳۳h-g	۱/۵۷۱s-z
I ₂ ×B ₂ ×F ₁	۲/۶۷۸s-v	۱/۱۱۶t-y	۳/۷۹۴s-y	۰/۳۱۳l-p	۹/۸۲۲m-o	۰/۶۲۲d-i	۱/۱۲۲j-m	p- ۱/۶۲۷x
I ₂ ×B ₃ ×F ₁	۲/۷۶o-u	۱/۲۲۷m-t	۳/۹۸۸o-v	۰/۲۹۸n-p	۹/۲۵۸o-r	۰/۶۳۲c-g	۰/۷۹۹k-m	n- ۱/۶۵۴w
I ₂ ×B ₄ ×F ₁	۲/۸۷۹j-s	۱/۲۶۶h-s	۴/۱۴۶k-s	۰/۳۲۴k-p	۱۲/۳۶۱d-g	۰/۶۰۲f-k	۳/۶۶۱ab	۱/۷۱۹j-r
I ₂ ×B ₁ ×F ₂	۲/۷۸۲o-r	۱/۲۳۴l-t	۴/۰۱۷n-u	۰/۳۰۲m-p	۹/۲۵۸o-r	۰/۶۳۸b-f	۰/۸۱۲k-m	q- ۱/۶۰۶y
I ₂ ×B ₂ ×F ₂	۳/۲۸۹b-f	۱/۳۸۳b-j	۴/۶۷۳c-h	۰/۴۴۱a-f	j- ۱۰/۶۶۸m	۰/۶۱۹d-j	۱/۹۶۸e-k	n- ۱/۶۴۸w
I ₂ ×B ₃ ×F ₂	۳/۰۸۲f-k	۱/۳۴۲f-n	۴/۴۲۵f-l	۰/۳۸۳g-l	۱۰/۱۰۴l-o	۰/۶۳۳c-f	۱/۴۰۴g-m	۱/۷۴۴i-p
I ₂ ×B ₄ ×F ₂	۳/۰۲h-m	۱/۳۲۱f-o	۴/۳۴۱h-o	۰/۳۵۲i-o	۱۱/۵۹g-i	۰/۵۴۱q-x	۰/۹۵۶k-m	a- ۱/۹۰۲h
I ₂ ×B ₁ ×F ₃	۲/۸۲۹l-t	۱/۲۵۴j-t	۴/۰۸۳l-t	۰/۳۱۱l-p	۹/۵۴n-q	۰/۶۳۱c-g	۰/۸۴k-m	m- ۱/۶۶۴v
I ₂ ×B ₂ ×F ₃	۳/۰۱۸i-m	۱/۳۱۱g-o	۴/۳۲۹h-o	۰/۳۶j-m	۱۱/۲۳۲h-k	۰/۵۸۹i-o	۲/۵۲۱b-g	۱/۷۳۱j-r
I ₂ ×B ₃ ×F ₃	۳/۰۴g-m	۱/۳۲۹f-o	۴/۳۶۹g-n	۰/۳۶۱h-l	۱۰/۳۸۶k-n	۰/۵۵۹o-s	۱/۶۸۶f-l	o- ۱/۶۳۵w
I ₂ ×B ₄ ×F ₃	۳/۲۷۵b-g	۱/۳۶۹e-l	۴/۶۴۲d-j	۰/۴۲۱b-h	۱۲/۹۲۵b-e	۰/۵۲۹s-z	۳/۷۴a	h- ۱/۷۸۴n
I ₂ ×B ₁ ×F ₄	۲/۸۵۸l-s	۱/۲۶i-s	۴/۱۱۸k-s	۰/۳۱۹l-p	۹/۵۴n-q	۰/۶۱۱f-k	۰/۸۴k-m	۱/۶۹k-t
I ₂ ×B ₂ ×F ₄	۲/۹۳۳j-q	۱/۲۸۸g-q	۴/۲۲۲k-p	۰/۳۳۶j-p	۱۱/۷۹۶f-i	۰/۵۷۴l-q	۲/۸۲۲a-f	۱/۸۷۱c-i
I ₂ ×B ₃ ×F ₄	۳/۲۷۵b-g	۱/۳۷۷c-k	۴/۶۵۲c-i	۰/۴۲۱a-g	۱۱/۵۱۴g-j	۰/۵۳۸r-x	۲/۴۷۹b-c	g- ۱/۷۹۷m

۱/۹۶a-c	۲/۴۷۳b-h	۰/۵۲u-z	۱۳/۲۰۷a-d	۰/۴۶۶a-c	۴/۷۴۸b-f	۱/۴۰۶e-f	۳/۳۴۲a-d	$I_2 \times B_4 \times F_4$
۱/۴۵۷z	۰/۴۶۵m	۰/۴۹۸z	۸/۴۱۲r	۰/۲۸۱p	۳/۴۲۴z	۱/۰۰۹y	۲/۴۱۴x	$I_3 \times B_1 \times F_1$
۱/۴۸۷yz	۰/۶۹۷m	۰/۵۶۸l-q	۹/۱۱۸p-r	۰/۳۲۲k-p	۳/۸۹۲p-x	۱/۱۴۸q-s	۲/۷۴۳o-u	$I_3 \times B_3 \times F_1$
۱/۴۹۴yz	۰/۸۴k-m	۰/۶۷۲ab	۹/۵۴n-q	۰/۳۸۵e-j	۴/۱۴۵k-s	۱/۱۹۸o-v	۲/۹۴۷j-q	$I_3 \times B_3 \times F_1$
v-	۱/۱۲۲j-m	۰/۶۴۳b-e	۹/۸۲۲m-p	۰/۳۱۹l-p	۳/۸۶۴q-x	۱/۱۴r-y	۲/۷۴۳p-v	$I_3 \times B_4 \times F_1$
۱/۵۲۹z								
۱/۵۹۴r-z	۰/۸۳۳k-m	۰/۵۸k-p	۸/۶۹۴qr	۰/۲۹op	۳/۵۰۸yz	۱/۰۳xy	۲/۴۷۷wx	$I_3 \times B_1 \times F_2$
۱/۷۱۲k-r	۱/۲۴۵i-l	۰/۶۲۷e-h	۹/۷۴۸n-p	۰/۴۴۷a-f	۴/۳۳۲h-o	۱/۲۵۵j-r	۳/۰۷۷e-k	$I_3 \times B_2 \times F_2$
۱/۵۵۸t-z	۱/۴۰۴g-m	۰/۵۹۲h-n	۱۰/۱۰۷l-o	۰/۳۱l-p	۳/۶۵۷v-z	۱/۰۶v-y	۲/۵۹۴t-v	$I_3 \times B_3 \times F_2$
p-	۲/۴۳۳d-i	۰/۵۶۵o-s	۱۲/۳۶۱d-g	۰/۳۰۸m-p	۴/۰۵m-u	۱/۲۴۱l-s	۲/۸۰۹m-u	$I_3 \times B_4 \times F_2$
۱/۶۱۷y								
۱/۷۴i-q	۰/۸۱۷k-m	۰/۶۶۷a-c	۸/۶۹۴qr	۰/۲۹۴op	۳/۵۴۱x-z	۱/۰۴xy	۲/۵۰۱v-x	$I_3 \times B_1 \times F_3$
u-	۱/۴۰۳g-m	۰/۵۵۹o-s	۱۰/۱۰۴l-o	۰/۳۶۲h-n	۴/۴۱۱f-l	۱/۳۴۳f-m	۳/۰۶۷e-k	$I_3 \times B_2 \times F_3$
۱/۵۴۵z								
k-	۱/۱۲۲j-m	۰/۶۱۶d-k	۹/۸۲۲m-p	۰/۳۰۶m-p	۳/۶۱۳w-z	w-	۲/۵۵۷u-x	$I_3 \times B_3 \times F_3$
۱/۶۹۶s						۱/۰۵۵y		
k-	۲/۸۱۴a-f	۰/۵۶۲o-r	۱۱/۵۱۴j-g	۰/۳۲۸j-p	۴/۱۷۸k-r	۱/۲۷۸h-r	۲/۹۰۲j-n	$I_3 \times B_4 \times F_3$
۱/۷۰۶s								
w-	۰/۷۱۲lm	۰/۶۵۱a-d	۸/۹۷۷p-r	۰/۳۱۳l-p	۳/۶۹۶u-z	۱/۰۸u-y	۳/۶۱۶t-x	$I_3 \times B_1 \times F_4$
۱/۵۲۳z								
o-	۱/۴۰۴g-m	۰/۵۸۵j-o	۴/۱۰۴l-o	۰/۳۱۵l-p	۳/۸۲۹r-x	۱/۱۳s-y	۲/۶۹۸s-w	$I_3 \times B_2 \times F_4$
۱/۶۴۳w								
۱/۶۷۵l-u	۲/۵۳۲b-g	۰/۵۹۷g-l	۱۱/۲۳۲h-k	۰/۳۳j-o	۴/۱۸۷k-q	۱/۲۷۸g-q	۲/۹۰۸j-r	$I_3 \times B_3 \times F_4$
c-	۲/۹۲a-c	۰/۵۳۹q-y	۱۲/۳۵۷d-g	۰/۳۴۶i-o	۴/۲۷۷j-o	۱/۳۰۶g-p	۲/۹۷۷j-o	$I_3 \times B_4 \times F_4$
۱/۸۲۴k								
۰/۱۳۷	۱/۲۰۵	۰/۳۶۵	۰/۸۸۹	۰/۰۶۳	۰/۳۵۳	۰/۱۳۷	۰/۲۳۶	LSD

