Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effects of *Flavobacterim*, vermicompost and humic acid on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of triticale under salinity conditions

Sara Mohammadi Kale Sarlou[1*], Raouf Seyed Sharifi[2], Hamed Narimani[3]

[1] PhD Student in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran, Email: mohammadiisara1@gmail.com
[2] Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran, Email: raouf_ssharifi@yahoo.com
[3] PhD Student in Crop Physiology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran, Email: hamed.narimani.72@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/12/13
Revised: 2022/02/16
Accepted: 2022/05/10

Keywords:
Catalase
Hydrogen peroxide
Malondialdehyde
Proline
Soluble sugars

ABSTRACT

Background and objectives: Soil salinity is one of the most important factors limiting the growth and yield of crop plants in arid and semi-arid regions, which causes lipid peroxidation and membrane damage by producing reactive oxygen species. Under such conditions, plants use enzymatic and non-enzymatic antioxidant mechanisms to prevent lipid peroxidation and increase malondialdehyde content. Application of plant growth-promoting rhizobacteria is strategy that can improve plant performance under salinity stress and, consequently, plant growth increase by producing or releasing secondary metabolites such as regulators or growth hormones. Also vermicompost can directly increase plant yield by increasing plant nutrients and by acting on some antioxidant functions, controlling free radicals and thus protecting plants against environmental stresses. Humic acid also reduces the effects of salinity stress by improving protein synthesis, altering enzyme activity, solubility of micronutrients, improving soil structure, increasing cation exchange capacity and soil microbial population. Therefore, the aim of this experiment was to investigate the effect of salinity, vermicompost, flavobacterium and humic acid on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of triticale.

Materials and methods: A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research greenhouse of faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabil during 2020. Experiment factors were included salinity at three levels (no application of salinity as control, application of 50 and 100 mM soil salinity by NaCl), and organic and bio fertilizers application (no application of organic and bio fertilizers as control, application of vermicompost, *Flavobacterim* and application of both vermicompost and *Flavobacterim*) and humic acid foliar application (foliar application with water as control and foliar application of 2 g L^{-1} humic acid).

Results: The results showed that application of both vermicompost, flavobactrim and foliar application of humic acid under 100 mM soil salinity conditions, increased proline content (50%), soluble sugar (45.4%), anthocyanin content (57.1%) and the activity of catalase, peroxidase, polyphenol oxidase (54.9, 48.5 and 48%, respectively) compared to no application of organic and bio fertilizers and humic acid under non-salinity conditions. Also, application of both vermicompost, flavobacterium and

foliar application of humic acid under non-salinity conditions decreased malondialdehyde content by 54.3% and increased by 69.6% of grain yield compared to the no application of organic and bio fertilizers and humic acid under 100 mM soil salinity conditions.

Conclusion: It seems that the application of organic and bio fertilizers and foliar application of humic acid can increase grain yield under salinity stress by improving the antioxidant enzymes activity and the compatible osmolytes content.

Cite this article: Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Narimani, H. 2022. Effects of Flavobacterim, vermicompost and humic acid on antioxidant enzymes activity and some biochemical traits of triticale under salinity conditions. *Crop Production Journal*, 15 (2), 183-202.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.19669.2469
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تأثیر ورمی‌کمپوست، فلاوباکتریوم و هیومیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی تریتیکاله در سطوح مختلف شوری

سارا محمدی کله‌سرلو[۱*]، رئوف سیدشریفی[۲]، حامد نریمانی[۳]

۱.دانشجوی دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه:mohammadiisara1@gmail.com

۲.استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: raouf_ssharifi@yahoo.com

۳. دانشجوی دکتری رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، رایانامه: hamed.narimani.72@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰

واژه‌های کلیدی:
پراکسید هیدروژن
پرولین، قندهای محلول
کاتالاز
مالون¬دی¬آلدهید

چکیده

سابقه و هدف: شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با تولید گونه‌های اکسیژن فعال موجب پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب غشایی می‌شود. در چنین شرایطی گیاهان برای جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید، از سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی استفاده می‌کنند. کاربرد باکتری‌های محرک رشد از جمله راه‌کارهایی است که می‌تواند عملکرد گیاه را در شرایط تنش شوری بهبود بخشد و رشد گیاه را از طریق تولید یا رهاسازی متابولیت‌های ثانویه‌ای نظیر تنظیم‌کننده‌ها یا هورمون‌های رشدی افزایش دهد. کاربرد ورمی‌کمپوست نیز می‌تواند از طریق افزایش مواد مغذی موجود در گیاه، مستقیماً موجب افزایش عملکرد گیاه شود و با اثر بر برخی عملکردهای آنتی‌اکسیدانی، موجب کنترل رادیکال‌های آزاد و حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌شود. هیومیک اسید نیز با بهبود سنتز پروتئین، تغییر فعالیت آنزیم‌ها، حلالیت ریزمغذی‌ها، بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جمعیت میکروبی خاک، موجب کاهش اثرات تنش شوری می‌شود. از این‌رو، هدف از اجرای این آزمایش بررسی تأثیر شوری، ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و هیومیک‌اسید بر فعالیت آنزیم-های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی تریتیکاله بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید سدیم)، کاربرد کودهای آلی و زیستی (شاهد، ورمی‌کمپوست، تلقیح بذر با *Flavobacterium* و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium*) و محلول‌پاشی هیومیک اسید (شاهد و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر هیومیک اسید) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای پرولین (۵۰ درصد)، قندهای محلول (۴۵/۴ درصد)، آنتوسیانین (۵۷/۱ درصد) و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز (۵۴/۹، ۴۸/۵ و

۴۸ درصد) نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری شد. همچنین، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در شرایط عدم اعمال شوری موجب کاهش ۵۴/۳ درصدی مالون‌دی‌آلدهید و افزایش ۶۹/۶ درصدی عملکرد دانه گیاه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شد.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی و زیستی و محلول‌پاشی هیومیک اسید با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌های سازگار، می‌تواند عملکرد دانه گیاه تریتیکاله را تحت شرایط تنش شوری افزایش دهد.

استناد: محمدی کله‌سرلو، س.، سیدشریفی، ر. نریمانی، ح. (۱۴۰۱). تأثیر ورمی کمپوست، فلاوباکتریوم و هیومیک اسید بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات بیوشیمیایی تریتیکاله در سطوح مختلف شوری. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۲)، ۲۰۲-۱۸۳.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19669.2469

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی است که از طریق تغییرات آناتومیک، مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو گیاه تأثیر می‌گذارد (۱). یکی از دلایل اصلی خسارت تنش شوری بر گیاهان، خسارت اکسیداتیو یعنی تولید انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن است که در محیط سلولی موجب تخریب ماکرومولکول‌های عمده سلولی نظیر DNA، RNA و آنزیم‌های حیاتی می‌شود (۲). در طی تنش شوری میزان پراکسید هیدروژن گیاه افزایش می‌یابد که موجب پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب غشایی می‌شود (۳). از این‌رو، اندازه‌گیری مالون‌دی‌آلدهیدهای تولید شده در طی پراکسیداسیون لیپیدی، شاخص خوبی برای اندازه‌گیری تنش اکسیداتیو وارد شده به غشاء است (٤). شفیق و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که شوری با افزایش تجمع سدیم و برهم زدن تعادل یونی، موجب افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و محتوای مالون-دی‌آلدهید برگ گندم شد (۵).

