



University of Birjand

Journal homepage:
<https://escs.birjand.ac.ir>

تندشگاه محیطی در علوم زراعی
 Environmental Stresses In Crop Sciences

Vol. 16, No. 4, pp. 969-985 (Winter 2024)

Original article

<https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5250.2126>

Effects of bio-fertilizers and putrescine on some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limitation condition

A.R. Mohseni Mohammadjanlou^{1*}, R. Seyed Sharifi², S. Khomari³

1. Ph.D Graduated in Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received 21 April 2022; Accepted 19 July 2022

Extended abstract

Introduction

Water limitation is one of the most important environmental factors in reducing the growth and yield of wheat due to producing reactive oxygen species and reducing membrane stability (El-Tayeb, 2006). Several strategies have been suggested in order to improve grain yield of wheat under water limitation condition, among them use of bio fertilizers and putrescine play a key role in yield improvement. PGPR and Mycorrhiza fungi have the potential to modulate and regulate the physiological and biochemical responses of plants against drought stress, and for this reason, they increase plant survival under environmental conditions (Marasco et al., 2012). Polyamines are another compound that play a significant protective role in plants when environmental stress occurs (Hadi et al., 2016). Foliar of putrescine is able to improve the resistance of plants in oxidative stress and by increasing the activity of antioxidant enzymes, it increases the resistance of plants against oxidative stress (Groppa et al., 2001). A better understanding of physiological responses under water limitation condition may help in programs which the objective is to improve yield of wheat. During the course of these stresses, active solute accumulation of compatible solutes such as proline and the activities CAT, POD and PPO enzymes are claimed to be an effective stress tolerance mechanism. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of bio fertilizers and putrescine on some the physiological and biochemical responses (i.e., antioxidant enzyme activity, soluble sugars, proline, malondialdehyde (MDA) and hydrogen peroxide (H₂O₂) content) of wheat under water limitation.

Materials and methods

A factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm, faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2018-2019. Factors experiment were included irrigation at three levels (full irrigation as control, irrigation withholding in 50% of heading stage and irrigation withholding in 50% booting stage as moderate and severe water limitation respectively) and bio fertilizers at four levels [no bio fertilizer, both application of Pseudomonas Putida Strain 186 and Flavobacterium Spp, both application of Mycorrhiza with Pseudomonas and Flavobacterium, application of Mycorrhiza], and putrescine foliar application in three levels (foliar application with water as control and foliar application 0.5 and 1 mM

* Corresponding author: Alireza Mohseni Mohammadjanlou; E-Mail: alirezamohseni.5687@gmail.com



of putrescine). *Pseudomonas putida* strain 186 and *Flavobacterium* spp were isolated from the rhizospheres of wheat by Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. For inoculation seeds were coated with gum Arabic as an adhesive and rolled into the suspension of bacteria until uniformly coated. The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were 1×10^7 colony forming units (CFU). Mycorrhiza fungi (*Glomus intraradices*) was purchased from the Zist Fanavar Turan institute. The activity of antioxidant enzymes (catalase, peroxidase and polyphenol oxidase) was measured by Sudhakar et al. (2001) method, soluble sugar content by Dubios et al. (1956) method, measurement of malondialdehyde (MDA) by Stewart and Bewley, (1980) and method of Alexieva et al, (2001) was used to measure the hydrogen peroxide. Proline content was measured by Bates et al. (1973) method. Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS9.1 computer software packages. The main effects and interactions were tested using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and discussion

Application of both Mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium* and putrescine foliar application under severe water limitation conditions (irrigation withholding in booting) increased the activity of polyphenol oxidase, peroxidase and catalase enzymes. The highest activity of these enzymes were obtained in irrigation withholding in booting stage with application of both Mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium* and foliar application of 1 mM putrescine and the lowest of values were obtained in full irrigation and no application of bio fertilizers and no putrescine foliar application. The highest rates of proline and soluble sugar were observed under irrigation withholding in heading with the both application of biofertilizers and putrescine and the lowest of them were observed in full irrigation, no application of biofertilizers and no foliar putrescine. Water limitation increased electrical conductivity (EC), malondialdehyde (MDA) and hydrogen peroxide (H_2O_2) content, while application of bio fertilizers and putrescine under water limitation conditions decreased electrical conductivity, malondialdehyde and hydrogen peroxide content. Application of Mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium* and foliar of 1 mM putrescine under severe water limitation decreased malondialdehyde and hydrogen peroxide content about 51 and 31.72% respectively compared to no application biofertilizers and putrescine under same water limitation level. In general, water limitation (irrigation withholding in booting and heading) decreased grain yield compared to full irrigation. application *Pseudomonas* and *Flavobacterium* (23.1%) and both application of Mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium* (16.6%) increased grain yield in comparison with no application of biofertilizers under conditions of irrigation withholding in booting. Foliar application 1 mM of putrescine increased grain yield about 8.5% in comparison with no application putrescine.

Conclusion

It seems that application of bio fertilizers and putrescine can increase grain yield of wheat under water limitation conditions due to improving physiological and biochemical trait.

Keywords: Biofertilizers, Proline, Putrescine, Soluble sugars, Wheat



<https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5250.2126>

مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط محدودیت آبی

علیرضا محسنی محمدجانلو^{۱*}، رئوف سیدشریفی^۲، سعید خماری^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲. استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳. دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده	مشخصات مقاله
به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گندم در شرایط محدودیت آبی، آزمایش فاکتوری بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل، قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی و آبستنی به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی) و کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد میکوریز) و محلول پاشی پوترسین در سه سطح (عدم محلول پاشی، محلول پاشی ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوترسین) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم‌های پلی فنل اکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز، در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین فعالیت آن‌ها در شرایط آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول-پاشی پوترسین به دست آمد. همچنین محتوای پرولین و قندهای محلول نیز تحت شرایط محدودیت آبی افزایش یافت. کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در محدودیت شدید آبی محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن را به ترتیب ۵۱ و ۳۱/۷۲ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین در همان سطح محدودیت آبی، کاهش داد. تحت شرایط قطع آبیاری در آبستنی، عملکرد دانه در کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم (۲۳/۱ درصد) و کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم (۱۶/۶ درصد) در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت چنین شرایطی افزایش یافت. محلول پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با عدم کاربرد پوترسین، عملکرد دانه را حدود ۸/۵ درصد افزایش داد. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و پوترسین می‌تواند به دلیل بهبود صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، عملکرد دانه‌ی گندم را تحت شرایط محدودیت آبی افزایش دهد.	<p>واژه‌های کلیدی: پوترسین قندهای محلول کودهای زیستی گندم</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸</p> <p>تاریخ انتشار: زمستان ۱۴۰۲ ۹۸۵-۹۹۶: ۱۶(۴)</p>

مقدمه

محدودیت آبی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در کاهش رشد و عملکرد گندم محسوب می‌شود که با تولید گونه‌های فعال اکسیژنی و کاهش پایداری غشا بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (El-Tayeb, 2006). در چنین شرایطی برخی گیاهان در هنگام تنش آبی با تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی، به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند.

تجمع مواد محلول (تنظیم اسمزی) در پاسخ به خشکی راهی برای حفظ آماس سلول است (Sanchez et al., 2003). یکی دیگر از راه‌های تعدیل یا کاهش اثر تنش‌ها، کاربرد کودهای زیستی است. این کودها در شرایط تنش از طریق سازوکارهای متعددی موجب افزایش تحمل گندم در برابر تنش خشکی می‌شوند (Kasim et al., 2013). باکتری‌های

محدودیت آبی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در کاهش رشد و عملکرد گندم محسوب می‌شود که با تولید گونه‌های فعال اکسیژنی و کاهش پایداری غشا بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (El-Tayeb, 2006). در چنین شرایطی برخی گیاهان در هنگام تنش آبی با تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی، به تنش‌های مختلف پاسخ می‌دهند.

* نگارنده پاسخگو: علیرضا محسنی محمدجانلو، پست الکترونیک: alirezamohseni.5687@gmail.com

بر بهبود مقاومت آنتی‌اکسیدانی گندم تحت شرایط کم‌آبی، بالاترین فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز را در شرایط محلول‌پاشی با پوترسین و قطع آبیاری در مرحله پر شدن و کمترین این فعالیت را در شرایط آبیاری کامل و عدم کاربرد پوترسین گزارش کردند (Karimi et al., 2014). کاربرد پلی‌آمین روی برنج تحت تنش کم‌آبی موجب کاهش پراکسید هیدروژن شد و از این طریق، ضمن جلوگیری از تخریب پروتئین‌ها و پراکسیداسیون غشاء، مقاومت به تنش آبی را افزایش داد (Farooq et al., 2009). همچنین کاربرد پوترسین در بهبود صفات مورفولوژیکی (ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد ساقه و ریشه و زیست‌توده گیاه) و خصوصیات فیزیولوژیکی گندم افزایش نشان داده است (Mostafa et al., 2010).