I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری در مرحله آبستنی. B_1 ، B_2 و B_3 به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا، و کاربرد توام ورمی کمپوست و میکوریزا. F_1 ، F_2 ، F_3 و F_4 به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانو اکسید روی، محلول پاشی توام پوترسین و نانو اکسید روی. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

و اجزای سلولی شود که در گیاهان میکوریزایی سیستم دفاع آنتی اکسیدانی تحت شرایط تنش تقویت شده و این امر می‌تواند گیاه را از اثر مخرب گونه‌های فعال اکسیژن محافظت کند (خیری‌زاده آروق و همکاران ۲۰۱۶). نتایج مشابهی نیز توسط نظری و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، کاتالاز و پلی‌فنل-اکسیداز در گیاهان تریتیکاله میکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی تحت تنش گزارش شده است. موسوی دهموردی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که تحت شرایط تنش، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، مانند پراکسید هیدروژن منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه آسیب به غشاء می‌شود و کاربرد ورمی کمپوست از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و افزایش محتوای پرولین و کمک به جذب آب، موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش می‌گردد. ورمی کمپوست از طریق بهبود وضعیت گروه‌های عاملی مختلف نظیر

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل اکسیداز): تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش توام تعدیل‌کننده‌های تنش در سطوح آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز در کاربرد توام ورمی کمپوست و میکوریزا و محلول‌پاشی ۰/۸ میلی‌مولار پوترسین تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی مشاهده شد، که از افزایش به ترتیب ۱۷/۰۲، ۲۶/۹۱ و ۱۴/۶۱ درصدی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵).

زمانی که گیاه در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد تولید گونه‌های فعال اکسیژن به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند موجب آسیب سلول‌ها

آلکیل، کربوکسیلیک و کربونیل موجب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی شده، در نتیجه مقدار رادیکال-های آزاد (محتوای پراکسید هیدروژن) را کنترل می‌کند (آدمی‌پور و همکاران ۲۰۱۶). به نظر می‌رسد محلول-پاشی نانو کود روی با بهبود مقدار اسمولیت‌های آلی نظیر پرولین و قندهای محلول (جدول ۵)، به افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، پلی فنل اکسیداز) کمک می‌کند (بابایی و همکاران ۲۰۱۷). حسن‌پور و رنجبر (۲۰۱۸) گزارش کردند که کاربرد پوترسین با بهبود وضعیت جذبی عناصر غذایی و متابولیسم گیاه، موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی و کاهش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه شاهی گردید.

محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم: معنی‌دار
شدن برهم‌کنش توام تعدیل کننده‌های تنش در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای پراکسید هیدروژن در سطح احتمال یک درصد (جدول ۴) و مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام تعدیل کننده‌های تنش موجب بهبود ۷۶/۱۹ درصدی محتوای پراکسید هیدروژن برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد این تعدیل کننده‌های تنش شد (جدول ۵). بخشی از کاهش فعالیت پراکسید هیدروژن در کاربرد تعدیل کننده‌های تنش می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول (جدول ۵) مرتبط باشد. در این راستا شیرانی بیدآبادی و همکاران (۲۰۱۷) بیان کردند که کاربرد کودهای زیستی از جمله ورمی کمپوست در شرایط تنش‌های محیطی با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، موجب کاهش محتوای پراکسید هیدروژن می‌گردد. در بررسی دیگری محمدی کله‌سرلو و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند در تربیتکاله تحت تنش‌های غیرزیستی، تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسید هیدروژن افزایش یافت و کاربرد ورمی کمپوست به عنوان تعدیل کننده تنش، با کمک به جذب آب و کاهش اثرات ناشی از تنش آبی، ضمن کاهش محتوای پراکسید هیدروژن منجر به بهبود شرایط رشدی و عملکردی

تربیتکاله گردید. بخشی از کاهش محتوای پراکسید هیدروژن می‌تواند ناشی از افزایش وزن و حجم ریشه گیاهان برخوردار از میکوریزا و ورمی کمپوست در مقایسه با گیاهان شاهد باشد، چرا که به عنوان کود زیستی مفید می‌تواند در حذف گونه‌های فعال اکسیژن موثر واقع شود و حذف گونه‌های فعال اکسیژن موجب کاهش پراکسید هیدروژن (جدول ۵) تحت شرایط تنش و بهبود وضعیت گیاهان می‌گردد (نظری و همکاران ۲۰۲۱). محلول پاشی نانو اکسید روی، یک سیستم دفاعی سلولی در برابر گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. به نحوی که در شرایط کمبود عنصر روی، افزایش پراکسید هیدروژن موجب اختلال در عملکرد غشاهای سلولی و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و سوپراکسید می‌شود (مورای ۱۹۸۹). برخی از پژوهشگران اظهار داشتند که محلول پاشی پوترسین از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی سبب افزایش کارایی فتوسنتز II و کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (از جمله پراکسید هیدروژن) می‌گردد (حسن پور و همکاران ۲۰۱۸). آستیر و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند محلول پاشی پوترسین با تعدیل شرایط تنش، موجب پایین آمدن محتوای پراکسید هیدروژن و محافظت از غشاء سلولی گندم گردید.