گیاهان برای تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری به‌منظور جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و در نتیجه افزایش میزان مالون‌دی‌آلدهید، از سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی (نظیر کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز) و غیرآنزیمی (افزایش محتوای پرولین) استفاده می‌کنند تا با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن، میزان مالون‌دی‌آلدهید را نیز کاهش دهند (۳). تجمع مواد محلول فعال اسمزی مانند کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد طی تنش شوری، به‌عنوان سازوکار موثر در تحمل به شوری تأیید شده است. به‌طورکلی، گونه‌های گیاهی از طریق تولید و تجمع دادن این ترکیبات، می‌توانند به مقادیر بالای نمک خاک که منجر به منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی محلول خاک می‌شود سازگار شوند (٦). در این زمینه شفیق و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین و قندهای محلول در شرایط شوری، موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ گندم شد (۵). در بررسی خیری‌زاده آروق و همکاران (۲۰۱٦) تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیدا و پلی‌فنل‌اکسیداز) و بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) برگ تریتیکاله شد (۷).

کودهای زیستی و آلی که شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی هستند، عناصر معدنی را از شکل غیرقابل دسترس به شکل قابل دسترس گیاه تبدیل نموده و منجر به رشد بهتر گیاه می‌شوند (۸). باکتری‌های محرک رشد با تولید یا رهاسازی متابولیت‌های ثانویه‌ای نظیر تنظیم‌کننده‌ها یا هورمون‌های رشدی و یا تسهیل جذب عناصر غذایی از محیط رشد گیاه، می‌توانند به جذب بهینه عناصر غذایی توسط گیاه کمک کرده و موجب کاهش اثرات منفی شوری خاک شوند (۹). از جمله فعالیت‌های بیولوژیکی باکتری *Flavobacterium* در غلات می‌توان به تثبیت نیتروژن، تولید فیتوهورمون‌ها، فعالیت پکتیناز و افزایش جذب عناصر غذایی اشاره کرد (۱۰). همچنین، کاربرد این باکتری‌ها در شرایط شوری به-دلیل بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول)، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید موجب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شوند (۱۱). برقی و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که باکتری‌های محرک رشد با بهبود محتوای پرولین و قندهای محلول و کاهش میزان مالون دی‌آلدهید موجب افزایش عملکرد دانه خردل سیاه می‌شوند (۱۲).

ورمی‌کمپوست نتیجه تجزیه زیستی و کود آلی است که از طریق فرآوری ضایعات آلی مانند کود دامی و بقایای گیاهی توسط کرم‌های خاکی تولید می‌شود. این ماده دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگه‌داری بالای آب و عناصر معدنی، از تهویه و زهکشی مناسب برخوردار است که امروزه در کشاورزی پایدار برای بهبود رشد و کیفیت گیاهان زراعی (۱۳)، افزایش جمعیت میکروبی خاک و نگهداری طولانی مدت عناصر غذایی در خاک بدون اثر منفی بر محیط، استفاده از آن بسیار متداول است (۱٤). هیومیک اسید استخراج شده از ورمی‌کمپوست، مسیر رشد ریشه و متابولیسم ثانویه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با اثر بر برخی عملکردهای آنتی‌اکسیدانی، موجب کنترل رادیکال‌های آزاد و در نتیجه حفاظت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (۱۵). تئوسن و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که درصد بالای هیومیک اسید در ورمی‌کمپوست در سلامتی گیاه نقش به‌سزایی دارد این ماده ساخت ترکیبات فنولیک هم‌چون آنتوسیانین‌ها را افزایش داده و در نتیجه موجب بهبود عملکرد گیاه می‌شود (۱٦). موسوی دهموردی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند تحت شرایط تنش، افزایش گونه‌های اکسیژن فعال مانند پراکسید هیدروژن منجر به پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه آسیب به غشاء می‌شود و کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین، موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش در گیاه زیتون می‌شود (۱۷).

امروزه کاربرد هیومیک اسید برای بهبود رشد گیاهان و همچنین، افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است (۱۸). تأثیر هیومیک اسید بر رشد گیاه ممکن است به‌صورت افزایش وزن خشک گیاه، کاهش فشردگی خاک، بهبود سنتز پروتئین، تغییر فعالیت آنزیم‌ها، حلالیت ریزمغذی‌ها، بهبود ساختار خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جمعیت میکروبی خاک باشد (۱۸). خدامرادی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند کاربرد هیومیک اسید تحت شرایط تنش، موجب افزایش محتوای پرولین و قندهای محلول و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ توت‌فرنگی شد (۱۹). در بررسی کایا و همکاران (۲۰۱۸) نیز کاربرد هیومیک اسید در شرایط شوری با فعال کردن سیستم‌های دفاعی از جمله فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین، موجب حفظ ساختار غشاء و جلوگیری از افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ ذرت شد (۳).

امروزه تریتیکاله در بیش از ۳۰ کشور جهان کشت می‌شود و عمده تولید کنندگان آن کشورهای آلمان، فرانسه، هلند، استرالیا، چین و بلاوس هستند که بیش از ۱۳/۵ میلیون تن در ۲۸ کشور جهان تولید شده است. در مورد سطح زیر کشت آن در ایران و استان اردبیل اطلاعات دقیقی در دسترس نیست، ولی در برنامه‌های آینده ایران ۱٤۰٤ سطح زیر کشت این محصول ۵۰۰ هزار هکتار در نظر گرفته شده است (۲۰). با توجه اهمیت تریتیکاله به‌عنوان یکی از غلات دو منظوره (استفاده از علوفه و دانه) و متحمل بودن این گیاه زراعی نسبت به تنش شوری و همچنین، گسترش روزافزون اراضی شور و نقش کودهای آلی و زیستی در تعدیل یا کاهش اثر ناشی از شوری و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص تأثیر برهم‌کنش توأم این عوامل بر روی تریتیکاله، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر ورمی‌کمپوست، هیومیک اسید و *Flavobacterium* بر عملکرد دانه، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و برخی صفات بیوشیمیایی گیاه تریتیکاله در شرایط شور مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شوری در سه سطح غیرشور به‌عنوان شاهد، شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار از نمک سدیم کلرید، کاربرد کودهای آلی و زیستی شامل عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی (به‌عنوان شاهد)، ورمی‌کمپوست، تلقیح بذر با *Flavobacterium* و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید: در دو سطح محلول‌پاشی با آب (به‌عنوان شاهد) و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر هیومیک اسید بود. خاک هر گلدان حاوی یک قسمت ماسه بادی، دو قسمت خاک معمولی و یک قسمت کود دامی بود.

جدول ۱- مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک.

Table 1- Soil physicochemical properties.