محدودیت آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در کاهش عملکرد محسوب می‌شوند از این‌رو در چنین شرایطی استفاده از روش‌هایی که موجب کاهش یا تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی شوند ضروری به نظر می‌رسند. در این راستا به دلیل اهمیت گندم به‌عنوان یکی از محصولات اساسی و استراتژیک کشور و نقش کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از تنش و نبود بررسی‌های انجام‌شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر کودهای زیستی و محلول‌پاشی پوترسین بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی گندم در شرایط قطع آبیاری در مراحل زایشی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. اقلیم محل اجرای آزمایش بر اساس طبقه‌بندی آمبروزه از نوع نیمه‌خشک سرد است. مشخصات جوی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

عوامل موردبررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله سنبله‌دهی

محرك رشد^۱ (PGPR) و قارچ‌های میکوریزا از پتانسیل مناسبی در جهت تعدیل و تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه در برابر تنش خشکی برخوردار بوده و به همین دلیل موجب افزایش بقای گیاه تحت شرایط محیطی می‌شوند (Marasco et al., 2012). بررسی‌های انجام‌شده در شرایط محدودیت آبی نشان داد همزیستی با قارچ میکوریزا ضمن افزایش رشد و عملکرد گیاهان، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای ترکیباتی نظیر پرولین را نسبت به گیاهان تلقیح نشده، بیشتر افزایش می‌دهند (Porcel and Ruiz-Lozano, 2004). نتایج بررسی‌ها نشان دادند باکتری سودوموناس موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز و کاهش محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدئید شد (Islam et al., 2014). بررسی اثر باکتری‌های محرك رشد در گیاه ماش تحت تنش شوری نشان داد بوته‌های تلقیح شده با باکتری-های محرك رشد در مقایسه با شاهد (بوته‌های تلقیح نشده)، از فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بالاتر و از محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن کمتری برخوردار بودند (Islam et al., 2016). برخی پژوهشگران علت افزایش رشد و عملکرد گیاهان در باکتری‌های محرك رشد حاوی ACC دآمیناز^۲ را، به نقش آن‌ها در اتصال به ریشه‌های گیاهان تحت تنش نسبت دادند که به‌طور چشم‌گیری مقاوم به اثر اتیلن تنشی هستند که در نتیجه‌ی شرایط خشکی ساخته می‌شوند (Zahir et al., 2007). از این‌رو تلقیح بذر با این باکتری‌ها می‌تواند ساخت اتیلن درونی را کاهش و تحمل گیاه به تنش را افزایش دهد (Glick, 2014).

پلی‌آمین‌ها یکی دیگر از ترکیباتی است که به هنگام وقوع تنش‌های محیطی، نقش حفاظتی قابل‌ملاحظه‌ای در گیاه ایفا می‌کنند. این ترکیبات می‌توانند به‌عنوان اسمولیت عمل نموده و با اتصال به فسفولیپیدهای غشایی، موجب پایداری غشاهای پلاسمایی شوند (Hadi et al., 2016). محلول‌پاشی پوترسین قادر به بهبود مقاومت گیاهان در تنش اکسیداتیو شده و با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو می‌شود. عقیده بر این است که پیش تیمار گیاهان با پوترسین نیز مقاومت گیاه در برابر تنش اکسیداتیو را افزایش می‌دهد (Groppa et al., 2001). محققین در بررسی اثر محلول‌پاشی پوترسین

² 1-Amino Cyclopropane-1-Carboxylate

¹ Plant Growth Promoting Rhizobacteria

مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به روش استاندارد و توصیه شده جیانینازی (Gianinazzi et al., 2002) به کار برده شد. رقم مورد کشت رقم آبی گاسکوژن (Gascogen) بود که از شرکت تعاونی تولیدی پیراقوم اردبیل تهیه شد. این رقم پابلند، با تیپ رشد زمستانه، مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوائی بسیار خوب قرار دارد. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول دو متر با فواصل بین ردیفی ۲۵ سانتی متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود. محلول پاشی با پوترسین (محصول شرکت Sigma با خلوص ۹۹ درصد) بعد از مرحله ساقه‌رویی و قبل از قطع آبیاری در مرحله آبستنی (۱۸۸ روز بعد از کاشت) انجام شد. به دلیل حلالیت بهتر پوترسین در آب، ابتدا در آب دیونیزه به صورت معلق درآمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول شد (Prasad et al., 2012). آبیاری کامل بر اساس نیاز گیاه زراعی و مطابق با عرف متداول و مرسوم زارعین محلی انجام شد (جدول ۳).

و قطع آبیاری در ۵۰٪ مرحله آبستنی به ترتیب به عنوان محدودیت ملایم و شدید آبی بر اساس کد ۵۵ و ۴۳ مقیاس BBCH)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد میکوریز) و محلول پاشی پوترسین در سه سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، کاربرد ۵/۰ و ۱ میلی مولار) بودند. قارچ میکوریز گونه *Glomus Intraradicese* و باکتری سودوموناس از گونه *Pseudomonas Putida Strain 186* و فلاوباکتریوم *Flavobacterim Spp.* بود. مایه تلقیح باکتری‌ها از موسسه خاک و آب تهیه شد. برای تلقیح بذرها از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای ۱۰^۷ عدد باکتری زنده و فعال بود استفاده شد. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. برای این منظور بذرها به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار گرفتند. کاشت در ۱۱ آبان ۱۳۹۷ انجام شد. میکوریز از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به استناد توصیه شرکت مذکور به میزان ۲۰ گرم در هر

جدول ۱. ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی (مأخذ: اداره کل هواشناسی استان اردبیل)

Table 1. Atmospheric parameters during the period of wheat growth (Source; Ardabil Meteorology Department)

پارامترهای اقلیمی Parameters climatic	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug
بارندگی Rainfall(mm)	9	35.8	32.9	28.4	59.7	25.9	40	29.5	13	0.1	0
میانگین دما (°C) Temperature mean	14.1	7.6	5.7	1.8	2.7	4.1	8	12.4	17.6	18.8	19.7
جمع ساعات آفتابی Sunny hours	193.4	122.3	101	183.5	172.6	173.6	163	258.1	287.7	366	314.1
متوسط رطوبت نسبی (%) Relative humidity mean	76	81	79	68	72	71	73	63	58	62	61

جدول ۲. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Physical and Chemical Characteristics of experimental farm soil

بافت pH	عصاره اشباع EC	آهک SP	رس Lime	سیلت Clay	شن Silt	کربن آلی Sand	N	P	K	Zn		
Texture	dS.m ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
				(%)				mg.kg ⁻¹				
7.8	Loam	2.3	49	14.4	23	42	35	0.62	0.06	8.29	202	1.8

جدول ۳. تاریخ‌های آبیاری

Table 3. Irrigation Date

۱۳۹۷/۰۸/۱۹	۱۳۹۸/۰۱/۲۸	۱۳۹۸/۰۲/۱۴	۱۳۹۸/۰۲/۲۸	۱۳۹۸/۰۳/۱۲	۱۳۹۸/۰۳/۲۸
2018 Nov 10	2019 Apr 17	2019 May 4	2019 May 18	2019 Jun 2	2019 Jun 18

هدایت الکتریکی

نتایج نشان داد که هدایت الکتریکی در طول دوره رشد با گذشت زمان از روند افزایشی برخوردار بود و مقدار آن در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی نسبت به قطع آبیاری در خوشه‌دهی (سنبله‌دهی) و آبیاری کامل، بیشتر بود (شکل ۱ و جدول ۵)، طوری که ۲۲۸ روز پس از کاشت (یا ۲۸ روز بعد از سنبله‌دهی) بیشترین هدایت الکتریکی برگ پرچم (۱۷۱/۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در ترکیب تیماری قطع آبیاری در مرحله آبستنی در شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با پوترسین و کمترین آن (۱۱۱/۷۳ و ۱۱۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) در آبیاری کامل به ترتیب در تیمار کاربرد میکوریز همراه با محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین و کاربرد توأم میکوریز با سودموناتس و فلاوباکتريوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین به دست آمد (شکل ۱ و جدول ۵).

