Plant Prod., 2022, 45(3), 397-408
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.40567.2026
Received: 17 April 2022
Accepted: 11 September 2022

Plant Productions
Research Article

Effect of Biological and Chemical Fertilizers and Salicylic Acid Spraying on Yield and Some Physiological Traits of Wheat Under Drought Stress

Fatemeh Chaharlang Badil[1], Khosrow Azizi[2]*, Hamid Reza Eisvand[3], Ali Heidar Nasrollahi[4], Ahmad Ismaili[5]

1. Ph.D. Student, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
2. Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
3. Associate Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
4. Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Water Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran
5. Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran

Citation: Chaharlang Badil, F., Azizi, Kh., Eisvand, H. R., Nasrollahi, A. H., & Ismaili, A (2022). Effect of biological and chemical fertilizers and salicylic acid spraying on yield and some physiological traits of wheat under drought stress. *Plant Productions,* 45(2), 397-408.

Abstract

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important and strategic crops worldwide. Drought stress is one of the important and abiotic stresses that reduces the growth and yield of plants.in arid and semi-arid regions. Today, the economic damage and destructive effects of the environment due to the excessive use of chemical fertilizers in agriculture are known worldwide, and it is obvious that a suitable alternative must be found for these fertilizers. Currently, biofertilizers are used as an alternative to chemical fertilizers based on the principles of sustainable agriculture and stress tolerance of plants. Salicylic acid is a natural phenolic compound that is involved in reducing the harmful effects of abiotic environmental stresses and regulating vital physiological processes in plants.

Materials and Methods

This study was carried out to assess the effect of fertilizer nutrition and foliar application of salicylic acid on wheat tolerance of Chamran 2 cultivar to drought stress experiment as a factorial split plot in the form of a randomized complete block design in the 2019-2020 crop year in the research farm of the Faculty of Agriculture of Lorestan University in three replications was performed The experimental site was located at a latitude 33°26′ N, a

* **Corresponding Author:** Khosrow Azizi
E-mail: azizi.kh@lu.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

longitude 45°17′ E, and an altitude of 1210 m with a semi-arid climate, mean annual precipitation of 462.8 mm, mean annual evaporation of 1842.52 mm, and mean annual temperature of 16.6 °C .Main plot includes irrigation levels in two levels of without stress (100% of field capacity) and drought stress (50% of field capacity) and sub-plots including fertilizer in five levels including no use of biofertilizer + 50% chemical fertilizer, application of 100% chemical fertilizer, seed inoculation of nitroxin biofertilizer + 50% chemical fertilizer, seed inoculation of mycorrhizal + 50% chemical fertilizer, (simultaneous use of biofertilizers (nitroxin + mycorrhiza) + 50% chemical fertilizer, and foliar application treatment at two levels (foliar application with water and foliar application with a concentration of 1 mM salicylic acid).

Results and Discussion

The results showed that drought stress increased grain protein and malondialdehyde and decreased other evaluated traits. Fertilizer nutrition and salicylic acid foliar application treatment alone increased the evaluated traits and decreased malondialdehyde content compared to the no use of biofertilizer + 50% chemical fertilizer and no foliar application of salicylic acid. Combined treatment of fertilizer (nitroxin + mycorrhiza) + 50% chemical fertilizer and salicylic acid could reduce the effect of drought stress on the traits evaluated in this study on wheat of Chamran 2 cultivar. As a result can this treatment suggested to the farmer in order to reduce the consumption of chemical fertilizers in the cultivation of this wheat variety under drought stress conditions.

Conclusion

In general, it can be concluded that the application of biofertilizers (nitroxin + mycorrhiza) + 50% chemical fertilizer and salicylic acid foliar application can be used as an effective and alternative fertilizer to reduce the use of chemical fertilizers and water shortage in Khorramabad for sustainable agriculture. As a result, this treatment can be recommended to the farmer to reduce the use of chemical fertilizers in the cultivation of this wheat cultivar under drought stress conditions.