ویژگی Characteristic	پتاسیم K	فسفر P	روی Zn	نیتروژن N	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	عصاره اشباع Saturate extract	pH
	میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg					درصد %				
مقادیر Amount	255	27.3	1.02	0.04	0.72	38.5	42	19.5	47	7.8

پس از تهیه خاک، ۱۸ کیلوگرم از آن به هر گلدان اضافه شده و تمامی گلدان‌ها با قطر ٤٠ سانتی‌متر، تا ارتفاع ٤٠ سانتی‌متری از خاک پر شدند. همچنین، به‌منظور ایجاد زهکش در گلدان‌ها، در زیر هر گلدان سوراخ‌هایی ایجاد شد. با استفاده از نمک NaCl و نرم‌افزار Salt Calc مقدار نمک مورد نیاز برای هر یک از سطوح شوری، در دو نوبت (مرحله بعد از کاشت و مرحله ۳-٤ برگی معادل با کد ۱۳ از مقیاس BBCH[1]) همراه آب آبیاری اعمال شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی با آب غیرشور انجام شد طوری‌که به‌صورت تقریبی در هر نوبت آبیاری به هر گلدان ۵۰۰ میلی‌لیتر آب اضافه شد. محلول‌پاشی هیومیک اسید در دو نوبت (مراحل پنجه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) اعمال شد. با توجه به اینکه 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 زیر گلدانی در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود در نتیجه نسبت به اندازه‌گیری شوری زهکش اقدام نشد. نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

از تریتیکاله رقم سناباد (برخوردار از تیپ رشدی بهاره، متوسط‌رس، با متوسط ارتفاع بوته ۱۱۲-۱۱۰ سانتی‌متر و میانگین عملکرد ۷۲۳۲ کیلوگرم در هکتار که مقاوم به خوابیدگی است) استفاده شد. ۵۰ بذر در هر گلدان کشت شد. برای تلقیح بذر با باکتری *Flavobacterium* (*Falvobacterium* spp.)، از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای 10^8 عدد باکتری زنده و فعال بود به‌همراه محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی- حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. فعالیت بیولوژیکی این باکتری شامل تثبیت نیتروژن، تولید فیتوهورمون‌ها، افزایش فعالیت پکتیناز و جذب عناصر غذایی در

1.Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry

غلات است (۲۱). این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. باکتری مورد استفاده از موسسه خاک و آب تهران تهیه شد. مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی در این آزمایش ۱۰ تن در هکتار (۱۲۵/٦ گرم در گلدان) بود که از شرکت گیلدا خریداری شد که در هنگام کاشت به خاک اضافه شد و مشخصات فیزیکوشیمیایی آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه ورمی‌کمپوست.

Table 1- Result of vermicompost analysis.

pH	کادمیوم Cd	سرب Pb	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	آهن Fe	هدایت الکتریکی EC	ویژگی Characteristic
	میلی گرم بر کیلوگرم mg/kg						دسی‌زیمنس بر متر $dS.m^{-1}$	
	1	19	110	20	275	5000	1.12	مقادیر Amount
7.64	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی OC	ماده آلی OM	ویژگی Characteristic
	درصد %							
	0.95	2.73	0.4	0.4	1.55	32.9	56.8	مقادیر Amount

گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱٦-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. در مرحله آبستنی بر روی برگ پرچم اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنول‌اکسیداز) با روش سودهکار و همکاران (۲۰۰۱)، محتوای قندهای محلول به روش دابویس و همکاران (۱۹۵٦)، اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین با روش واگنر (۱۹۷۹)، محتوای مالون‌دی‌آلدهید از روش استوارت و بولی (۱۹۸۰)، محتوای پراکسیدهیدروژن با روش الکسیو و همکاران (۲۰۰۱)، محتوای پرولین از روش بیتز و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد (۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲٤، ۲۵ و ۲٦). در زمان رسیدگی تعداد هشت بوته مشابه به هم در هر گلدان برداشت و میانگین داده‌های حاصل از آن‌ها، به‌عنوان عملکرد تک بوته تریتیکاله در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، پلی‌فنل‌اکسیداز): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر کودهای آلی و زیستی، هیومیک اسید، تنش شوری و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، دارای بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز (به‌ترتیب ۵٤/۰۷، ۱۱۸/۲ و ۷۵/٤۱ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) بود که این ترکیب تیماری از افزایش به‌ترتیب ۵٤/۸۸ درصد، ٤۸/٤۷ درصد و ٤۸ درصد فعالیت آنزیم‌های کاتالاز،

پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه تریتیکاله برخوردار بود (جدول ٤). آنزیم کاتالاز با اثر مستقیم بر پراکسید هیدروژن، موجب کاهش اثر سمی تنش می‌شود. زیرا تجمع پراکسید هیدروژن برای سلول‌ها و بافت‌ها بسیار آسیب‌رسان است و باید بلافاصله تجزیه شود. در واقع کاتالاز از پراکسیدهیدروژن به‌عنوان سوبسترا استفاده می‌کند و با تجزیه سریع این ماده، اثر مخرب آن را مهار می‌کند (۲۷). احتمالاً تولید متابولیت‌ها توسط باکتری‌های محرک رشد از جمله هورمون‌های محرک رشد نقش ویژه‌ای در تحریک و بیان پروتئین‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند و با توجه به نقش مهم آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در حذف رادیکال سمی پراکسیدهیدروژن در شرایط تنش‌های مختلف، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در اثر تلقیح باکتری، می‌تواند عاملی موثر در حذف گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه افزایش مقاومت گیاهان به تنش باشد (۲۸). سپهری و همکاران (۲۰۱۵) اظهار داشتند که تولید متابولیت‌ها توسط باکتری‌های محرک رشد از جمله هورمون‌های محرک رشد، نقش ویژه‌ای در تحریک و بیان ژن پروتئین‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ایفا می‌کند، از این‌رو، کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، رادیکال‌های سمی پراکسید هیدروژن تولید شده در اثر تنش را حذف می‌نماید (۲۹). از آنجایی که ورمی‌کمپوست دارای عناصر ریزمغذی با قابلیت جذب زیاد می‌باشد (جدول ۱) و از طرفی این عناصر، به‌خصوص آهن و روی، در ساختار این آنزیم‌ها شرکت دارند. از این‌رو، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها را می‌توان به وجود این عناصر در ورمی‌کمپوست و جذب آن توسط گیاه نسبت داد (۳۰). تعامل هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست با سیستم ریشه‌ای گیاه، از طریق گروه‌های عاملی مختلف نظیر آلکیل، کربوکسیلیک و کربونیل موجب بهبود فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی و فعال شدن عملکرد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود و در نتیجه مقدار رادیکال‌های آزاد (محتوای پراکسیدهیدروژن) را کنترل می‌کند. به‌نظر می‌رسد که هیومیک اسید، سیستم دفاعی ضد تنش در گیاهان را افزایش می‌دهد (۱۵). در این زمینه کایا و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط تنش شوری، از طریق بهبود جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برگ ذرت شد (۳).