محتوای مالون دی آلدیید برگ پرچم: بر اساس نتایج
تجزیه واریانس برهم‌کنش توام تعدیل کننده‌های تنش شامل (ورمی کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای مالون دی آلدیید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی کاربرد توام تعدیل کننده‌های تنش موجب کاهش ۵۶/۳۸ درصدی محتوای مالون دی آلدیید نسبت به عدم کاربرد تعدیل کننده‌های تنش در این سطح از آبیاری گردید (جدول ۵). نریمانی و سیدشریفی (۲۰۱۸) گزارش کردند که افزایش تنش‌های محیطی موجب افزایش محتوای مالون دی آلدیید برگ گندم شد ولی کاربرد کودهای زیستی توانست بخشی از اثرات تنش را با کاهش محتوای مالون دی آلدیید تعدیل کند. محمدی کله سرلو و همکاران (۲۰۲۲) نیز علت کاهش

محتوای مالون دی آلدیید تریتیکاله با کاربرد ورمی-کمپوست در شرایط تنش را به افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول نسبت دادند. در این بررسی نیز در همان سطوح از کاربرد تعدیل کننده‌های تنش که بیشترین محتوای پرولین و قندهای محلول مشاهده گردید، محتوای مالون-دی آلدیید از حداقل مقدار برخوردار بود (جدول ۵). بخش دیگری از کاهش محتوای مالون دی آلدیید را می‌توان به فراهمی عناصر غذایی (جدول ۱) و میکوریز در افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۵) نسبت داد. نظری و همکاران (۲۰۲۱) نیز اظهار داشتند که کاربرد توام تعدیل کننده‌ها (ورمی-کمپوست و میکوریزا) با افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز موجب کاهش مقدار مالون-دی آلدیید برگ تریتیکاله گردید. مصرف نانو کود روی، با تاثیر مثبتی که بر بهبود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز دارد (جدول ۵) موجب کاهش محتوای مالون دی آلدیید در گیاه گندم گردید (نریمانی و سیدشریفی ۲۰۱۸). گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کاربرد پوترسین در شرایط محدودیت آبی از طریق افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و کاهش نسبی محتوای مالون دی آلدیید برگ، موجب بهبود شرایط فتوسنتزی و عملکردی گندم گردید.

محتوای پرولین و قندهای محلول (اسمولیت‌های

سازگار) برگ پرچم: بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها برهم کنش توام تعدیل کننده‌های تنش شامل (ورمی-کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). کاربرد این تعدیل کننده‌های تنش موجب افزایش ۱۷/۶ درصدی محتوای پرولین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد آنها در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی گردید (جدول ۵). برهم کنش توام تعدیل کننده‌های تنش (ورمی کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای قندهای محلول برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار (جدول ۴) و در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام تعدیل کننده‌های تنش موجب افزایش ۱۵/۷۷

درصدی محتوای قندهای محلول نسبت به عدم کاربرد این تعدیل کننده‌های تنش گردید (جدول ۵). تجمع قندهای محلول در زمان تنش می‌تواند به علت تخریب قندهای غیرمحلول، توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی باشد (شابالا و همکاران ۲۰۱۷). به نظر می‌رسد گیاهان در شرایط تنش با افزایش متابولیسم قندها و تجمع قندهای محلول، ذخایر کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول، در حد مطلوب نگه می‌دارند (صالحی و همکاران ۲۰۱۱). بخشی از افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول به واسطه کاربرد ورمی-کمپوست می‌تواند ناشی از فراهمی عناصر ضروری برای گیاه (جدول ۱) باشد که ضمن رشد و افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۳)، تسریع واکنش‌های متابولیسمی، منجر به افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌ها از جمله قندهای محلول می‌گردد (صالحی و همکاران ۲۰۱۱). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) علت افزایش تجمع پرولین در کاربرد ورمی-کمپوست در شرایط محدودیت آبی را، به افزایش اسید آمینه‌های ضروری به‌ویژه گلوتامات و آرژنین که از پیش‌سازهای تولید پرولین می‌باشد نسبت دادند. یواس و امک (۲۰۲۱) اظهار داشتند که کاربرد قارچ میکوریزا از طریق گسترش ریشه و کمک به بهبود جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه موجب افزایش محتوای پرولین و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی در گندم گردید. گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) بیان کرد که کاربرد پوترسین در شرایط تنش خشکی با بهبود فتوسنتز، موجب افزایش محتوای پرولین در جو گردید.

محتوای آنتوسیانین برگ پرچم: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی است برهم‌کنش توام تعدیل کننده‌های تنش شامل ورمی کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد این ترکیب تیماری موجب افزایش ۳۸/۳۴ درصدی محتوای آنتوسیانین برگ پرچم نسبت به تیمار شاهد در همین سطح از آبیاری گردید (جدول ۵). آنتوسیانین‌ها از رنگیزه‌های محافظ بوده که می‌تواند غشاهای کلروپلاستی را حفظ و افزایش محتوای آن

نقش به‌سزایی داشته و این ماده ساخت ترکیبات فنولیک همچون آنتوسیانین‌ها را افزایش و در نتیجه موجب بهبود عملکرد گیاه می‌گردد. خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱۶) اظهار داشتند که مصرف توام میکوریزا و محلول‌پاشی برگی نانواکسید روی به‌عنوان یک عنصر مغذی موجب بهبود صفات بیوشیمیایی از جمله افزایش آنتوسیانین در شرایط محدودیت آبی در تربیتکاله گردید. گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که محلول‌پاشی پوترسین از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین برگ گندم موجب مقاومت آن به تنش گردید.