دلیل افزایش هدایت الکتریکی در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از تنش شدید و آسیب وارده بر غشای سلولی، یا تولید گونه‌های فعال اکسیژن و القای تنش اکسیداتیو باشد، ضمن آنکه نزدیک شدن به مرحله رسیدگی و پیر شدن برگ‌ها، این روند را نیز تشدید می‌کند. محمدخانی و حیدری (Mohammadkhani and Heidari, 2007) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به غشای سلولی می‌شوند که در نتیجه‌ی آن، نشت یونی به بیرون از سلول افزایش و هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. در این راستا بررسی محتوای مالون دی‌آلدئید که به‌عنوان محصول نهایی پراکسیداسیون لیپیدهای غیراشباع سلول و یک نشانگر زیستی مناسب، جهت تعیین میزان پراکسیداسیون لیپیدهای ناشی از تنش اکسیداتیو در سلول به‌کار برده می‌شود (Sofa et al., 2004)، نشان می‌دهد در همان ترکیبات تیماری که محتوای مالون دی‌آلدئید حداکثر بوده است (جدول ۹) مقادیر هدایت الکتریکی نیز حداکثر بود. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (جدول ۶، ۷ و ۸) که منجر به کاهش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود موجب کاهش هدایت الکتریکی برگ شده است. نتایج مشابهی نیز دیگر محققان گزارش شده است (Kheirizadeh Arough et al., 2016). بخشی از بهبود هدایت الکتریکی برگ پرچم در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از اثر پوترسین

دیگر سطوح آبیاری بر اساس قطع آبیاری در ۵۰ درصد مرحله آبستنی (۱۹۵ روز بعد از کاشت) و سنبله‌دهی (۲۱۱ روز بعد از کاشت) انجام شد. به‌منظور اطمینان از عدم تداخل آب آبیاری به کرت‌های مجاور، فاصله‌ی بین کرت‌ها یک متر و نیم در نظر گرفته شد. دو هفته بعد از قطع آخرین آبیاری در مرحله سنبله‌دهی بر روی نمونه‌های برگ پرچم در هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری صفات انجام شد. در این راستا برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و پلی‌فنل اکسیداز) از روش سودهکار و همکاران (Sudhakar et al., 2001)، محتوای پرولین برگ با روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) و میزان قند محلول برگ به روش دابویس و همکاران (Dubois et al., 1956) اندازه‌گیری شد. برای سنجش محتوای مالون دی‌آلدئید از روش استوارت و بولی (Stewart and Bewley, 1980) و برای سنجش پراکسید هیدروژن از روش آکسیوا و همکاران (Alexieva et al., 2001) استفاده شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC)، به تعداد ۵ دیسک به قطر یک سانتی‌متر از پهنک‌برگ پرچم هر تیمار در فواصل زمانی هر ۴ روز یک‌بار (بعد از ظهور برگ پرچم که ۲۰۸ روز بعد از کاشت بود) تهیه و در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌متر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه از سطحی معادل یک مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و Excel استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

بر اساس جدول تجزیه واریانس اثر ترکیب آبیاری، کودهای زیستی و پوترسین بر فعالیت آنزیم پراکسیداز و مالون - دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد و بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز، محتوای پرولین و قندهای محلول، پراکسید هیدروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر ترکیب تیماری آبیاری در کودهای زیستی بر عملکرد دانه و فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

اکسیداتیو باشد. بیشترین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز (به ترتیب ۵۷/۱۲ و ۴۱/۳۸ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین و کمترین این مقادیر (به ترتیب ۴۴/۲ و ۲۵/۱۲ تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی با پوترسین به دست آمد (جدول ۸).

در حفظ یکپارچگی و بقای غشای سیتوپلاسمی باشد (Zhang and John, 2005).

آنزیمهای آنتی اکسیدانی

مقایسه میانگینها نشان داد که فعالیت این آنزیمها در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و سنبلهدهی بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود (جدول ۶، ۷ و ۸) که می تواند نشان دهنده آثار تنش بر فعالیت این آنزیمها در کاهش خسارت ناشی از تنش

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی گندم

Table 4. Analysis of variance (Mean square) effect of water limitation, biofertilizers and putrescine on yield and some biochemical traits of wheat

Source of variations	منابع تغییر	درجه آزادی df	پلی فنل اکسیداز PPO	پراکسیداز POD	کاتالاز CAT	پروبلین Proline
Replication	تکرار	2	54.44*	22.4**	123.16**	0.48**
Irrigation	آبیاری	2	3122.21**	876.06**	4525.01**	43.95**
Bio-fertilizers (B)	کود زیستی	3	249.74**	85.56**	365.29**	1.07**
Putrescine (P)	پوترسین	2	286.95**	66.79**	522.39**	1.58**
I*B	کود زیستی × آبیاری	6	27.43*	8.41*	56.23*	0.34**
I*P	پوترسین × آبیاری	4	41.27*	10.46*	14.31 ^{ns}	0.22*
B*P	پوترسین × کود زیستی	6	12.38 ^{ns}	7.43*	19.69 ^{ns}	0.16*
I*B*P	پوترسین × کود زیستی × آبیاری	12	23.96*	8.22**	6.54 ^{ns}	0.16*
Error	اشتباه آزمایشی	70	12.08	3.29	24.22	0.07
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		6.01	5.74	3.54	7.24

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

Source of variations	منابع تغییر	درجه آزادی df	قند محلول Soluble sugars	مالون دی آلدئید MDA	پراکسید هیدروژن H ₂ O ₂	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	2	19.07*	0.006**	0.15 ^{ns}	54505.99**
Irrigation	آبیاری	2	1091.29**	0.39**	62.57**	537940.97**
Bio-fertilizers (B)	کود زیستی	3	132.48**	0.048**	2.4**	188452.2**
Putrescine (P)	پوترسین	2	182.4**	0.025**	2.33**	21509.57*
I*B	کود زیستی × آبیاری	6	31.83**	0.006**	0.5**	15704.62*
I*P	پوترسین × آبیاری	4	23.55**	0.003*	0.24*	1066.19 ^{ns}
B*P	پوترسین × کود زیستی	6	15.98*	0.002*	0.2*	1260.09 ^{ns}
I*B*P	پوترسین × کود زیستی × آبیاری	12	11.16*	0.002**	0.18**	1297.92 ^{ns}
Error	اشتباه آزمایشی	70	5.72	0.001	0.08	5790.02
CV (%)	ضریب تغییرات (%)		5.87	7.02	5.73	12.84