محتوای پراکسید هیدروژن: نتایج نشان داد که بیش‌ترین محتوای پراکسیدهیدروژن (۰/۳۵٦ و ۰/۳۳۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب در عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید، عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین محتوای این صفت (۰/۲۳٤ و ۰/۲٤٦ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium* در شرایط عدم اعمال شوری، و کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در گیاه تریتیکاله به‌دست آمد (جدول ۵). گزارش شده است که وجود پراکسیدهیدروژن در غلظت‌های متوسط، به‌عنوان مولکول سیگنال عمل نموده و در سنتز پیش‌ماده‌های پروتئین دیواره سلولی مشارکت دارد. اما در غلظت‌های بالا برای گیاه سمی بوده و آسیب‌های اکسیداتیو را به‌دنبال دارد (۵). از طرفی، در مواجهه گیاه با تنش‌هایی نظیر خشکی و شوری، روزنه‌ها به‌منظور حفظ رطوبت موجود و جلوگیری از اتلاف آب بسته می‌شود. در این شرایط نه تنها تبادل گازی کاهش می‌یابد بلکه تولید گونه‌های فعال اکسیژن از جمله پراکسیدهیدروژن افزایش می‌یابد (۳۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی تریتیکاله تحت تنش شوری.

Table 2- Analysis of variance of the effect of organic and biofertilizers and humic acid on grain yield and some biochemical traits of triticale under salinity stress.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات M.S								
		کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidation	اکسیدازپلی‌فنل Polyphenol oxidase	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	مالون‌دی‌آلدهید MDA	پراکسیدهیدروژن H_2O_2	آنتوسیانین Anthocyanin	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	317.55**	11439.7**	1919.9**	4.712**	2589.4**	0.0014**	0.00038^{ns}	0.000035**	5.5**
شوری (S) Salinity	2	666.19**	2858.7**	973.44**	18.334**	1931.2**	0.0076**	0.0209**	0.000097**	1.3**
کودهای آلی و زیستی (B) Organic and biofertilizers	3	386.01**	1145.2**	606.03**	11.029**	994.73**	0.0046**	0.0245**	0.000045**	1.9**
اسید هیومیک (H) Humic acid	1	158.62**	580.66**	258.7**	2.75**	221.20**	0.0021**	0.0075**	0.000020**	0.5**
S×B	6	10.35**	37.30**	24.15**	0.670**	48.24**	0.00034**	0.00117**	0.0000028**	0.02**
S×H	2	0.112^{ns}	45.08**	4.012*	0.0319^{ns}	0.374^{ns}	0.00019**	0.000034^{ns}	0.00000001^{ns}	0.06**
B×H	3	1.938^{ns}	2.470^{ns}	8.317**	0.0907^{ns}	4.928*	0.000057*	0.00078*	0.0000036**	0.006^{ns}
S×B×H	6	10.575**	32.02**	19.128**	0.141*	8.251**	0.000099**	0.00037^{ns}	0.0000015**	0.02**
خطا Error	46	1.05	3.42	1.240	0.048	1.68	0.00001	0.00024	0.00000033	0.005

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین تأثیر کودهای آلی و زیستی، هیومیک اسید و شوری بر عملکرد دانه و برخی صفات بیوشیمیایی تریتیکاله.

Table 3- Means comparison of the effect of organic and biofertilizers, humic acid and salinity stress on grain yield and some biochemical traits triticale.

تیمار Treatments	کاتالاز CAT	پراکسیداز POD	پلی‌فنل‌اکسیداز PPO	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble sugars	مالون‌دی‌آلدهید MDA	آنتوسیانین Anthocyanin	عملکرد دانه Grain yield
	تغییرلت جذب بر میکروگرم پروتئین در دقیقه (OD µg protein/min)			میکروگرم بر گرم وزن تر (µg g^{-1}FW)	میلی گرم بر گرم وزن تر (mg g^{-1}FW)	میکرومول بر گرم وزن تر برگ (µmol.gFW^{-1})		گرم در بوته (g per plant)
$S_1×B_1×H_1$	34.91^{m}	79.61^{m}	50.95^{o}	6.50^{n}	71.61^{n}	0.190^{c}	0.014^{k}	2.2^{hi}
$S_1×B_2×H_1$	35.95^{lm}	80.16^{m}	53.38^{n}	6.65^{lmn}	72.70^{mn}	0.170^{gh}	0.014^{k}	2.35^{fg}
$S_1×B_3×H_1$	39.88^{j}	86.84^{jk}	59.15^{l}	6.86^{klmn}	78.49^{k}	0.157^{i}	0.015^{ijk}	2.51^{de}
$S_1×B_4×H_1$	40.54^{ij}	94.88^{h}	61.84^{k}	7.25^{hij}	86.04^{i}	0.135^{k}	0.016^{hij}	3.1^{a}
$S_1×B_1×H_2$	38.90^{kl}	82.49^{kl}	52.05^{m}	6.58^{mn}	72.93^{mn}	0.176^{f}	0.014^{k}	2.42^{efg}
$S_1×B_2×H_2$	37.59^{k}	84.02^{kl}	55.34^{m}	7.00^{ijkl}	76.33^{i}	0.144^{j}	0.015^{ihj}	2.6^{cd}
$S_1×B_3×H_2$	41.80^{hi}	88.15^{j}	65.17^{ij}	7.31^{ghi}	81.50^{j}	0.136^{k}	0.016^{gh}	2.9^{b}
$S_1×B_4×H_2$	47.97^{ef}	97.12^{gh}	67.097^{gh}	8.180^{f}	91.42^{g}	0.129^{l}	0.017^{ef}	3.12^{a}
$S_2×B_1×H_1$	37.83^{k}	83.74^{l}	56.56^{m}	6.616^{mn}	73.32^{mn}	0.194^{bc}	0.015^{jk}	1.9^{jkl}
$S_2×B_2×H_1$	42.68^{h}	87.77^{j}	60.80^{kl}	7.612^{g}	84.73^{i}	0.190^{cd}	0.017^{fg}	2^{j}
$S_2×B_3×H_1$	45.04^{g}	91.20^{i}	63.81^{j}	8.24^{f}	88.31^{h}	0.184^{ed}	0.016^{hij}	2.39^{efg}
$S_2×B_4×H_1$	49.15^{e}	101.8^{ef}	72.08^{cd}	8.66^{de}	94.44^{ef}	0.159^{i}	0.018^{cd}	2.7^{c}
$S_2×B_1×H_2$	38.90^{jk}	84.5^{kl}	55.63^{m}	6.91^{jklm}	74.71^{lm}	0.191^{c}	0.015^{ijk}	2.17^{i}
$S_2×B_2×H_2$	46.59^{fg}	96.23^{h}	66.91^{ghi}	8.24^{f}	92.41^{fg}	0.176^{f}	0.017^{ef}	2.31^{gh}
$S_2×B_3×H_2$	48.85^{e}	99.77^{fg}	69.69^{ef}	8.31^{ef}	90.61^{g}	0.173^{fg}	0.018^{cef}	2.47^{ef}
$S_2×B_4×H_2$	52.37^{acd}	110.9^{cd}	73.40^{bc}	8.90^{cd}	96.64^{cd}	0.144^{j}	0.020^{b}	2.97^{b}
$S_3×B_1×H_1$	40.25^{ij}	89.26^{ij}	59.61^{l}	7.10^{ijk}	84.37^{i}	0.199^{a}	0.016^{ghi}	1.84^{l}
$S_3×B_2×H_1$	48.01^{ef}	104.7^{e}	68.78^{efg}	8.45^{ef}	94.79^{ed}	0.197^{ab}	0.020^{b}	1.99^{ijk}
$S_3×B_3×H_1$	51.08^{cd}	107.9^{d}	70.54^{ed}	9.17^{bc}	98.54^{c}	0.192^{bc}	0.018^{cde}	2.3^{gh}
$S_3×B_4×H_1$	53.43^{abd}	115.4^{ab}	75.08^{ab}	9.62^{a}	$10.1.8^{b}$	0.182^{e}	0.021^{a}	2.45^{ef}
$S_3×B_1×H_2$	45.44^{g}	104.4^{e}	68.43^{fgh}	7.56^{gh}	90.64^{g}	0.197^{ab}	0.017^{ef}	1.87^{kl}
$S_3×B_2×H_2$	51.74^{cd}	111.1^{c}	74.90^{ab}	9.17^{bc}	98.58^{c}	0.193^{ab}	0.019^{d}	2^{j}
$S_3×B_3×H_2$	53.84^{ab}	114.5^{b}	74.04^{ab}	9.48^{ab}	101.3^{b}	0.192^{bc}	0.021^{a}	2.42^{efg}
$S_3×B_4×H_2$	54.07^{a}	118.2^{a}	75.41^{a}	9.75^{a}	104.1^{a}	0.199^{h}	0.022^{a}	2.5^{de}
LSD	1.69	2.04	1.83	0.36	2.13	0.005	0.0009	0.1224