ضمن حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش اکسیداتیو، گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کند (کوریا و همکاران ۲۰۰۶). بخشی از افزایش محتوای آنتوسیانین در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از وجود مقادیر بالایی از عناصر منیزیم و کلسیم در ورمی‌کمپوست باشد (جدول ۱). در این راستا ویتراک و همکاران (۲۰۰۰) علت افزایش آنتوسیانین در کاربرد کودهای زیستی را به جذب بهتر منیزیم و کلسیم در حضور این کودها نسبت دادند. نظری و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که درصد بالای هیومیک اسید در ورمی‌کمپوست در سلامتی گیاه

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی پوترسین و روی بر صفات بیوشیمیایی جو در سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		کاتالاز	پراکسیداز	پلی‌فنل اکسیداز	پرولین	قندهای محلول	مالون دی آلدهید	پراکسید هیدروژن
تکرار	۲	۱۱۴۸/۵۶**	۶۷۴۱/۵۷**	۱۱۳۸۵/۲۱**	۱۸/۰۳**	۶۲۸/۲۲**	۰/۰۳۶۶**	۰/۰۵۶۱**
محدودیت آبی (I)	۲	۱۲۰۴/۷۷**	۴۸۹۱/۰۳**	۱۴۹۰/۵**	۱۶/۳۹**	۱۰۹۷/۵۶**	۰/۰۲۰۳**	۰/۰۷۲۱**
کودهای زیستی (B)	۳	۳۲۳/۷۹**	۶۱۲/۶**	۵۵۵/۱۹**	۳/۱۶**	۳۱۵/۷**	۰/۰۰۵۸**	۰/۰۳۰۲**
محلول‌پاشی (F)	۳	۵۱/۶۸**	۴۵۳/۸۴**	۱۸۲/۶۸**	۱/۳۳**	۱۷۶/۸۲**	۰/۰۰۳۷**	۰/۰۱۶۹**
I×B	۶	۸/۷۱ ^{ns}	۱۸۵/۹۱**	۱۳/۹۵ ^{ms}	۰/۶۶**	۲۵/۴۵*	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۲۷**
I×F	۶	۲۸/۹**	۱۲۱/۴۸**	۱۰/۱۵ ^{ms}	۰/۳۳**	۱۱/۹۴ ^{ms}	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۱۵*
B×F	۹	۹/۰۳ ^{ns}	۱۴۷/۱۷**	۲۱/۱۱ ^{ns}	۰/۲۸**	۴۳/۵۴*	۰/۰۰۰۱*	۰/۰۰۵۱**
I×B×F	۱۸	۲۰/۱۶**	۱۵۵/۹۹**	۵۱/۰۸**	۰/۴۹**	۳۶/۹**	۰/۰۰۰۱**	۰/۰۰۲۷**
خطا	۹۴	۸/۱۸	۳۱/۲۹	۱۲/۷۷	۰/۱۰۸	۸/۵۳	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۸
ضریب تغییرات (%)	-	۵/۴۱	۵/۹۲	۴/۴	۴/۷	۴/۷۸	۸/۵۰	۹/۹۹

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

جدول ۵. مقایسه میانگین تجزیه واریاس تأثیر کودهای زیستی و آلی و محلول‌پاشی پوترسین و روی بر صفات بیوشیمیایی جو در سطوح مختلف آبیاری

ترکیب تیماری	کاتالاز	پراکسیداز	پلی فنل اکسیداز	پراکسید هیدروژن	پرولین (μg. g ⁻¹)	قندهای محلول (mg.g ⁻¹ FW)	مالون دی آلدئید	آنتوسیانین
							μmol. g ⁻¹	
	(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)							
I ₁ ×B ₁ ×F ₁	۴۲/۲۸.۰ ^x	۷۵/۳۶۱ ^Z	۶۸/۰.۲۱ ^z	۰/۱۴۹ ^{b-z}	۵/۵۱۳ ^e	۴۸/۳۵۹ ^t	۰/۱۰۸ ^{j-o}	۰/۳۰۴ ^b
I ₁ ×B ₂ ×F ₁	۴۸/۶۳۸ ^{p-v}	۷۹/۰.۶ ^{w-z}	۷۰/۲۵۸ ^{x-z}	۰/۲۳۳ ^{j-p}	۵/۸۱۸ ^{b-e}	۵۳/۳۷۸ ^{qrs}	۰/۰۸۴ ^{t-v}	۰/۳۴۳ ^{a-z}
I ₁ ×B ₃ ×F ₁	۴۹/۸۷۶ ^{n-u}	۱۰۱/۱۳۴ ^{j-z}	۷۴/۳۶۶ ^{s-y}	۰/۲۰۲ ^{o-v}	۵/۶۸۱ ^{de}	۴۹/۹۱۱ st	۰/۰۹۵ ^{p-u}	۰/۳۲۷ ^{a-z}
I ₁ ×B ₄ ×F ₁	۴۶/۸۵۵ ^{r-x}	۸۲/۸۰.۶ ^{s-z}	۷۷/۹۴۳ ^{n-u}	۰/۱۶۳ ^{a-z}	۶/۱۶۴ ^{b-z}	۵۸/۷۷۷ ^{i-o}	۰/۰.۷۱ ^{a-z}	۰/۳۲۶ ^{ab}
I ₁ ×B ₁ ×F ₂	۴۳/۷۳۳ ^{wx}	۷۷/۷۵۳ ^{x-z}	۷۴/۸۰.۸ ^{r-y}	۰/۲۱۸ ^{l-q}	۶/۰.۱۶ ^{b-y}	۶۰/۴۱۲ ⁱ⁻ⁿ	۰/۱۰.۳ ^{۱-q}	۰/۳۵۹ ^{a-z}
I ₁ ×B ₂ ×F ₂	۵۴/۰.۶۰ ^{j-m}	۷۷/۸ ^{x-z}	۶۹/۷۹ ^{yz}	۰/۱۶ ^{a-z}	۵/۸۶۶ ^{a-e}	۵۹/۰.۳۶ ^{n-r}	۰/۰.۶۹ ^{a-z}	۰/۳۶۵ ^{a-z}
I ₁ ×B ₃ ×F ₂	۴۵/۳۵ ^{u-w}	۷۹/۷۷۳ ^{w-z}	۸۰/۸۱۲ ^{h-q}	۰/۲۰.۷ ^{n-u}	۶/۵۵۸ ^{m-v}	۵۸/۳۹۷ ^{j-p}	۰/۰.۷۸ ^{w-z}	۰/۳۳۹ ^{a-z}
I ₁ ×B ₄ ×F ₂	۵۰/۳۹۵ ^{n-t}	۹۰/۷۰.۶ ^{m-t}	۷۹/۴۲۳ ^{j-t}	۰/۱۵۲ ^{ab}	۶/۳۹۵ ^{p-y}	۵۹/۴۵۴ ^{i-o}	۰/۰.۶۵ ^{a-z}	۰/۵۲۶ ^{e-k}
I ₁ ×B ₁ ×F ₃	۴۳/۳۰.۴ ^{wx}	۹۵/۶۷۷ ^{g-n}	۶۹/۰.۴۴ ^{yz}	۰/۲۰.۵ ^{o-u}	۶/۷۳۴ ^{k-s}	۶۰/۵۷۷ ^{j-n}	۰/۰.۹۶ ^{n-u}	۰/۳۳۵ ^{a-z}
I ₁ ×B ₂ ×F ₃	۴۵/۹۵۸ ^{t-w}	۸۰/۷۴۶ ^{w-z}	۸۱/۴۰.۶ ⁱ⁻ⁿ	۰/۱۸۲ ^{b-z}	۶/۲۱۶ ^{b-y}	۵۶/۳۰.۱ ^{m-q}	۰/۰.۸۳ ^{r-u}	۰/۴۲۴ ^{r-u}