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

*, ** and ns: Significant at 5% and 1% respectively and non-significant

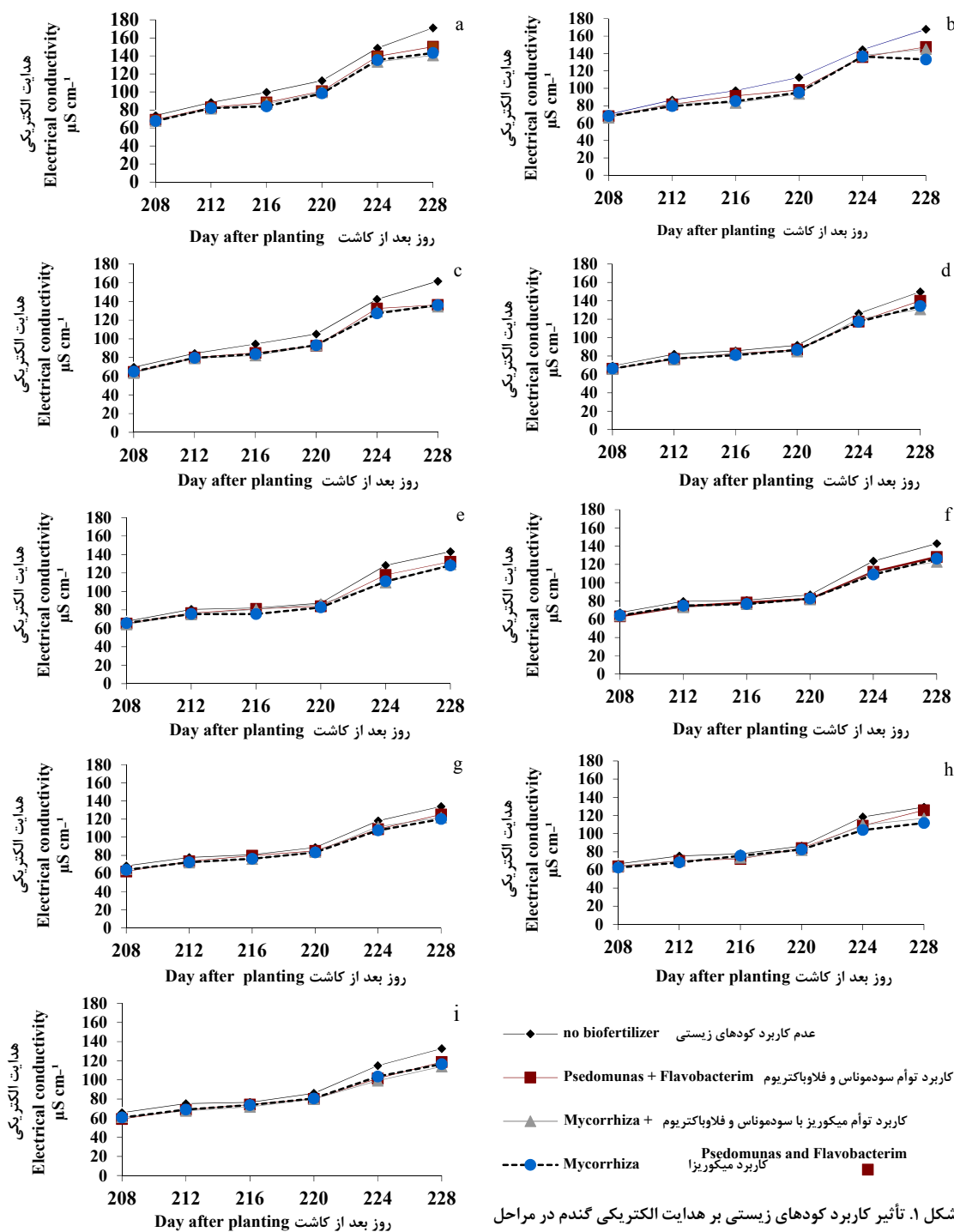


Fig 1. Effect of biofertilizers on electrical conductivity of wheat in different sampling stages under Irrigation withholding in booting + no foliar application (a), Irrigation withholding in booting + 0.5 mM putrescine (b), Irrigation withholding in booting + 1 mM putrescine (c), Irrigation withholding in heading + no foliar application (d), Irrigation withholding in heading + 0.5 mM putrescine (e), Irrigation withholding in heading + 1 mM putrescine (f), Full irrigation + no foliar application (g), Full irrigation + 0.5 mM putrescine (h), and Full irrigation + 1 mM putrescine (i).

شکل ۱. تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر هدایت الکتریکی گندم در مراحل مختلف نمونه‌برداری در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی + عدم محلول‌پاشی (a)، قطع آبیاری در مرحله آبستنی + محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین (b)، قطع آبیاری در مرحله آبستنی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (c)، قطع آبیاری در سنبله‌دهی + عدم محلول‌پاشی (d)، قطع آبیاری در سنبله‌دهی + محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین (e)، قطع آبیاری در سنبله‌دهی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (f)، قطع آبیاری کامل + عدم محلول‌پاشی (g)، آبیاری کامل + محلول‌پاشی ۰/۵ میلی‌مولار پوترسین (h) و آبیاری کامل + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (i).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر هدایت الکتریکی گندم

Table 5. Means comparison of the effect of water limitation, biofertilizers and putrescine on electrical conductivity of wheat

ترکیب تیماری Treatments combination	مراحل نمونه برداری هدایت الکتریکی (روز پس از کاشت) Sampling stages electrical conductivity (Day after planting)					
	208	212	216	220	224	228
	I ₁ ×B ₁ ×P ₁	73.83 ^a	88.33 ^a	99.6 ^a	112.43 ^a	148.63 ^a
I ₁ ×B ₂ ×P ₁	69.03 ^{b-c}	83.03 ^{a-d}	88.33 ^{a-e}	100.9 ^{a-d}	139.43 ^{a-d}	150.13 ^b
I ₁ ×B ₃ ×P ₁	67.73 ^{b-h}	81.33 ^{a-f}	86.73 ^{b-f}	97.76 ^{b-f}	133.43 ^{a-h}	140.6 ^{b-f}
I ₁ ×B ₄ ×P ₁	67.76 ^{b-h}	82 ^{a-e}	84.03 ^{e-i}	98.4 ^{a-e}	135.5 ^{a-g}	143.26 ^{b-d}
I ₁ ×B ₁ ×P ₂	70.0 ^b	86.43 ^{ab}	97.33 ^{ab}	110.23 ^{ab}	144.4 ^{ab}	167.83 ^a
I ₁ ×B ₂ ×P ₂	67.93 ^{b-g}	81.43 ^{a-f}	91.26 ^{a-d}	98 ^{a-f}	135.83 ^{a-f}	147.4 ^b
I ₁ ×B ₃ ×P ₂	66.13 ^{c-k}	82.93 ^{a-d}	83.26 ^{c-k}	93.53 ^{c-h}	137.83 ^{a-d}	145.16 ^b
I ₁ ×B ₄ ×P ₂	68.16 ^{b-f}	79.43 ^{b-i}	85.2 ^{c-h}	95.13 ^{c-g}	136.53 ^{a-e}	133.1 ^{d-i}
I ₁ ×B ₁ ×P ₃	69.66 ^{bc}	84.46 ^{a-c}	94.5 ^{a-c}	105.13 ^{a-c}	142.23 ^{a-c}	161.63 ^a
I ₁ ×B ₂ ×P ₃	64.7 ^{f-m}	80.03 ^{a-h}	84.9 ^{c-i}	92.56 ^{c-h}	132.46 ^{a-h}	136.36 ^{c-g}
I ₁ ×B ₃ ×P ₃	63.43 ^{j-n}	79.16 ^{b-i}	82.16 ^{d-k}	92.8 ^{c-h}	129.2 ^{b-i}	134.36 ^{c-h}
I ₁ ×B ₄ ×P ₃	65.03 ^{f-l}	79.76 ^{a-h}	83.73 ^{c-j}	93.3 ^{c-h}	127.26 ^{b-j}	136.13 ^{c-g}
I ₂ ×B ₁ ×P ₁	69.2 ^{b-d}	82.03 ^{a-e}	85.63 ^{b-g}	91.66 ^{c-h}	126.2 ^{c-k}	149.73 ^b
I ₂ ×B ₂ ×P ₁	66.06 ^{c-k}	76.96 ^{c-k}	82.63 ^{d-k}	87.1 ^{d-h}	117.3 ^{h-n}	140.03 ^{b-f}
I ₂ ×B ₃ ×P ₁	65.86 ^{c-l}	76.1 ^{c-m}	82.9 ^{c-k}	84.9 ^{e-h}	120.26 ^{e-m}	130.76 ^{f-k}
I ₂ ×B ₄ ×P ₁	66.33 ^{b-k}	77.23 ^{c-k}	80.93 ^{d-k}	86.66 ^{d-h}	117.23 ^{h-n}	134.3 ^{c-h}
I ₂ ×B ₁ ×P ₂	67.5 ^{b-i}	80.9 ^{a-g}	82.06 ^{d-k}	87.36 ^{d-h}	128.26 ^{b-j}	143 ^{b-e}
I ₂ ×B ₂ ×P ₂	65.26 ^{e-l}	76.46 ^{c-l}	81.1 ^{d-k}	83.8 ^{f-h}	117.8 ^{h-n}	132.1 ^{e-j}
I ₂ ×B ₃ ×P ₂	64.23 ^{g-n}	75.03 ^{d-m}	80.66 ^{d-k}	86.16 ^{e-h}	109.6 ^{k-o}	129.33 ^{f-l}
I ₂ ×B ₄ ×P ₂	65.66 ^{d-l}	75.53 ^{d-m}	75.46 ^{f-k}	82.7 ^{gh}	111 ^{j-o}	128.13 ^{g-l}
I ₂ ×B ₁ ×P ₃	67.26 ^{b-i}	79.5 ^{b-h}	80.86 ^{d-k}	86.83 ^{d-h}	123.66 ^{d-l}	142.93 ^{b-e}
I ₂ ×B ₂ ×P ₃	63.16 ^{j-n}	74.1 ^{e-m}	78.26 ^{e-k}	82.26 ^{gh}	112 ^{i-o}	128.2 ^{g-l}
I ₂ ×B ₃ ×P ₃	64.0 ^{h-n}	73.23 ^{f-m}	76.56 ^{f-k}	81.66 ^{gh}	111.93 ^{i-o}	122.8 ⁱ⁻ⁿ
I ₂ ×B ₄ ×P ₃	64.1 ^{h-n}	74.9 ^{d-m}	76.73 ^{e-k}	82.66 ^{gh}	108.93 ^{k-o}	126.33 ^{g-m}
I ₃ ×B ₁ ×P ₁	68.33 ^{b-f}	77.73 ^{c-j}	80.6 ^{d-k}	88.66 ^{c-h}	118.1 ^{g-m}	134 ^{d-h}
I ₃ ×B ₂ ×P ₁	62.1 ^{l-o}	73.46 ^{e-m}	79.6 ^{d-k}	84.9 ^{gh}	108.93 ^{k-o}	125.13 ^{h-m}
I ₃ ×B ₃ ×P ₁	64.6 ^{f-m}	72.1 ^{h-m}	75.9 ^{f-k}	83.83 ^{f-h}	111.66 ^{j-o}	121.76 ^{i-o}
I ₃ ×B ₄ ×P ₁	64.03 ^{h-n}	72.4 ^{g-m}	76.3 ^{f-k}	83.23 ^{gh}	107.63 ^{i-o}	120.13 ^{k-o}
I ₃ ×B ₁ ×P ₂	66.6 ^{b-j}	75.36 ^{d-m}	77.7 ^{e-k}	86.16 ^{e-h}	118.36 ^{f-m}	129.23 ^{f-l}
I ₃ ×B ₂ ×P ₂	63.8 ⁱ⁻ⁿ	70 ^{j-m}	72.03 ^{j-k}	84 ^{e-h}	108.73 ^{k-o}	125.73 ^{g-m}
I ₃ ×B ₃ ×P ₂	64.26 ^{g-n}	70.8 ^{i-m}	73.36 ^{j-k}	81.76 ^{gh}	109.53 ^{k-o}	116.76 ^{m-o}
I ₃ ×B ₄ ×P ₂	62.63 ^{k-o}	68.2 ^{l-m}	75.6 ^{f-k}	82.53 ^{gh}	103.93 ^{m-o}	111.73 ^o
I ₃ ×B ₁ ×P ₃	65.8 ^{d-l}	75.16 ^{d-m}	76.53 ^{f-k}	85.96 ^{e-h}	114.93 ^{i-o}	132.66 ^{d-j}
I ₃ ×B ₂ ×P ₃	59.13 ^o	68.7 ^{k-m}	74.26 ^{g-k}	80.7 ^{gh}	101.5 ^{no}	118.66 ^{l-o}
I ₃ ×B ₃ ×P ₃	61.06 ^{m-o}	67.6 ^m	71.8 ^k	79.9 ^h	99.3 ^o	114 ^{no}
I ₃ ×B ₄ ×P ₃	60.73 ^{no}	69.03 ^{k-m}	73.73 ^{h-k}	80.63 ^h	103.56 ^{m-o}	116.56 ^{m-o}
LSD 0.05	3.82	8.65	11.7	14.48	17.5	10.96