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم شوری و شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium*، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium*. H_1 و H_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر هیومیک اسید. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 50 and 100 mM respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Flabacterium* and application of both vermicompost and *Flavbacterium* respectively. H_1 and H_2 are no foliar application and foliar application of 2 $g.L^{-1}$ humic acid respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

یانگ و همکاران (۲۰۱۳) اظهار داشتند که باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد از طریق تولید فاکتورهای آنتی‌اکسیدانی یا تعدیل کردن فتوسنتز، خسارت گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش و می‌توانند گیاه را در برابر حضور این گونه‌های فعال اکسیژن حمایت و از آسیب وارده جلوگیری کنند (۳۲). گورورانی و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیان کردند که کاربرد باکتری تحت شرایط تنش شوری با افزایش بیان ژن mRNA آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ضمن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید شد (۳۳). شیرانی بیدآبادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای پرولین، موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید شد (۱).

هیومیک اسید از طریق گروه‌های عاملی مختلف نظیر آلکیل، کربوکسیلیک و کربونیل موجب بهبود فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی شد که با حذف گونه‌های فعال اکسیژن (محتوای پراکسیدهیدروژن)، محتوای مالون‌دی آلدهید را کاهش داد (۱۵). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در بالاترین سطح شوری (۱۰۰ میلی‌مولار) با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) (جدول ٤) و محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) (جدول ٤)، موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن (جدول ٥ و ٦) شد.

محتوای مالون‌دی‌آلدهید: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد کودهای آلی و زیستی، محلول‌پاشی هیومیک اسید، تنش شوری و برهم‌کنش توأم این سه عامل بر محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ پرچم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین محتوای مالون‌دی‌آلدهید (۰/۱۹۹ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کم‌ترین محتوای این صفت (۰/۱۲۹ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه ترتیکاله به‌دست آمد (جدول ٤). تحت شرایط تنش گیاهان تعدادی از گونه‌های فعال اکسیژنی مانند سوپر اکسید، پراکسید هیدروژن، رادیکال‌های هیدروکسیل و اکسیژن منفرد تولید می‌کنند (۳٤). در اثر افزایش شدت تنش و با افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال، ساختار غشا آسیب دیده و لیپیدهای آن آزاد می‌شود که موجب افزایش مالون‌دی‌آلدهید می‌شود، وجود سیستم دفاع آنتی‌اکسیدان توانمند موجب کاهش گونه‌های اکسیژن فعال[1] (ROS) شده و به نوعی می‌تواند موجب کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شود (۳۵). از این‌رو، به نظر می‌رسد بخشی ازکاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید با کاربرد کودهای آلی و زیستی (اعم از ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و هیومیک اسید در شرایط شوری، ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد. طوری که کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار، از افزایش به‌ترتیب ٥٤/٨٨، ٤٨/٤٧ و ٤٨ درصد فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه تریتیکاله برخوردار بود (جدول ٤). گرورانی و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که کاربرد باکتری تحت شرایط تنش شوری از طریق افزایش بیان ژن

1. Reactive Oxygen Species

mRNA آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب کاهش پراکسیدهیدروژن، و به تبع آن کاهش مالوندی‌آلدهید شده است (۳۳). شیرانی بیدآبادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و افزایش محتوای پرولین موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالوندی‌آلدهید شد (۱). در بررسی مام‌نبی و همکاران (۲۰۲۰) نیز کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط خشکی موجب بهبود محتوای فسفر و نیتروژن برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول) شد، که با کاهش محتوای مالوندی‌آلدهید موجب بهبود پایداری غشا و محتوای کلروفیل برگ و در نهایت افزایش عملکرد دانه کلزا شد (۳۶). کایا و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط تنش شوری از طریق بهبود جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین برگ ذرت شد، که با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن، محتوای مالوندی‌آلدهید برگ ذرت را کاهش داد (۳). هیومیک اسید به‌دلیل اثری که بر سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی دارد می‌تواند موجب کاهش آسیب به غشاهای سلولی و در نتیجه کاهش تجمع مالوندی‌آلدهید در گیاهان شود (۳). در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) (جدول ٤)، محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) (جدول ٤) و آنتوسیانین (جدول ٤)، موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن (جدول ٥ و ٦) و در نهایت محتوای مالوندی‌آلدهید (جدول ٤) شد.

جدول ٥- مقایسه میانگین تأثیر کودهای آلی و زیستی، هیومیک اسید و تنش شوری بر محتوای پراکسیدهیدروژن برگ پرچم تریتیکاله.

Table 4- Means comparison of the effect of organic and bio fertilizers, humic acid and salinity stress on hydrogen peroxide content flag leaf triticale.