۰/۳۹۱u-x	۰/۰۷۷w-z	۶۰/۵۱۱i-n	۵/۹۱۵b-z	۰/۱۷۳b-z	۷۳/۶۷۱t-z	۸۱/۸۵۸t-z	۵۰/۷۸۷l-r	I1×B3×F3
۰/۵۴۳d-h	۰/۰۶۴a-z	۶۰/۴۶۱j-n	۶/۶۰۵l-v	۰/۱۵b	۸۴/۹۸۷d-j	۹۱/۴۳k-s	۵۱/۹۸۷j-p	I1×B4×F3
۰/۳۴۳a-z	۰/۰۹۴p-v	۵۲/۱۰۷r-t	۵/۷۷۳c-e	۰/۱۹۶q-y	۷۰/۷w-z	۷۸/۲۶۸w-z	۴۴/۳۱۵v-x	I1×B1×F4
۰/۴۱۲s-v	۰/۰۶۸a-z	۵۴/۸۸۱p-q	۶/۰۷۶b-z	۰/۱۵۶a-z	۷۹/۹۲۸j-s	۹۳/۶۳۹j-p	۴۸/۵۷۵p-v	I1×B2×F4
۰/۴۸۶j-p	۰/۰۷۳w-z	۵۸/۸۲۷j-o	۶/۴۵۷o-y	۰/۱۶۶a-z	۷۵/۹۲۱q-x	۸۴/۸۷۹t-v	۴۹/۲۱۹p-u	I1×B3×F4
۰/۵۳e-j	۰/۰۵۸a	۵۲/۱۰۷r-t	۶/۷۵۶j-s	۰/۲۳۱k-q	۸۲/۸۱i-n	۹۵/۹۹j-n	۵۳/۳۷۸j-o	I1×B4×F4
۰/۳۷۴w-z	۰/۱۳۳b-e	۵۴/۵۰۱p-s	۵/۹۶۹b-y	۰/۲۹۶a-e	۷۳/۱۴u-z	۸۱/۳۶۵u-z	۴۶/۱۴۸t-v	I2×B1×F1
۰/۴۰۲t-v	۰/۱۲۵b-h	۶۱/۹۱۴g-k	۶/۳۱۵b-z	۰/۲۷۲e-i	۷۶/۳۸۸p-v	۸۴/۲۳۴r-z	۵۱/۲۹۹k-q	I2×B2×F1
۰/۴۰۱t-v	۰/۱۲۹b-f	۵۵/۵۴۱o-r	۶/۱۱۸b-y	۰/۲۸۷d-g	۷۸/۹۴۲k-t	۸۷/۱۸n-w	۵۵/۷۵۴e-k	I2×B3×F1
۰/۴۳۸q-t	۰/۱۱۷e-k	۶۰/۸۲۵i-k	۶/۶۵۵k-u	۰/۲۵۲g-l	۸۰/۹۸۹i-q	۸۵/۷۸۹p-v	۵۴/۴۰۲j-n	I2×B4×F1
۰/۳۸۲u-y	۰/۱۳۱b-e	۵۵/۲۱۱o-q	۶/۰۱۶b-z	۰/۲۸۸b-f	۷۴/۸۰۸r-y	۹۸/۱۱۷g-l	۴۷/۱۵۹r-v	I2×B1×F2
۰/۵۰۹g-m	۰/۱۱۶f-k	۶۱/۹۱۴g-k	۶/۸۴۷i-q	۰/۲۹۹d-j	۷۷/۴۵n-u	۸۹/۹۷۳l-u	۴۶/۸۳r-w	I2×B2×F2
۰/۵۱۲g-l	۰/۱۰۶j-o	۶۳/۲۵۲d-i	۶/۳۵۲a-z	۰/۲۸۳c-g	۸۲/۳۴۲h-o	۹۵/۳۹۶g-o	۵۱/۶۷۱j-q	I2×B3×F2
۰/۴۹۷h-o	۰/۰۸۷r-v	۶۵/۶۷۹d-h	۷/۲۵۲d-h	۰/۱۹۱r-z	۸۸/۱۱۸b-h	۹۳/۷۲۷j-m	۵۲/۷۸۴j-p	I2×B4×F2
۰/۴۱۱s-v	۰/۱۲۸b-g	۵۵/۷۹۶l-r	۶/۲۵۸a-z	۰/۲۸۱e-f	۷۶/۸۹۴o-v	۸۶/۵۳۵o-v	۵۱/۷۴j-q	I2×B1×F3
۰/۵۰۲h-m	۰/۱۱۱i-n	۶۲/۵۲۵f-j	۷/۰۱۸g-n	۰/۲۳۹k-o	۸۸/۶۷۵b-g	۱۰۷/۲۱b-f	۵۲/۶۷۰j-p	I2×B2×F3
۰/۴۶۱n-r	۰/۰۹۸n-t	۵۶/۰۶۹n-r	۶/۶۹k-t	۰/۲۰۹n-u	۸۱/۹۱۲i-p	۹۴/۵۴۹g-o	۵۰/۴۹۶l-s	I2×B3×F3
۰/۵۶۲b-e	۰/۰۹۷n-t	۶۷/۰۳۳a-f	۷/۳۹۷b-h	۰/۱۷۹b-z	۷۸/۳۴۸l-u	۸۴/۸۱۶q-y	۵۸/۲۳۲a-h	I2×B4×F3
۰/۴۵۴o-s	۰/۱۲۳e-i	۵۸/۹۴۲i-p	۶/۵۲۱n-x	۰/۲۶۱e-k	۷۸/۲۵۹l-u	۸۹/۰۱۲m-v	۵۰/۷۷۴l-s	I2×B1×F4
۰/۴۹۸h-o	۰/۱۰۵j-q	۶۳/۲۱۹d-i	۶/۹۰۷h-p	۰/۲۲۴l-r	۸۵/۱۳۵e-j	۹۲/۲۸۶j-z	۵۶/۱۲۱c-j	I2×B2×F4
۰/۵۲e-l	۰/۰۸۵s-w	۵۵/۳۱o-r	۶/۱۹۴a-z	۰/۱۹۸p-x	۸۰/۵۲۴j-r	۹۹/۷۹۳mf	۵۴/۷۹۳mf	I2×B3×F4
۰/۵۵۴c-g	۰/۰۷۵x-z	۶۸/۱۸۹a-c	۷/۵۴۶a-f	۰/۱۷b-z	۸۹/۷۳۶a-d	۱۰۹/۹۴a-b	۵۸/۸۷۶a-g	I2×B4×F4
۰/۴۴۶p-t	۰/۰۹۴p-u	۶۱/۷۱۶g-k	۶/۸۰۳i-r	۰/۱۸۹a-z	۸۰/۹۶۴i-q	۹۲/۹۹۴i-r	۵۲/۸۷۲j-p	I3×B1×F1
۰/۴۷۷l-q	۰/۱۳۵a-c	۶۷/۴۲۹a-e	۷/۷۶۶a-c	۰/۲۱۸l-s	۸۳/۸۴۶g-k	۱۰۱/۰۷d-j	۵۸/۰۰۵c-i	I3×B2×F1
۰/۴۹۳i-o	۰/۱۲۹ab	۵۶/۷۱۳l-r	۷/۱۲۸d-k	۰/۳۲۲ab	۷۹/۹۲۸j-r	۱۰۲/۰۵d-i	۵۲/۰۵۱j-p	I3×B3×F1
۰/۵۲۳e-k	۰/۱۳۲b-d	۶۸/۶۰۱a-c	۷/۶۰۴a-e	۰/۲۹۳b-e	۹۰/۳۶۸a-d	۱۱۰/۶۴a-c	۶۰/۰۷۷a-d	I3×B4×F1
۰/۴۶۷m-r	۰/۱۰۶j-o	۶۹/۸۰۶a-c	۷/۰۶۴f-m	۰/۲۳k-q	۸۳/۲۶۵h-m	۹۶/۸۱۱g-m	۵۵/۱۲۲e-k	I3×B1×F2
۰/۵۵۷c-f	۰/۱۲۶b-h	۵۷/۲۲۵k-q	۷/۴۰۶b-h	۰/۲۷۷d-g	۹۰/۹۲۴a-c	۱۱۳/۲۹۴ab	۶۰/۶۵۸a-c	I3×B2×F2
۰/۵۳۷e-i	۰/۱۱۳h-m	۶۹/۱۹۵a-c	۷/۶۶۶a-c	۰/۲۴۶j-n	۸۶/۱۳۴b-i	۹۷/۶۹۶g-m	۵۹/۳۰۶a-f	I3×B3×F2
۰/۶۰۴ab	۰/۱۰۱l-r	۷۱/۰۱۱a	۷/۹۰۴ab	۰/۲۱۵m-t	۹۲/۲۱۴a	۱۱۵/۳۲۹ab	۶۱/۳۴۱ab	I3×B4×F2
۰/۴۴۱p-t	۰/۱۳۸ab	۶۲/۷۵۶e-j	۶/۹۲۶h-m	۰/۲۰۵o-v	۸۴/۳۵۲e-j	۹۸/۳۹۱f-l	۵۵/۸۳۰d-k	I3×B1×F3
۰/۵۲e-k	۰/۱۱۸d-j	۶۸/۸۴۸a-c	۷/۴۵۱b-g	۰/۲۰۹r-t	۷۹/۱۰۶j-t	۱۰۲/۰۵c-h	۵۸/۵۶۰a-h	I3×B2×F3
۰/۵۴e-f	۰/۱۰۷j-p	۶۶/۰۹۱b-f	۷/۲۷۷e-i	۰/۲۶۶e-l	۸۹/۱۵۵a-f	۹۳/۸۰۳h-q	۶۰/۳۸۰a-d	I3×B3×F3
۰/۵۹۳a-c	۰/۰۹۹m-s	۷۰/۸۸a	۷/۸۴۸ab	۰/۲۱۲m-t	۹۱/۶۰۷ab	۱۱۶/۲۷ab	۶۱/۳۲۲ab	I3×B4×F3
۰/۴۸۲k-q	۰/۱۳۳a-c	۶۰/۵۷۷i-n	۷/۳۱۱d-i	۰/۳۰۱a-d	۸۳/۳۱۵g-m	۱۰۲/۹۵۴c-g	۵۱/۷۴۷j-q	I3×B1×F4
۰/۵۵۹b-e	۰/۱۰۸j-o	۷۰/۴۳۴ab	۶/۲۹۴a-z	۰/۲۳۵j-p	۹۱/۲۱۵ab	۱۱۴/۴۷ab	۶۹/۸۳ab	I3×B2×F4
۰/۵۸۹a-d	۰/۱۱۵g-l	۶۷/۷۹۳a-d	۷/۶۳۳a-d	۰/۲۴۷g-m	۸۹/۲۴۳b-f	۱۰۸/۴۴b-e	۵۹/۷۱۰a-e	I3×B3×F4
۰/۶۱۷a	۰/۱۴۷a	۷۱/۴۵a	۸/۰۰۱a	۰/۳۳۳a	۹۲/۷۹۶a	۱۱۸/۰۰۹a	۶۱/۸۷۲a	I3×B4×F4
۰/۰۴۶	۰/۰۱۴	۴/۷۳۷	۰/۵۱۴	۰/۰۳۷	۵/۷۹۴	۹/۰۶۹	۴/۶۳۷	LSD