I₁ و I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله دهی و آبیاری کامل؛ B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتیریوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتیریوم، کاربرد میکوریز؛ P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول پاشی، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی مولار پوترسین

میانگین های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation, respectively; B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, both application of *Mycorrhiza* with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of *Mycorrhiza*, respectively; P₁, P₂ and P₃; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively

Means with similar letters in each column are not significantly different

یک میلی مولار پوترسین (۱۴۲/۱۲) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) و کمترین این مقادیر (به ترتیب ۱۲۸/۵۴، ۱۳۴/۲۱ و ۱۳۴/۷۸) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در حالت آبیاری کامل، عدم کاربرد کود-های زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین حاصل شد (جدول

مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۵۰/۸۵) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتیریوم (۱۴۳/۰۵) تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) و محلول پاشی

۶). همچنین اثر ترکیب تیماری سطوح آبیاری در کود زیستی نشان داد که فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط قطع آبیاری در آبستنی با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم در مقایسه با آبیاری کامل و عدم کاربرد کودهای زیستی ۲۷/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۷). گیاهان سازوکارهای مختلفی

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر اصلی محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر فعالیت آنزیم کاتالاز و عملکرد دانه گندم
Table 6. Mean comparisons of the effects of water limitation, biofertilizers and putrescine on catalase enzymes activity and grain yield of wheat

Treatments	تیمارها	کاتالاز CAT	عملکرد دانه (Grain yield)
		تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه (OD $\mu\text{g protein}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\text{g}\cdot\text{m}^2$
سطوح آبیاری Irrigation levels	قطع آبیاری در مرحله آبستنی Irrigation withholding in booting	150.85 ^a	453.3 ^c
	قطع آبیاری در سنبله‌دهی Irrigation withholding in heading	137.74 ^b	641.24 ^b
	آبیاری کامل Full irrigation	128.54 ^c	682.68 ^a
LSD 0.05		2.31	35.77
کودهای زیستی Bio fertilizers	عدم کاربرد کود زیستی No application bio fertilizer	134.21 ^c	489.55 ^d
	کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم Co-application <i>Pseudomonas</i> and <i>Flavobacterim</i>	140.13 ^b	686.42 ^a
	کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم Co-application of <i>Mycorrhiza</i> with <i>Pseudomonas</i> and <i>Flavobacterim</i>	143.05 ^a	624.04 ^b
	کاربرد میکوریز <i>Mycorrhiza</i> application	138.78 ^b	569.61 ^c
LSD 0.05		2.67	41.3
محلول پوترسین foliar application Putrescine	عدم محلول پاشی no foliar application	134.78 ^b	569.33 ^b
	۰/۵ میلی مولار پوترسین 0.5 mM putrescine	140.22 ^a	589.87 ^{ab}
	۱ میلی مولار پوترسین 1 mM putrescine	142.12 ^a	618.02 ^a
LSD 0.05		2.31	35.77

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

In each column means followed by the same letter(s) are not significantly different.

Kurdler et al., 2014) در گیاه یونجه با افزایش محدودیت آبی و کاربرد پوترسین، در افزایش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گزارش شده است.

پرولین و قندهای محلول

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین محتوای پرولین و قندهای محلول (به ترتیب ۵/۵۴ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ و ۵۵/۱۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع

عبادی و همکاران (Ebadi et al., 2019) بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پلی فنل اکسیداز، پراکسیداز، محتوای پرولین و قند محلول را، در کاربرد توأم میکوریز و ازتوباکتر تحت شرایط دیم گزارش کردند. تحقیقات ورما و میشر (Verma and Mishra, 2005) نشان داد کاربرد پوترسین در گیاهان تحت تنش، موجب افزایش فعالیت سیستم آنٹی‌اکسیدانی گیاه از جمله آنزیم کاتالاز می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط یوسفی کردلر و همکاران (Yousefi

نظر می‌رسد زمانی که گیاهان در معرض محدودیت آبی قرار می‌گیرند، مقدار پرولین و قندهای محلول برگ‌ها افزایش می‌یابد و با تجمع پرولین به‌عنوان اسمولیت غیر سمی به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی و اکوئل‌ها موجب می‌شود تحمل گیاه در برابر تنش افزایش یابد (Maiti et al., 2002). ریموند و سمیموف (Raymond and Smimoff, 2002) گزارش کردند که تنش خشکی بعد از گرده‌افشانی گندم به‌طور معنی‌داری محتوای پرولین را در مقایسه با تیمارهای شاهد افزایش داد.

آبیاری در مرحله سنبله‌دهی با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین این مقادیر (به ترتیب ۲/۳۳ میکروگرم بر گرم وزن تر برگ و ۳۲/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) در شرایط آبیاری کامل، عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین به دست آمد (جدول ۹). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش محتوای پرولین به‌واسطه‌ی کاربرد کودهای زیستی در شرایط محدودیت آبی توسط خیری‌زاده و همکاران (Kheirizadeh Arough et al., 2016) در تربیتکاله گزارش شده است. به

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری آبیاری و کودهای زیستی بر فعالیت آنزیم کاتالاز و عملکرد دانه گندم

Table 7. Means comparison the effects of treatment compound irrigation and biofertilizers on catalase enzymes activity and grain yield of wheat

ترکیب تیماری		کاتالاز	عملکرد دانه
Treatments combination		CAT	Grain yield
		(تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه) OD $\mu\text{g protein}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{g}\cdot\text{m}^2$
I ₁	B ₁	145.95 ^b	403.42 ^e
	B ₂	149.85 ^b	496.8 ^{cd}
	B ₃	158.42 ^a	470.65 ^{cd}
	B ₄	149.17 ^b	442.31 ^{de}
I ₂	B ₁	132.85 ^d	529.35 ^c
	B ₂	139.05 ^c	762.83 ^a
	B ₃	139.12 ^c	655.08 ^b
	B ₄	139.94 ^c	617.71 ^b
I ₃	B ₁	123.83 ^f	535.88 ^c
	B ₂	131.48 ^{de}	799.64 ^a
	B ₃	131.61 ^{de}	746.38 ^a
	B ₄	127.24 ^{ef}	648.81 ^b
LSD 0.05		5.28	66.58

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی و آبیاری کامل؛ B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively; B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, both application of *Mycorrhiza* with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of *Mycorrhiza*, respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different

و تعدیل عناصر غذایی باشد (Kianmehr and Mehdi-zadeh, 2014). از این رو محلول‌پاشی پوترسین موجب بیوسنتز و افزایش میزان پرولین و در نهایت افزایش سطح کربوهیدرات‌های محلول در گیاه شده است. پلی‌آمین‌ها در سنتز قندها در گیاه مانند تنظیم‌کنندگان رشد عمل کرده و در برخی فرایندهای بیولوژیک مرتبط با بیوسنتز کربوهیدرات‌ها دخالت دارند (Mahgoub et al. 2011). از طرفی محلول‌پاشی با پوترسین در شرایط تنش، با افزایش