جتیمار Treatments		محتوای پراکسیدهیدروژن (میکرومول بر گرم وزن تر) Hydrogen peroxide content (µmol/gFW)				
		سطوح شوری Salinity levels			هیومیک اسید Humic acid	
		S_1	S_2	S_3	H_1	H_2
کودهای آلی و زیستی Organic and biofertilizers	B_1	0.321^{cd}	0.351^{ab}	0.356^{a}	0.35^{a}	0.335^{a}
	B_2	0.259^{gh}	0.307^{de}	0.341^{abc}	0.323^{ab}	0.282^{cd}
	B_3	0.259^{gh}	0.277^{fg}	0.329^{bcd}	0.249^{bc}	0.282^{cd}
	B_4	0.234^{i}	0.242^{hi}	0.284^{ef}	0.26^{de}	0.246^{e}
LSD		0.0232			0.0299	

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم شوری و شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium*، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و *Flavobacterium*. H_1 و H_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر هیومیک اسید. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 50 and 100 mM respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Flabacterium* and application of both vermicompost and *Flabacterium* respectively. H_1 and H_2 are no foliar application and foliar application of 2 $g.L^{-1}$ humic acidrespectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

محتوای پرولین: نتایج نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش ۵۰٪ محتوای پرولین نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه تریتیکاله شد

(جدول ٤). افزایش محتوای پرولین ناشی از افـزایش شوری را می‌توان چنین توجیه کرد که آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحـت تـنش شـوری، فعـال شـده و سـنتز پرولین افزایش می‌یابـد، زیـرا سـدیم کلریـد موجـب تحریک ژن‌های سنتزکننده این آنزیم‌ها می‌شـود (۳۷). از طرفی، تولید بیش‌تر پرولین در تیمار بذر با بـاکتری نسبت به تیمـار شـاهد ممکـن اسـت بـه‌دلیـل تولیـد هورمون آبسیزیک اسید توسط این میکروارگانیسـم‌هـا باشد، زیرا این هورمون، تولید اسیدهای آمینه بـه‌ویـژه پرولین را افزایش داده و مقاومت گیاه به تنش را بهبود می‌بخشد (۱۰). مام نبـی و همکـاران (۲۰۲۰) اظهـار داشتند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شـرایط تـنش بـا بهبود محتـوای فسـفر و نیتـروژن و افـزایش فعالیـت آنزیم‌های آنتـی‌اکسـیدانی موجـب افـزایش محتـوای پـرولین بـرگ کلـزا شـد (۳٦). کریمـی و همکـاران (۲۰۱٦) نیز بیان کردند که محلول‌پاشی هیومیک اسید از طریق ایجاد شرایط مناسب برای افـزایش محتـوای نیتروژن، میزان تولید ترکیبات آلی نیتـروژن‌دار هماننـد پروتئین و اسیدهای آمینه از جمله پـرولین را در گیـاه گلرنگ افزایش می‌دهد (۱۹).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر اصلی کاربرد کودهای آلی و زیستی، هیومیک اسید و شوری بر محتوای پراکسیدهیدروژن برگ پرچم تریتیکاله.

Table 5- Means comparison of the main effect of organic and bio fertilizers, humic acid and salinity stress on hydrogen peroxide in content flag leaf of triticale.

تیمار Treatments	محتوای پراکسیدهیدروژن میکرومول بر گرم وزن تر) content of hydrogen peroxide (µmol/gFW)
سطوح شوری Salinity levels	
S_1	0.268[c]
S_2	0.294[b]
S_3	0.327[a]
LSD	0.0091
کودهای آلی و زیستی Organic and biofertilizers	
B_1	0.343[a]
B_2	0.302[b]
B_3	0.288[c]
B_4	0.253[d]
LSD	0.0105
هیومیک اسید Humic acid	
H_1	0.307[a]
H_2	0.286[b]
LSD	0.0074

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم شوری و شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار. B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی، کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobacterium*، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و*Flavobacterium*. H_1 و H_2 به‌ترتیب عدم محلول‌پاشی و محلول‌پاشی دو گرم در لیتر هیومیک اسید. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 50 and 100 mM respectively. B_1, B_2, B_3 and B_4 are no application of organic and bio fertilizers, application of vermicompost, *Flabacterium* and application of both vermicompost and *Flabacterium* respectively. H_1 and H_2 are no foliar application and foliar application of 2 $g.L^{-1}$ humic acidrespectively. Means with similar letters in each column are not significantly different according by LSD test.

محتوای قندهای محلول: نتایج تجزیه واریانس نشـان داد که تأثیر کودهای آلـی و زیسـتی، هیومیـک اسـید، شوری و برهم‌کنش توأم این سـه عامـل بـر محتـوای قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنـی‌دار شـد (جـدول ۳). کـاربرد تـوأم ورمـی‌کمپوسـت، *Flavobactrium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحـت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار از بیش‌تـرین محتـوای قندهای محلول (۱۰٤/۱ میلی‌گرم برگرم وزن تر برگ)

برخوردار بود (جدول ٤)، به‌طوری که این ترکیب تیماری موجب افزایش ٤٥/٣٧ درصدی محتوای قندهای محلول نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه تریتیکاله شد (جدول ٣). تجمع قندهای محلول در زمان تنش می‌تواند به‌علت تخریب قندهای غیرمحلول، توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی باشد (٣٩). در شرایط تنش‌زای محیطی گیاهان متابولیسم قندها را افزایش می‌دهند. با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و اختلال در سرعت تعرق برگ، موجب تغییرات فراساختاری در اندامک‌های سلول و تغییر در رفتار آنزیم‌های کلیدی از جمله مسیر متابولیسم قند می‌شود. با تجمع قندهای محلول، گیاه ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه سلول در شرایط محیطی تحت تنش، در حد مطلوب نگه می‌دارد (٤٠). به‌نظر می‌رسد دلیل دیگر تأثیر باکتری‌ها در افزایش محتوای قند، افزایش سطح هورمون‌های گیاهی مانند سیتوکینین و جیبرلین در گیاهان تلقیحی باشد. افزایش در میزان این هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین می‌تواند با انتقال یون‌های موثر در باز شدن روزنه‌ها و تنظیم سطح کلروفیل، موجب افزایش و بالا رفتن سرعت فتوسنتز و در نهایت افزایش محتوای کربوهیدرات‌ها در گیاه شود (٤١). به‌نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود حاصلخیزی خاک و جذب بهتر آب، و فراهم نمودن عناصر ضروری گیاه (جدول ٢)، منجر به تقویت فتوسنتز و افزایش زیست توده گیاهی می‌شود و از طرف دیگر، ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود بخشیده و موجب رشد بهتر ریشه، تسریع واکنش‌های متابولیسمی، افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌ها از جمله کربوهیدارت‌ها می‌شود (٤٢). ورمی‌کمپوست با افزایش عناصر غذایی در خاک، باعث افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو و بهبود فتوسنتز و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شوند (٤٣). نردی و همکاران (٢٠٠٢) اظهار داشتند که اسید هیومیک دارای فعالیت شبه هورمونی است و با افزایش جذب عناصر معدنی همانند فسفر و پتاسیم در گیاهان، موجب بهبود فتوسنتز و افزایش مقدار قند تولیدی می‌شود (٤٤).