I1، I2 و I3 به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و قطع آبیاری در مرحله آبستنی. B1، B2، B3 و B4 به ترتیب عدم کاربرد

کودهای زیستی، کاربرد ورمی کمپوست، کاربرد میکوریزا، و کاربرد توام ورمی کمپوست و میکوریزا.

F1، F2، F3 و F4 به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی پوترسین، نانو اکسید روی، محلول پاشی توام پوترسین و نانو اکسید روی.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD هم ندارند.

می‌تواند موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدی (جدول ۵)، تخریب پروتئین و در نهایت منجر به مرگ سلول شود. در چنین وضعیتی کاربرد قارچ میکوریزا احتمالاً با افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم، زمینه لازم جهت تولید بیومولکول‌هایی از قبیل پروتئین‌های مختلف را فراهم و از این طریق به تولید و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش آثار منفی گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط محدودیت آبی کمک کند (خیری‌زاده آروق ۲۰۱۶). بخشی از برتری محتوای پروتئین در کاربرد ورمی‌کمپوست نسبت به

درصد پروتئین برگ پرچم: بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها برهم‌کنش توام تعدیل‌کننده‌های تنش (ورمی-کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر محتوای پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توام تعدیل‌کننده‌های تنش موجب افزایش ۴۶/۸۹ درصدی محتوای پروتئین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌ها تحت چنین شرایطی گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی فعالیت زیاد گونه‌های فعال اکسیژن

تیمار شاهد، با مقادیر بالای نیتروژن موجود در ورمی-کمپوست (جدول ۱) مرتبط بوده و برخی پژوهشگران نیز افزایش دسترسی به نیتروژن و انتقال مجدد و تجمع بیش‌تر آن در قسمت زایشی را از دلایل اصلی افزایش محتوای پروتئین برگ گزارش کردند (مدحج و همکاران ۲۰۱۱). عنصر روی برای رشد طبیعی و تولید مثل گیاهان زراعی بسیار ضروری و در سنتز پروتئین و هورمون گیاهی به‌کار می‌رود (آلوی ۲۰۰۴). نریمانی و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که محلول‌پاشی نانو اکسید روی در شرایط تنش با بهبود محتوای کلروفیل، محتوای پروتئین برگ گندم را افزایش داد. استفاده از پلی‌آمین‌ها موجب افزایش DNA، RNA، محتوای پروتئینی و افزایش پایداری غشاء شده و از این‌رو محلول‌پاشی پوترسین موجب افزایش درصد پروتئین گردید (اسماعیل‌خان زندی و دانائی ۲۰۱۴).