بخشی از افزایش محتوای پرولین در کاربرد کودهای زیستی و پوترسین را می‌توان به اثر این تیمارها در افزایش قندهای محلول برگ (جدول ۹) نسبت داد. از آنجایی که یکی از مسیرهای تولید پرولین گلوتامات است از این رو، با افزایش تولید قندهای محلول، میزان تولید گلوتامات افزایش می‌یابد و سنتز پرولین نیز تشدید می‌شود. همچنین افزایش پرولین در شرایط تنش می‌تواند به دلیل نقش حمایتی پلی‌آمین‌ها از پروتئین‌ها و آنزیم‌های دخیل در سنتز پرولین، حفظ فتوسنتز

فعالیت آنزیم ATPase غشای یاخته‌ای، سهولت ورود و افزایش بارگیری ساکارز در آوند آبکشی موجب می‌شود میزان قند ساخته‌شده در برگ را در جهت رویارویی با تنش، افزایش دهد (Marschner, 1995). در این راستا سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi et al., 2020) گزارش کردند که کاربرد توأم از توپاکتر با میکوریز و ریزوبیوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین، قندهای محلول برگ و ساقه را به ترتیب ۳۱/۹۴ و ۴۱/۸۲ درصد نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم کاربرد پوترسین تحت شرایط دیم در گیاه ماشک گل خوشه‌ای افزایش داد.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز در گندم

Table 8. Means comparison of the effect of water limitation, biofertilizers and putrescine on polyphenol oxidase and peroxidase enzymes activity of wheat

آبیاری Irrigation	کود زیستی biofertilizer	پلی فنل اکسیداز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)			پراکسیداز (تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه)		
		PPO (OD µg protein.min ⁻¹)			POD (OD µg protein.min ⁻¹)		
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
I ₁	B ₁	59.37 ^{c-h}	61.45 ^{c-g}	66.11 ^{b-d}	32.86 ^{gh}	33.11 ^g	33.92 ^{e-g}
	B ₂	62.2 ^{c-f}	66.32 ^{b-d}	68.48 ^b	37.27 ^{b-d}	39.56 ^{a-c}	39.98 ^{ab}
	B ₃	64.62 ^{b-e}	69.5 ^{ab}	75.12 ^a	36.07 ^{d-f}	38.78 ^{a-d}	41.38 ^a
	B ₄	61.39 ^{c-g}	68.59 ^b	66.03 ^{b-d}	33.74 ^{fg}	38.85 ^{a-d}	36.52 ^{d-f}
I ₂	B ₁	52.4 ^{j-m}	52.69 ^{i-l}	55.31 ^{h-k}	27.33 ^{j-n}	28.61 ^{i-k}	31.99 ^{gh}
	B ₂	55.61 ^{h-k}	60.7 ^{d-h}	66.59 ^{bc}	31.28 ^{g-i}	28.1 ^{j-m}	33.95 ^{e-g}
	B ₃	55.83 ^{g-j}	66.65 ^{bc}	67.91 ^b	28.34 ^{il}	34.23 ^{e-g}	36.86 ^{c-e}
	B ₄	61.78 ^{c-f}	58.15 ^{f-i}	66.54 ^{bc}	29.98 ^{h-j}	29.92 ^{h-j}	30.1 ^{h-j}
I ₃	B ₁	44.2 ^o	45.14 ^{no}	44.73 ^{no}	25.12 ⁿ	25.29 ^{mn}	25.42 ^{l-n}
	B ₂	49.39 ^{l-o}	47.36 ^{l-o}	51.42 ^{j-m}	25.88 ^{k-n}	28.22 ^{j-m}	27.93 ^{j-n}
	B ₃	49.98 ^{k-n}	44.56 ^{no}	52.81 ^{i-l}	27.58 ⁱ⁻ⁿ	28.54 ^{i-k}	28.92 ^{ij}
	B ₄	45.52 ^{no}	46.81 ^{m-o}	48.64 ^{l-o}	27.26 ⁱ⁻ⁿ	25.93 ^{k-n}	28.41 ^{i-k}
LSD 0.05		5.66			2.95		

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله‌دهی و آبیاری کامل؛ B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز؛ P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول‌پاشی، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار پوترسین

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively; B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, both application of *Mycorrhiza* with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of *Mycorrhiza*, respectively; P₁, P₂ and P₃: no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively

Means with similar letters in each column are not significantly different

و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین ۵۱ درصد کاهش نشان داد (جدول ۹). این نتایج با یافته‌های دیگر محققان در گیاه ماشک گل خوشه‌ای مطابقت دارد (Seyed Sharifi et al., 2020). در شرایط تنش آبی، غلظت زیاد مالون دی‌آلدئید در برگ‌ها ممکن است با تجمع زیاد H₂O₂ در گیاهان همراه باشد که نشان‌دهنده میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است (Gill and Tuteja, 2010). باین‌وجود، گیاهان تلقیح شده دارای مالون دی‌آلدئید کمتری نسبت به گیاهان شاهد تلقیح نشده بودند که نشان‌دهنده دخالت هردو نوع ریز موجود در متابولیسم ROS

مالون دی‌آلدئید

بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین بالاترین میزان مالون دی‌آلدئید (۰/۶۷۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در تیمار قطع آبیاری در آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی با پوترسین و کمترین مقدار آن (۰/۳۳۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) به شرایط آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین متعلق بود (جدول ۹). در شرایط محدودیت شدید آبیاری (قطع آبیاری در آبستنی) میزان مالون دی‌آلدئید با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری محدودیت آبی، کودهای زیستی و پوترسین بر پرولین، قند محلول، مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن برگ گندم

Table 9. Means comparison of the effect of water limitation, biofertilizers and putrescine on Proline, Soluble sugars, MDA and H₂O₂ of wheat.

آبیاری Irrigation	کود زیستی biofertilizer	پرولین (میکروگرم بر گرم وزن تر برگ) Proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)			قند محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) Soluble sugars ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)		
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
		I ₁	B ₁	3.46 ^l	3.54 ^{lj}	3.69 ^{h-j}	38.62 ^{i-l}
	B ₂	3.91 ^{f-i}	4.18 ^{d-g}	4.26 ^{c-f}	40.73 ^{g-i}	42.42 ^{d-i}	45.44 ^{b-d}
	B ₃	3.49 ^{ij}	4.19 ^{d-g}	4.46 ^{b-e}	38.81 ^{i-l}	44.3 ^{d-h}	48.28 ^{bc}
	B ₄	4.14 ^{e-g}	3.82 ^{g-j}	4.12 ^{e-h}	42.5 ^{d-i}	45.19 ^{b-e}	44.53 ^{c-g}
I ₂	B ₁	4.3 ^{c-f}	4.36 ^{b-e}	4.68 ^{bc}	39.95 ^{i-k}	40.52 ^{hi}	41.49 ^{e-i}
	B ₂	4.37 ^{b-e}	4.39 ^{b-e}	5.51 ^a	41.57 ^{d-i}	44.28 ^{d-h}	54.14 ^a
	B ₃	4.66 ^{bc}	5.42 ^a	5.54 ^a	45.35 ^{b-e}	48.89 ^b	55.16 ^a
	B ₄	4.14 ^{e-g}	4.76 ^b	4.6 ^{b-d}	40.29 ^{ij}	44.68 ^{c-f}	44.41 ^{c-h}
I ₃	B ₁	2.33 ^k	2.47 ^k	2.55 ^k	32.21 ⁿ	33.39 ^{mn}	34.06 ^{mn}
	B ₂	2.71 ^k	2.7 ^k	2.67 ^k	36.3 ^{k-m}	34.49 ^{mn}	36.44 ^{j-m}
	B ₃	2.42 ^k	2.45 ^k	2.76 ^k	35.48 ^{l-n}	33.83 ^{mn}	36.44 ^{j-m}
	B ₄	2.43 ^k	2.47 ^k	2.57 ^k	32.39 ⁿ	33.1 ^{mn}	36.04 ^{l-n}
LSD _{0.05}		0.44			3.89		