محتوای آنتوسیانین: نتایج نشان داد که عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobactrium* و هیومیک اسید در شرایط شوری ١٠٠ میلی‌مولار موجب افزایش ٥٧/١٤ درصد محتوای آنتوسیانین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری در گیاه تریتیکاله شد (جدول ٤). آنتوسیانین‌ها از رنگیزه‌های محافظ بوده و افزایش محتوای آن ضمن حذف مستقیم گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش اکسیداتیو، گیاه را در برابر تنش محافظت می‌کند (٤٥). کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین می‌شود (٤٦). بخشی از افزایش محتوای آنتوسیانین در کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند ناشی از وجود مقادیر بالایی از عناصر منیزیوم و کلسیم در ورمی کمپوست باشد (جدول ٢). در این زمینه ویتراک و همکاران (٢٠٠٠) نیز علت افزایش محتوای آنتوسیانین در کاربرد کودهای آلی و زیستی را به جذب بهتر منیزیم و کلسیم در حضور این کودها نسبت دادند (٤٧). به‌نظر می‌رسد افزایش معنی‌دار محتوای آنتوسیانین با کاربرد هیومیک اسید تأییدکننده اثربخشی این ترکیب بر تحریک سنتز آنتوسیانین است، خواص شبه جیبرلینی ماده هیومیک موجب تحریک آلفا آمیلاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیتیک می‌شود که در افزایش سطح کربوهیدرات و آنتوسیانین گیاه موثر است (٤٨).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر کودهای آلی و زیستی، هیومیک اسید، شوری و

برهم‌کنش توأم این سه عامل بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه ترتیکاله (۳/۱۲ گرم در بوته) در کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobactrium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید تحت شرایط عدم اعمال شوری بود (جدول ٤)، که این ترکیب تیماری موجب افزایش ٦٩/٥٦٪ عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شد (جدول ٤). به‌نظر می‌رسد بخشی از بهبود عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از تأثیر کودهای آلی و زیستی در بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) (جدول ۳)، محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای محلول) (جدول۳) و آنتوسیانین (جدول۳) باشد که موجب کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید (جدول ٤، ٥ و ٦) شد. در این زمینه آقایی (۲۰۱۹) اظهار داشت که تنش شوری با افزایش محتوای پراکسیدهیدروژن، موجب اختلال در سیستم فتوسنتزی و در نهایت کاهش عملکرد دانه گندم شد ولی کاربرد کودهای آلی و زیستی از جمله باکتری‌های محرک رشد تحت تنش شوری از طریق بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول)، محتوای آنتوسیانین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید موجب افزایش عملکرد دانه شد (٤٩). برقی و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق بهبود محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول)، محتوای آنتوسیانین و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید موجب افزایش عملکرد خردل سیاه می‌شود (۵۰). مام نبی و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در شرایط تنش از طریق بهبود محتوای فسفر و نیتروژن برگ و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسمولیت‌های سازگار (محتوای پرولین و قندهای محلول)، موجب بهبود پایداری غشا و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید و در نهایت افزایش عملکرد دانه کلزا شد (۳٦). تیموری و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که محلول‌پاشی هیومیک اسید از طریق بهبود جذب اهن و روی و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین، موجب افزایش عملکرد گندم شد (۵۱). همچنین، محققین اظهار داشتند که کاربرد هیومیک اسید با بهبود محتوای پرولین (۵۲) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (۵۳) موجب افزایش عملکرد دانه گندم تحت شرایط شوری شد (۵۳).

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد توأم ورمی‌کمپوست، *Flavobactrium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در بالاترین سطح شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین، پرولین و قندهای محلول برگ پرچم تریتیکاله شد که با کاهش محتوای پراکسیدهیدروژن موجب حفظ ساختار غشا و کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدهید شد. همچنین، کاربرد ورمی‌کمپوست، *Flavobactrium* و محلول‌پاشی هیومیک اسید در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش ٦٩/٥٦ درصد عملکرد دانه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید تحت شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار شد. به‌نظر می‌رسد کاربرد کودهای آلی و زیستی و هیومیک اسید می‌تواند با بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل‌اکسیداز) و محتوای اسمولیت‌های سازگار (پرولین و قندهای

محلول)، عملکرد دانه تریتیکاله را تحت شرایط تـنش شوری افزایش دهد.

منابع

1. Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S. and Kirdmanee, C. 2011. Salt stress induced ion accumulation ion homeostasis membrane injury and sugar contents in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. indica). roots under is oosmotic conditions. Afr. J. Biotechnol. 10: 8. 1340-1346.
2. Ashraf, M. and Ali, Q. 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as thevkey determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). J. Environ. Exp. Bot. 63: 1-3. 266-273.
3. Kaya, C., Akram, N., Ashraf, M. and Sonmez, O. 2018. Exogenous application of humic acid mitigates salinitystress in maize (*Zea mays* L) plants by improving some key physicobiochemical attributes. Cereal Res. Commun. 46: 1. 67-78.
4. Bandeoglu, E., Egidogan, F., Yucel, M. and Avni Oktem, M. 2004. Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl salinity stress. Plant Growth Regul. 42: 1. 69-77.
5. Shafiq, F., Iqbal, M., Ali, M. and Ashraf, M.A. 2021. Fullerenol regulates oxidative stress and tissue ionic homeostasis in spring wheat to improve net-primary productivity under salt-stress. Ecotoxicol. Environ. Saf. 211: 111901. 1-10.
6. Popova, L.P., Maslenkova, L.T., Yordanova, R.Y., Ivanova, A.P., Krantev, A.P., Szalai, G. and Janda, T. 2009. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings. Plant Physiol. Biochem. 47: 3. 224-231.
7. Kirchner, M.J., Wollum, A.G. and King, L.D. 1993. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. Soil. Sci. Soc. Am. J. 57: 129-1295.
8. Enebe, M.C. and Babalola, O.O. 2018. The influence of plant growth-promoting rhizobacteria in plant tolerance to abiotic stress: a survival strategy. Appl. Microbiol. Biotechnol. 102: 7821-7835.
9. Stamenkovic, C., Beskoski, V., Karabegovic, I., Lazic, M. and Nikolic, N. 2018. Microbial fertilizers a comprehensive review of current findings and future perspectives. Span J. Agric. Res. 16: 1. 210-228.
10. Stamenkovic, C., Beskoski, V., Karabegovic, I., Lazic, M. and Nikolic, N. 2018. Microbial fertilizers a comprehensive review of current findings and future perspectives. Span J. Agric. Res. 16: 1. 210-228.
11. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. and Barmaki, M. 2016. Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes ectivity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. Not Bot Hortic Agrob Cluj-Nap. 44: 1. 116-124.
12. Aghaei, F. 2020. Effect of uniconazole and biofertilizers on grain filling components and some biochemical and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity condition MSc. Thesis Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabil. (In Persian).
13. Barghi, A., Golipoori, A., Ghavidel, A. and Sedghi, M. 2021. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, salicylic acid and *Brassino steroid* on physiological properties of black mustard in cadmium stress condition. JOPPR. 28: 1. 153-168. (In Persian)
14. Mafakheri, S., Omidbaigi, R., Sefidkon, F. and Rejali, F. 2012. Effect of vermicompost biophosphate and azotobacter on quantity and quality of essential oil of (*Dracocephalum moldavica* L.). Ir. J. Med. Aro. Plants. 27: 4. 596-605.
15. Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. and Kumari, U.R. 2008. An experimental study of vermin-biowaste composting for agriculture soil improvement. Bioresour Technol. 99: 6. 1672-1681.