وزن و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش توام تعدیل‌کننده‌های تنش شامل (ورمی‌کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری بر وزن و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد این ترکیب تیماری موجب افزایش ۸/۲۳ درصدی وزن و ۵/۲۷ درصدی حجم ریشه نسبت به عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۳). کاهش معنی‌دار ماده خشک ریشه در اثر افزایش تنش خشکی، دلالت بر تحت‌تأثیر قرار گرفتن ریشه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء گیاهی در اثر این پدیده محیطی است. در واقع با پیشرفت تنش خشکی، فتوسنتز برگ کاهش و احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاهان زیاد شده و به دنبال آن رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌گردد (موسوی دهموری و همکاران ۲۰۱۸). افزایش ورمی‌کمپوست در محیط ریشه، شرایط بهتری را برای جذب آب و عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی فراهم کرده و در نتیجه منجر به افزایش خصوصیات مانند وزن و حجم ریشه می‌گردد (حسن پور و همکاران ۲۰۱۸). در این راستا موسوی دهموری و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند حجم و وزن ریشه با مصرف ورمی‌کمپوست نسبت به عدم

مصرف آن افزایش چشمگیری داشت. همزیستی ریشه با میکوریزا به دلیل توانایی میکوریزا در جذب عناصر غذایی کم‌تحرک و کمک به گسترش و توسعه ریشه از دیگر دلایل افزایش وزن و حجم ریشه تحت چنین شرایطی می‌تواند باشد. نتایج مشابهی نیز توسط نظری و همکاران (۲۰۲۱) مبنی بر بهبود وزن و حجم ریشه با کاربرد میکوریزا گزارش شده است. بخشی از افزایش وزن و حجم ریشه در کاربرد پوترسین می‌تواند ناشی از اثر این ماده با بهبود سیستم دفاع آنتی اکسیدانی و کاهش محتوای پراکسیداسیون لیپیدی (جدول ۴) مرتبط باشد. نتایج مشابهی نیز توسط آستیر و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر افزایش وزن و حجم ریشه گندم در محلول‌پاشی پوترسین گزارش شده است. محسنی محمدجانلو و همکاران (۲۰۲۱) نیز اظهار داشتند که محلول‌پاشی پوترسین موجب بهبود وزن و حجم ریشه گندم گردید.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش توام تعدیل‌کننده‌های تنش همانند ورمی-کمپوست، میکوریزا، نانو اکسید روی و پوترسین در سطوح مختلف آبیاری، بر عملکرد دانه جو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). این ترکیب تیماری موجب افزایش ۲۵/۱۸ درصدی عملکرد دانه جو نسبت به عدم کاربرد این تعدیل‌کننده‌های تنش در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۳). کاربرد میکوریزا به دلیل کمک به رشد ریشه‌های موئین و امکان دسترسی و نفوذ ریشه‌های موئین به مناطقی از خاک هست که ریشه قادر به نفوذ در همچون مناطقی نیست. استفاده از ورمی‌کمپوست به دلیل سهولت دسترسی گیاه به عناصر غذایی مورد نیاز (جدول ۱)، منجر به افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و گسترش وزن و حجم ریشه (جدول ۳) گردید و کاربرد این کودها به همراه محلول‌پاشی با پوترسین و نانو اکسید روی ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و اسمولیت‌های سازگاری همچون پرولین و قندهای محلول (جدول ۵) می‌تواند حتی در شرایط محدودیت شدید آبی بخشی از اثرات ناشی از تنش را تعدیل و در بهبود عملکرد دانه موثر واقع شود. نتایج مشابهی نیز توسط محمدی کله سرلو و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر افزایش عملکرد دانه در

شرایط تنش شوری با کاربرد ورمی کمپوست گزارش شده است. بابایی و همکاران (۲۰۱۷) علت افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش با کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانو اکسید روی را به بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نسبت دادند. در بررسی دیگری توسط خیری زاده آروق و همکاران (۲۰۱۶) محلول پاشی نانو اکسید روی از طریق بهبود صفات بیوشیمیایی عملکرد تریتیاله را افزایش داد. گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که کاربرد پوترسین در شرایط تنش خشکی با بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) موجب افزایش عملکرد دانه گندم گردید.

نتیجه‌گیری

برهم‌کنش توام تعدیل کننده‌های تنش شامل (ورمی-کمپوست، میکوریزا، روی و پوترسین) در سطوح مختلف آبیاری موجب افزایش محتوای کلروفیل، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین، پرولین، قندهای محلول و وزن و حجم ریشه شد ولی این ترکیب تیماری با کاهش محتوای پراکسید هیدروژن موجب حفظ ساختار غشاء و کاهش محتوای مالون دی‌آلدهید شد. بیش‌ترین

سیاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری نویسنده اول است که در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. نویسندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از زحمات تک تک همکاران ارجمند در بخش‌های مختلف دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

منابع مورد استفاده

- Abd Elbar OH, Farag RE and Shehata SA. 2022. Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64: 129-137. <http://doi.org/10.1016/j.aos.2022.10.001>
- Adamipour N, Heiderianpour MB, Zarei M. 2016. Application of vermicompost for reducing the destructive effects of salinity stress on tall fescue turfgrass (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Queen'). *Journal of Science and Technology, Greenhouse Culture, University of Technology*, 7(1):35-47. <http://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.1.35>
- Alexieva V, Sergiev I, Mapelli S and Karanov E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environment*, 24: 1337-1344. <http://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778>
- Ali U, Sajid N, Khalid A, Riaz L, Rabbani M M, Syed J H and Malik RN. 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 34: 1050-1062. DOI: 10.22092/ISFJ.2020.123000. <https://doi.org/10.1002/ep.12100>
- Alloway BJ. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International fertilizer Industry Association and International Zinc Association, Brussels, Belgium and Paris, 135. p. <http://doi.org/10.4236/ojss.2014.47026>