Table 9. Continued

جدول ۹. ادامه

آبیاری Irrigation	کود زیستی biofertilizer	مالون دی آلدئید (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) MDA ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)			پراکسید هیدروژن (میکرومول بر گرم وزن تر برگ) H ₂ O ₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)		
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
		I ₁	B ₁	0.675 ^a	0.666 ^a	0.653 ^{ab}	7.35 ^a
	B ₂	0.623 ^{a-c}	0.554 ^{d-g}	0.471 ^{i-l}	6.57 ^{cd}	6.72 ^{cd}	5.67 ^e
	B ₃	0.591 ^{c-e}	0.535 ^{f-h}	0.447 ^{j-m}	6.37 ^d	6.49 ^{cd}	5.58 ^{ef}
	B ₄	0.61 ^{bc}	0.57 ^{c-f}	0.608 ^{b-d}	6.9 ^{a-c}	6.88 ^{a-c}	6.71 ^{cd}
I ₂	B ₁	0.55 ^{e-g}	0.524 ^{f-i}	0.481 ^{h-k}	5.74 ^e	5.51 ^{ef}	5.13 ^{fg}
	B ₂	0.511 ^{g-i}	0.426 ^{l-n}	0.421 ^{l-n}	5.68 ^e	4.99 ^{gh}	4.82 ^{g-i}
	B ₃	0.4 ^{m-o}	0.38 ^{n-q}	0.389 ^{n-q}	4.75 ^{g-i}	4.55 ^{ij}	4.45 ^{i-k}
	B ₄	0.494 ^{h-j}	0.43 ^{k-n}	0.475 ^{i-l}	5.48 ^{fg}	4.58 ^{h-j}	4.48 ^{i-k}
I ₃	B ₁	0.408 ^{m-o}	0.395 ^{m-p}	0.391 ^{n-q}	4.25 ^{j-l}	4.2 ^{j-l}	4.11 ^{j-m}
	B ₂	0.359 ^{o-q}	0.402 ^{m-o}	0.342 ^{p-q}	4.02 ^{k-n}	4.21 ^{j-l}	3.76 ^{l-n}
	B ₃	0.38 ^{n-q}	0.384 ^{n-q}	0.337 ^q	4.01 ^{k-n}	4.14 ^{j-m}	3.57 ⁿ
	B ₄	0.399 ^{m-o}	0.384 ^{n-q}	0.344 ^{p-q}	4.17 ^{j-l}	3.93 ^{l-n}	3.66 ^{mn}
LSD _{0.05}		0.054			0.48		

I₁, I₂ و I₃: به ترتیب قطع آبیاری در آبستنی، قطع آبیاری در سنبله دهی و آبیاری کامل؛ B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتريوم، کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتريوم، کاربرد میکوریز؛ P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول پاشی، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی مولار پوترسین

میانگین های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی داری با هم ندارند

I₁, I₂ and I₃; irrigation withholding in booting, irrigation withholding in heading and full irrigation respectively; B₁, B₂, B₃ and B₄; no biofertilizer, both application *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, both application of *Mycorrhiza* with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of *Mycorrhiza*, respectively; P₁, P₂ and P₃; no foliar application, application 0.5 and 1 mM of putrescine, respectively
Means with similar letters in each column are not significantly different

الکتریکی حداقل بود. قارچ میکوریزا سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده و همچنین حفاظت گیاه میزبان را در مقابل تنش های زیستی و غیر زیستی از جمله گرما و خشکی بر عهده

است (Mo et al., 2016). نتایج این پژوهش نیز نشان می دهد در همان ترکیب تیماری که محتوای پرولین و قندهای محلول حداکثر بود، مقادیر مالون دی آلدئید و هدایت

کامل به ترتیب با کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتريوم و کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتريوم و کمترین آن (۴۰۳/۴۲ گرم در مترمربع) در شرایط قطع آبیاری در آبستنی و عدم کاربرد کودهای زیستی مشاهده شد (جدول ۷). تاو و همکاران (Tao et al., 2012) اظهار داشتند که کاربرد توأم باکتری‌ها قادرند تا حدودی از اثر مخرب رادیکال-های آزاد اکسیژن در شرایط تنش جلوگیری کنند و افزایش میزان عملکرد تحت تأثیر باکتری در شرایط کمبود آب، عمدتاً به همین عامل مربوط می‌شود.

نتایج مشابهی نیز توسط بهل و همکاران (Behl et al., 2003) مبنی بر افزایش عملکرد دانه گندم در تلقیح دوگانه میکوریزا و ازتوباکتر گزارش شده است. نتایج پژوهش ابوتالبیان و خلیل (Abotalebian and Khalil, 2014) نشان داد در شرایط تنش خشکی کاربرد توأم میکوریزا و باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن ریزوبیوم در مقایسه با عدم تلقیح باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گیاه سویا شد. همچنین کاربرد پوترسین باعث افزایش عملکرد گندم تحت تنش خشکی شد (Gupta and Gupta, 2011). به نظر می‌رسد احتمالاً افزایش عملکرد، تأثیر پوترسین در تولید اسمولیت-هایی مانند پرولین و قندهای محلول باشد که موجب افزایش پتانسیل اسمزی گیاه و نیز سبب افزایش قدرت جذب آب در شرایط نامساعد محیطی شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

گیاه با مواجهه با محدودیت آبی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش سنتز و تجمع اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و قندهای محلول انجام می‌دهد که به بالا بردن فشار اسمزی و حفظ فشار تورگر سلول‌های گیاه کمک می‌کند در چنین شرایطی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش می‌یابد و با به‌کارگیری کودهای زیستی و محلول‌پاشی پوترسین در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در این شرایط، موجب تشدید فعالیت آنزیم‌های مثل پلی فنل اکسیداز، پراکسیداز و کاتالاز و افزایش چشمگیری در محتوای پرولین و قند محلول شد که می‌تواند اثر ناشی از تنش را تعدیل نموده و به بهبود عملکرد کمک نماید. همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش با از بین بردن سریع گونه‌های فعال اکسیژن، می‌تواند محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن را کاهش دهد. طوری که محدودیت شدید آبی با

دارد (Borde et al., 2012). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2014) بالاترین میزان مالون دی‌آلدئید را در عدم محلول‌پاشی پوترسین (به میزان ۱۳/۸۴ نانومول بر گرم وزن تازه) و کمترین آن را (به میزان ۵/۵۳ نانومول بر گرم وزن تازه) در آبیاری کامل با کاربرد پوترسین با غلظت ۱۵۰ پی. پی. ام گزارش کردند.

پراکسید هیدروژن

بالاترین محتوای پراکسید هیدروژن (۷/۳۵ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در شرایط قطع آبیاری در آبستنی، عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین و کمترین مقدار آن (۳/۵۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در آبیاری کامل با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتريوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین به دست آمد (جدول ۹).

به نظر می‌رسد بخشی از کاهش محتوای پراکسید هیدروژن ناشی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باشد (جدول ۶، ۷ و ۸) که با تنظیم گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش هدایت الکتریکی برگ (شکل ۱ و جدول ۵) به کاهش محتوای پراکسید هیدروژن کمک نموده است. به‌نحوی که محققین بیان داشتند که بوته‌های تلقیح شده با باکتری‌های محرک رشد گیاه از فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی بالاتری برخوردار بودند و در مقابل میزان بیومارکر مالون دی‌آلدئید (MDA) و پراکسید هیدروژن آن‌ها پایین بود (Erdogan et al., 2016). تحقیقات پیشین نشان داده‌اند که افزایش سطح پلی‌آمین‌ها منجر به کاهش تولید پراکسید هیدروژن و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدی شده است (Verma and Mishra, 2005).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین اثر اصلی نشان داد که بیش‌ترین عملکرد (۶۸۲/۶۸ گرم در مترمربع) در آبیاری کامل، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتريوم (۶۸۶/۴۲ گرم در مترمربع) و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین (۶۱۸/۰۲ گرم در مترمربع) و کمترین آن در قطع آبیاری در مرحله آبستنی (۴۵۳/۳ گرم در مترمربع)، عدم کاربرد کود زیستی (۴۸۹/۵۵ گرم در مترمربع) و عدم محلول‌پاشی (۵۶۹/۳۳ گرم در مترمربع) حاصل شد (جدول ۶). مقایسه میانگین ترکیب تیماری آبیاری در کود زیستی نشان داد که بالاترین عملکرد دانه (۷۹۹/۴۴ و ۷۴۶/۳۸ گرم در مترمربع) در حالت آبیاری

قطع آبیاری در مرحله آبستنی، عملکرد دانه در کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتريوم ۲۳/۱ درصد و در حالت استفاده میکوریز همراه با کاربرد توأم هر دو باکتری ۱۶/۶ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی تحت چنین شرایطی افزایش یافت.

کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتريوم و محلول-پاشی یک میلی-مولار پوترسین در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول-پاشی پوترسین، محتوای مالون دی‌آلدئید و پراکسید هیدروژن را به ترتیب ۵۱ و ۳۱/۷ درصد کاهش داد که نشان‌دهنده نقش مثبت کودهای زیستی و پوترسین در بهبود سیستم حفاظتی گیاه است. در شرایط

منابع

- Abotalebian, M.A., Khalili, M., 2014. Effect of arbuscular mycorrhiza and Bradyrhizobium Japonicum on soybean yield and yield components under water stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 45, 169-181. [In Persian].
<https://doi.org/10.22059/IJFCS.2014.51896>
- Ahmad, P., Prasad, M.N.V., 2012. *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0634-1>
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli S., 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Bates, L., Waldren, S.R.P., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*. 39, 205-207.
<https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Behl, R.K., Sharma, H., Kumar, V., Singh, K.P., 2003. Effect of dual inoculation of mycorrhiza and *Azotobacter chroococcum* on above flag leaf characters in wheat. *Archive of Agronomy and Soil Science*. 49, 25-31.
<https://doi.org/10.1080/03650340301497>
- Borde, M., Dudhane M., Jite. P., 2012. Growth, water use efficiency and antioxidant defense responses of mycorrhizal and non- mycorrhizal (*Allium sativum* L.) under drought stress condition. *Annals of Plant Science*. 1, 6-11.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers P.A., Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28, 350-356.
<https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Ebadi, N., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., 2019. Effects of biofertilizers on yield and some biochemical and physiological traits of Sahand barley cultivare under rainfed and supplementary irrigation. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 12, 1150-1141. [In Persian].
<https://doi.org/10.22077/escs.2019.1854.1439>
- Ebrahimi, A., Naqvi M.R., Sabokdast, M., 2010. Comparison of different species of barely landraces in terms of chlorophyll, carotenoids, protein and enzyme. *Crop Science*. 41, 57-65.
- El-Tayeb, M.A., 2006. Differential response of two *Vicia faba* cultivars to drought: growth, pigments, lipid peroxidation, organic solutes, catalase and peroxidase activity. *Acta Agronomica Hungarica*. 54, 25-37.
<http://doi.org/10.1556/AAgr.54.2006.1.3>
- Erdogan, U., Cakmakci, R., Varmazyari, A., Turan, M., Erdogan Y., Kitir, N., 2016. Role of inoculation with multi-trait rhizobacteria on strawberries under water deficit stress. *Zemdirbyste-Agriculture*. 103, 67-76.
<https://doi.org/10.13080/z-a.2016.103.009>
- Farooq, M., Wahid, A., Lee D.J., 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*. 31, 937-945. <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-009-0307-2>
- Gianinazzi, S., Schuepp, H., Barea, J.M., Haselwandter, K., 2002. *Mycorrhizal technology in agriculture: from genes to bioproducts*. Birkhauser, Basel. 296p.
- Gill, S.S., Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 48, 909-930.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Glick, B.R., 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the

- world. Microbiological Research. 169, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>
- Groppa, M.D., Tomaro, M.L., Benavides, M.P., 2001. Polyamines as protectors against cadmium or copper induced oxidative damage in sunflower leaf discs. Plant Science. 161, 481-488.
- Gupta, S., Gupta, N.K., 2011. Field efficacy of exogenously applied putrescine in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water-stress conditions. The Indian Journal of Agricultural Sciences. 81, 231-265.
- Hadi, H., Seyed Sharifi, R., Namvar, A., 2016. Phytoprotectants and Abiotic Stresses. Urmia University press. 341p. [In Persian].
- Islam, F., Yasmeen, T., Ali, Q., Ali, S., Arif, M.S., Hussain, S., Rizvi, H., 2014. Influence of *Pseudomonas aeruginosa* as PGPR on oxidative stress tolerance in wheat under Zn stress. Ecotoxicology and Environmental Safety. 104, 285-93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.008>
- Islam, F., Yasmeen, T., Arif, M.S., Ali, S., Ali, B., Hameed S., Zhou, W., 2016. Plant growth promoting bacteria confer salt tolerance in *Vigna radiata* by up-regulating antioxidant defense and biological soil fertility. Plant Growth Regulation. 80, 23-36. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0142-y>
- Karimi, Z., Tohidi Moghadam, H.R., Kasraei, P., 2014. Effect of foliar application of putrescine on antioxidative defense of wheat (*Triticum aestivum* L. var sw-82-9) under water deficit stress. Agronomic Research in Semi Desert Regions. 11, 209-217. [In Persian].
- Kasim, W.A., Osman, M.E., Omar, M.N., Abd El-Daim, I.A., Bejai S., Meijer, J., 2013. Control of drought stress in wheat using plant-growth- promoting bacteria. Journal of Plant Growth Regulation. 32, 122-130. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9283-7>
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Barmaki, M., 2016. Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 44, 116-124.
- Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., 2016. Bio fertilizers and zinc effects on some physiological parameters of triticale under water limitation condition. Journal of Plant Interactions. 11, 167-177.
- Kianmehr, A.S., Mehdizadeh, R., 2014. Phylogenetic Study of proline dehydrogenase producing *Pseudomonas putida* bacterium and bioinformatics analysis of isolated enzyme. Journal of Cellular and Molecular Researches. 27, 285-295.
- Mahgoub, M.H., Abd El Aziz N.G., Mazhar, M.A., 2011. Response of *Dahlia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences. 10, 769-775.
- Maiti, R.K., Moreno-limon S., Wesche-ebeling, P., 2002. Responses of some crops to various abiotic stress factors and its physiological and biochemical basis of resistances. Agricultural Reviews. 21, 155-167.
- Marasco, R., Rolli, E., Ettoumi, B., Vigani, G., Mapelli, F., Borin, S., Abou-Hadid, A.F., El-Behairy, U.A., Sorlini, C., Cherif, A., 2012. A drought resistance promoting microbiome is selected by root system under desert farming. 7, 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048479>
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London p.889.
- Mo, Y., Wang, Y., Yang, R., Zheng, J., Liu, C., Li, H., Ma, J., Zhang, Y., Wei C., Zhang, X., 2016. Regulation of plant growth, photosynthesis, antioxidation and osmosis by an arbuscular mycorrhizal fungus in watermelon seedlings under well-watered and drought conditions. Frontiers in Plant Science. 7, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00644>
- Mohammadkhani, N., Heidari, R., 2007. Effect of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Science. 10, 3835-3840. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3835.3840>
- Mostafa, H., Hassanein, R., Khalil, S., El-khawas, S., El-bassiouny H., El-monem, A.A., 2010. Effect of arginine or putrescine on growth, yield and yield components of late sowing wheat. Journal of Applied Sciences Research. 6, 177-183.
- Porcel, R., Ruiz-Lozano, J.M., 2004. Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential, solute accumulation, and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress.

- Journal of Experimental Botany. 55, 1743-50. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh188>
- Prasad, T.N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T.S., Sajanlal, P.R., 2012. Effect of nanoscale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition. 35, 905-927. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443>
- Raymond, M.J., Smimoff, N., 2002. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. Annals of Botany. 89, 813-823. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf082>
- Sancheze, F.J., De Andres, E.F., Tenorio, J.L., Ayerba, L., 2003. Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress. Field Crops Research. 86, 81-90. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00121-7)
- Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., 2020. Effect of bio-fertilizers and putrescine on biomass, nodulation, and some morphological and biochemical traits of Vetch (*Vicia villosa*) under Rainfed Condition. Journal of Crops Improvement. 22, 513-529. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jci.2020.294125.2316>
- Sofa, A., Dichio, B., Xiloyannis, C., Masia, A., 2004. Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during rewatering in olive tree. Plant Science. 166, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.09.018>
- Stewart, R.C., Beweley, J.D., 1980. Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. Plant Physiology. 65, 245-248. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.245>
- Sudhakar, C., Lakshmi A., Giridara Kumar, S., 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under Naci salinity. 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)
- Tao, H., Morris T.F., Neafsey, J., 2012. Nutrient applications reported by farmers compared with performance-based nutrient management plans. Agronomy Journal. 104, 437- 447. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0316>
- Verma, S., Mishra, S.N., 2005. Putrescine alleviation of growth in salt stressed Brassica juncea by inducing antioxidative defense system. Journal of Plant Physiology. 162, 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.08.008>
- Yousefi Kurdler, A., Ebadi, A., Sedqi, M., Tavakoli, H., 2014. The effect of putrescine application on the activities of antioxidant enzymes and soluble sugar in alfalfa (*Medicago sativa* L.) under water stress, The First National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, Tehran. [In Persian].
- Zahir, Z.A., Munir, A., Asghar, H.N., Shaharoona, B., Arshad, M., 2007. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of pea (*Pisum sativum*) under drought conditions. Journal of Microbiology and Biotechnology. 18, 958-963.
- Zhang, K., John, P.C.L., 2005. Raised level of cyclin dependent kinase after prolonged suspension culture of *Nicotiana glauca* is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. Plant Cell Tissue and Organ Culture. 82, 295-308. <https://doi.org/10.1007/s11240-005-1542-x>