16. Garcia, A.C., Santos, L.A., Izquierdo, F.G., Rumjanek, V.M., Castro dos Santos, F.S., de Souza, L.G.A. and Berbara, R.L.L. 2014. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). J. Geochem. Explor. 136: 48-54.
17. Theunissen, J., Ndakidemi, P.A. and Laubscher, C.P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant on the growth and nutrient status in vegetable production International. Physical Sci. 5: 13. 964-1973.
18. Mousavi Dehmordy, Z., Gholami, M. and Baninasab, B. 2018. Effect of vermicompost fertilizer on growth and drought tolerance of *Olive* (*Olea europaea* L.). J. Plant Proc. Funct. 7: 23. 1-18. (In Persian).
19. Ozfidan-Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M. and Kucukoduk, M. 2018. The humic acid-induced changes in the water status chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. Ecotoxicol. Environ. Saf. 155: 66-75.
20. Khodamoradi, P., Amiri, J. and Dovlat, B. 2018. Influence of humic acid on some antioxidant enzymes activity and compatible metabolites in strawberry (*Fragaria×ananassa Duch*. cv *Sabrina*) under salinity stress. Pomol. Res. 3: 1. 23-35. (In Persian)
21. Seyed Sharifi, R. and Khalilzadeh, R. 2019. Cereal Crop Production. University of Mohaghegh Ardabili Press. 406 p.
22. 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. Plant Sci. 161: 3. 613-619.
23. Dubios, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Roberts, P.A. and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Ann. Chem. 28: 3. 350-356.
24. Wagner, G.J. 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars free amino acids, and anthocyanins in protoplast. Plant Physiol. 64: 1. 88-93.
25. Stewart, R.C. and Beweley, J.D. 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiol. 65: 2. 245-248.
26. 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. Environ. 24: 12. 1337-1344.
27. Bates, L.S., Walderen, R.D. and Taere, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil. 39: 1. 205-207.
28. Mittler, R. 2002. Oxidative stress antioxidants and stress tolerance. Trends Plant Sci. 7: 9. 405-410.
29. Harish, S., Kavino, M., Kumar, N., Saravana Kumar,D., Soorianathasundaram, K. and Samiyappan, R. 2008. Biohardening with plant growth promoting rhizosphere and endophytic bacteria induce systemic resistance against banana bunchy top virus. Appl. Soil Ecol. 39: 2. 187-200.
30. Sepehri, M., Jahandideh Mahjen Abadi, V., Asadi Rahmani, H. and Sadeghi Hosni, A. 2015. Influence of *Rhizobium leguminosarum* b.v. phaseoli bacteria on growth activity of antioxidant enzymes and nutrient uptake of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). under salinity stress. Electron. J. Soil Manag. Sustain. prod. 5: 2. 165-180. (In Persian)
31. Adamipour, N., Heiderianpour, M .B. and Zarei, M. 2016. Application of vermicompost for reducing the destructive effects of salinity stress on tall fescue turfgrass (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Queen'). J Soil Plant Interact Isfahan Univ Technol. 7: 1. 35-47.
32. Luna, C.M., Pastori, G.M., Driscoll, S., Groten, K., Bernard, S. and Foyer, C.S. 2004. Drought controls on H_2O_2 accumulation catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. J. Exp. Bot. 56: 411. 417-423.
33. Young, L.S., Hameed, A., Peng, S.Y., Shan, Y.H. and Wu, S.P. 2013. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia* sp. CC-Al74 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). Appl Soil Ecol. 66: 40-47.

34. Gururani, M., Upadhyaya, C., Baskar, V., Venkatesh, J., Nookaraju, A. and Park, S. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria enhance abiotic stress tolerance in *solanum tuberosum* through inducing changes in the expression of rosscavenging enzymes and improved photosynthetic performance. J. Plant Growth Reg. 32: 2. 245-258.
35. Moller, M., Jensen, P.E. and Hansson, A., 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. Ann. Rev. Plant Biol. 58: 459-481.
36. Zafari, S., Niknam, V., Musetti, R. and Noorbakhsh, N.S. 2012. Effect of phytoplasma infection on metabolite content and antioxidant enzyme activity in lime (*Citrus aurantifolia*). Acta Physiol. Plant. 34: 2. 561-568.
37. 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. J. Biol. Sci. 27: 3. 797-804.
38. Ashrafi, A. and Razmjou, K.H. 2010. Evaluation of hydro priming effect on safflower physiological and biochemical characteristics under drought stress. J. Crop Ecol. Physiol. 1: 1. 34-44.
39. Karimi, A., Tadayyon, A. and Tadayyon, M.R. 2016. The effect of humic acid on some yield characteristics and leaf proline content of safflower under different irrigation regimes. J. Crops Improv. 18: 3. 609-623. (In Persian)
40. Shabala, S. and Munns, R. 2017. Salinity stress physiological constraints and adaptive mechanisms. Plant stress physiol. 2nd edn. CABI, Wallingford. 24-63.
41. Maleki, M., Ghorbanpour, M. and Kariman, K. 2017. Physiological and antioxidative responses of medicinal plants exposed to heavy metals stress. Plant Genet. 11: B. 247-254.
42. Belimove, A.A., Puhalsky, I.V., Safronova, V.I., Shaposhnikov, A.I., Vishnyakova, M.A. and Semenova, E.V.2015. Role of plant genotype and soil conditions in symbiotic plant-microbe interactions for adaptation of plants to cadmium polluted soils. Water Air Soil Pollut. 226: 264. 1-15.
43. 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.). J. Med. Aroma. Plants. 27: 2. 188-201. (In Persian)
44. Lattanzio, V., Cardinali, A., Ruta, C., Fortunato, I.M., Lattanzio, V.M.T. and Linsalata, V. 2013. Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. Environ. Exp. Bot. 65: 1. 54-62.
45. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biol. Biochem. 34: 11. 1527-1536.
46. Zahir, A.Z., Arshad, M. and Frankenberger, W.F. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria: Application and perspectives inagriculture. Adv. Agron. 81: 97-168.
47. Hassan, F.A.S. 2009. Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. Ann. Agric. Sci. 54: 2. 437-446.
48. Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G. and Mérillon, J.M. 2000. Sugar sensing and Ca^{2+} calmodulin requirement in *Vitis vinifera* cells producing anthocyanins. Phytochem. 53: 6. 659-665.
49. Edrisi, B. 2009. Postharvest physiology of cut flowers. Payam Digar. 160 p. (In Persian)
50. Aghaei, F. 2019. Effect of uniconazole and biofertilizers on grain filling components and some biochemical and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil salinity condition MSc. Thesis Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabil. (In Persian).
51. Barghi, A., Golipoori, A., Ghavidel, A. and Sedghi, M. 2021. Effect of plant growth promoting rhizobacteria, salicylic

acid and *Brassino steroid* on physiological properties.

52. Teimoori, N., Heidari, G., Hoseinpanahi F., Siosehmarde, H. and Sohrabi, Y. 2019. Response of physiological characteristics of Sardary wheat ecotypes to foliar application of humic acid before and after flowering in dry land conditions. Plant Prod. Technol. 19: 173-190. (In Persian)
53. Meganid, A.S., Al-Zahrani, H.S. and El-Metwally, M.S. 2015. Effect of humic acid application on growth and chlorophyll contents of common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress conditions. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. 4: 5. 2651-2660.
54. Sharifi Asl, R., Jasemi Manesh, M. and Mirzaei Haydari, M. 2020. The effect of humic acid on growth, yield, and some physiological parameters of wheat under salinity stress. J. Plant Environ. Physiol. 15: 57. 10-22. (In Persian)