- Arnon DI. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in beta vulgaris. Journal of American Society of Plant Physiology, 24:1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Asthir, B, Kumar R and Bains NS. 2018. Why and how putrescine modulates thermotolerance in wheat? Indian Journal of Biochemistry and Biophysics, 55: 404-412.
- Babaei Kh, Seyed Sharifi R, Pirzad A and Khalilzadeh R. 2017. Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Journal of Plant Interactions, 12(1):381-389. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>
- Bates L. Walderen S and Taere ID. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Journal of Plant Soil, 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bradford MM. 1976. A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72:248-253. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Ceccarelli S, Grando S, Baum M and Udupa SM. 2004. Breeding for drought resistance in a changing climate. Challenges and Strategies for Dryland Agriculture, 2:167–190. <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub32.c11>
- Dadkhah N, Ebadi A, Parmoon G, Ghilipoori E and Jahanbakhsh S. 2015. Effect of spraying zinc on photosynthetic pigments and grain yield of chickpea under level different irrigation. Journal of Iranian Dryland Agronomy, 3 (2): 141-160. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/idaaj.2015.101295>
- Dalal VK, and Tripathy BC. 2012. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. Journal of Plant Cell and Environment, 35 (9):1685-1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02520.x>
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Roberts PA and Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Journal of Annals of Chemistry 28: 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Giri B and Mukerji KG. 2004. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Susana aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions, evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. Mycorrhiza, 14: 307-312. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0274-1>
- Gong B, Wen D, Vanden-Langenberg K, Wei M, Yang F, Shi Q and Wang X. 2013. Comparative effects of NaCl and NaHCO₃ stress on photosynthetic parameters, nutrient metabolism, and the antioxidant system in tomato leaves. Journal of Scientia Horticulture, 157:1–12. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.03.032
- Gupta S, Agrawal VP and Gupta NK. 2012. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Physiology Mol Biol Plants, 18(4):331-336. <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0123-9>
- Hassanpour Nejad F and Ranjber M. 2018. Effect of lead and putrescine interactions on cress (*Lipidium sativum* L.) seedling physiological and biochemical factors. Journal of Plant Ecophysiology, 10(35): 38-51 (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.35.5.6>
- Ismail Khan Zandi M and Danai A. 2014. The effect of pre-harvest foliar application of putrescine, spermine and spermidine on some traits, enzymes and shelf life of roses of black baccarat cultivar Day of the bush. Journal of Cellular and Molecular Plant Biology, 9(1-2):11-21. <https://doi.org/20.1001.1.17355028.1393.9.1.2.2.6.4>
- Kheirizadeh Arough Y, Seyed Sharifi R, Sedghi M and 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-Napoc, 44(1): 116-124. <https://doi.org/10.15835/nbha44110224>

- Koyro HW. 2006. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte (*Plantago coronopus* L.). Journal of Environmental Experimental Botany, 56: 136-149. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.02.001>
- Mamnabi S, Nasrollahzadeh S, Ghassemi-Golezani K and Raei Y. 2020. Improving yield-related physiological characteristics of spring rapeseed by integrated fertilizer management under water deficit conditions. Saudi Journal of Biological Sciences, 27:3. 797-804. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.01.008>
- Medhaj A, Imam Y and Ayneband A. 2011. The effect of nitrogen levels on source restriction and the pattern of assimilate redistribution to grain in wheat genotypes under post-anthesis heat stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 9(3): 474-485. <https://doi.org/10.22067/gsc.v9i3.11984>
- Mohammadi Kalehsarlou S, Seyed Sharifi R and Narimani H 2022. Effect of vermicompost, phallobacterium and humic acid on the activity of antioxidant enzymes some biochemical traits of triticale at different salinity levels. Journal of Crop Production, 2 (15): 183-202. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.19669.2469>
- Mohseni Mohammadjanlou A, Seyed Sharifi R and Khomari S. 2021. Effects of holding irrigation at reproductive stages and putrescine and bio fertilizers application on grain filling period, chlorophyll content and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Field Crops Research, 19 (2): 153-167. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.67402.1000>
- Mousavi Dehmordy Z, Gholami M and Baninasab B. 2018. Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of Olive (*Olea europaea* L.). Journal of Plant Process and Function Iranian Society Of Plant Physiology, 7 (23):1-18. <https://doi.org/10.47176/jcpp.12.3.32981>
- Murray DR. 1989. Biology of cool irradiation growth responses of corn (*Zea mays* L.) to interminating of soil water deficits. Field Crops Abstracts, Pp: 237. DOI:10.22067/ijpr.v1394i2.35619
- Naghavi M R, Toorchi M, Moghaddam M and Shakiba MR. 2015. Evaluation of diversity and traits correlation in spring wheat cultivars under drought stress. Journal of Notulae Scientia Biologicae, 7 (3):349. <https://doi.org/10.15835/nsb.7.3.9592>
- Narimani H and Seyed Sharifi R. 2018. Effect of soil application and zinc solubility on grain filling, grain yield and some biochemical traits of wheat under Salinity Stress. 13th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran 3rd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment. University of Mohagheh Ardabili. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/JCI.2021.307461.2429>
- Nazari J, Seyed Sharifi R, Narimani H and Mohammadi S. 2021. The effect of water limitation, biofertilizers and nanosilicon on the content of compatible osmolytes and biochemical traits of triticale. Journal of Crops Improvement, 2: 101-117. <https://doi.org/10.22059/jci.2022.333768.2639>
- Razavi S, Jahan M, Mahallati M and Ghalibaf K. 2017. Radiation absorption and use efficiency of common mallow (*Malva sylvestris* L.) affected by different sources of organic, biological and chemical fertilizers and intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). Journal of Field Crops Research, 15: 136-149. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.49378>
- Ruiz-Lozano J M, Carmen Peralvarez M, Aroca R and Azcon R. 2011. The application of a treated sugar beet waste residue to soil modifies the responses of mycorrhizal and non mycorrhizal lettuce plants to drought stress. Journal of Plant and Soil, 346: 153-166. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0805-zD>
- Saadati S, Moallemi N, Mortazavi SH and Seyyednejad SM. 2013. Effects of zinc and boron foliar application on soluble carbohydrate and oil contents of three olive cultivars during fruit ripening. Journal of Horticultural Science, 164:30-34. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.033>
- Saia S, Ruisi P, García-Garrido JM, Benítez E, Amato G and Giambalvo D. 2012. Can arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant nitrogen capture from organic matter added to soil, 17th Nitrogen Workshop, 3:26-29 (Wexford-Ireland).

- Salehi A, Ghalavand A, Sefidkon F and Asgharzade A. 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27: 188-201. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394>
- Shabala S and Munns R. 2017. Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. Journal of Plant Stress Physiology, 2:24-63. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394>
- Sharifi zade M, Jazaeri MR., Nikkhah H and Rostai M. 2020. Agricultural and morphological characteristics of barley cultivars. Journal Seed and Plant Certification and Registration Institute, 91_98.
- Shirani Bidabadi S, Dehghanipoodeh S and Wright GC. 2017. Vermicompost leachate reduces some negative effects of salt stress in pomegranate. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 6: 255-263. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0173-7>
- Stewart RC and Beweley J D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Journal of Plant Physiology, 65: 245-248. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245>
- Sudhakar C, Lakshmi A and Giridara Kumar S. 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. Journal of Plant Science, 167: 613-619. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00450-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00450-2)
- Vitrac X, Larronde F, Krisa S, Decendit A, Deffieux G and Mérillon JM. 2000. Sugar sensing and Ca²⁺ calmodulin requirement in *Vitis vinifera* cells producing anthocyanins. Phytochemistry, 53: 1. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(99\)00620-2](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(99)00620-2)
- Wang Y, Ma F, Li M, Liang D and Zou J. 2011. Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. Plant Growth Regulation, 64:63-74. <https://doi.org/10.1007/s10725-010-9537-y>
- Yavas I and Emek Y. 2021. The Positive Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Wheat Growth and Physiology under Drought Conditions. Journal of Science and Technology, 31: 409-419. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1002430>