Keywords: Irrigation levels, Malondialdehyde, Photosynthetic pigment, Plant nutrition

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۱، ۴۵(۳)، ۴۰۸-۳۹۷
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2022.40567.2026
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک گندم تحت شرایط تنش خشکی

فاطمه چهارلنگ بدیل، خسرو عزیزی[۲]*، حمیدرضا عیسوند، علی حیدر نصرالهی[۴]، احمد اسماعیلی[۵]

۱- دانشجوی دکتری، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲- استاد، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۳- دانشیار، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۴- استادیار، گروه آموزشی مهندسی کشاورزی علوم آب، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۵- استاد، گروه آموزشی مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات مهم و راهبردی در سراسر جهان است. امروزه آسیب‌های اقتصادی واثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده‌اند. در حال حاضر، از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی بر اساس اصول زیست‌محیطی کشاورزی پایدار و تحمل گیاهان به تنش استفاده می‌شود. اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی طبیعی است که در کاهش اثرات مضر ناشی از تنش‌های غیرزنده محیطی و تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی حیاتی گیاهان نقش دارد. به‌منظور بررسی اثر تغذیه کودی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک بر تحمل گندم رقم چمران دو به تنش خشکی آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با: عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، و ارتفاع ۱۲۱۰ متری با آب و هوای نیمه خشک، میانگین بارندگی سالانه ۴۶۲/۸ میلی‌متر، میانگین تبخیر سالانه ۱۸۴۲/۵۲ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۶٫۶ درجه سانتی‌گراد، در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح آبیاری در دو سطح عدم تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و کرت‌های فرعی شامل کود در پنج سطح شامل عدم مصرف کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی، کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، مصرف بذرمال کود زیستی نیتروکسین+۵۰ درصد کود شیمیایی، مصرف بذرمال مایکوریز+۵۰ درصد کود شیمیایی، مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین+مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی، و تیمار محلول‌پاشی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب و محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار اسید سالیسلیک) بود. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب افزایش پروتئین دانه و مالون‌دی‌آلدئید و کاهش دیگر صفات مورد ارزیابی شد. تیمار تغذیه کودی و تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسلیک هرکدام به تنهایی سبب افزایش صفات مورد ارزیابی و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید نسبت به عدم مصرف کود زیستی+۵۰ درصد کود شیمیایی و عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک (شاهد) شدند. تیمار ترکیبی کودزیستی (نیتروکسین+مایکوریز)+ ۵۰ درصد کود شیمیایی و اسید سالیسلیک توانست اثر تنش خشکی را در صفات مورد ارزیابی این پژوهش بر گندم رقم چمران دو کاهش دهد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت کاربرد کودزیستی (نیتروکسین+مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به عنوان یک کود موثر و جایگزین به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کمبود آب در شرایط خرم‌آباد در جهت کشاورزی پایدار عمل کند.

کلیدواژه‌ها: تغذیه گیاه، سطوح آبیاری، رتگیزه فتوسنتزی، مالون‌دی‌آلدئید

* **نویسنده مسئول:** خسرو عزیزی
رایانامه: azizi.kh@lu.ac.ir

© 2022 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از استراتژیک‌ترین محصولات برای تهیه مواد غذایی، خوراک و امنیت سوخت‌های زیستی در سراسر جهان است. رشد سریع جمعیت فشار زیادی را در افزایش تولید گندم اعمال می‌کند. بهره‌وری گندم را می‌توان از طریق مدیریت بهتر خاک، آب و گیاهان افزایش داد (Hafez et al., 2019). گیاهان به‌طور مداوم در معرض مجموعه وسیعی از عوامل تنش‌زای اکولوژیکی مانند تنش آبی، شوری خاک، سرما و گرما هستند که منجر به اختلال در تولید بیش از ۵۰ درصد محصول می‌شود. تنش خشکی، تنشی غیرزیستی و بسیار مهم است که عامل کاهش محصول در مناطق خشک و نیمه خشک است (Hafez et al., 2020) و منجر به تنش اکسیداتیو می‌شود (Naderi & Eslahi, 2019). تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به بیش از ۹ میلیارد نفر می‌رسد و تغییرات نامساعد آب و هوایی امنیت غذایی را به شدت تهدید می‌کند (Abdelaal et al., 2020). تنش خشکی باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان(Daiyoulhagh et al., 2020)، کاهش محتوای آب و تغییر در برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی و متابولیک می‌شود. تجمع گونه‌های فعال اکسیژن یکی دیگر از تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان تحت شرایط تنش خشکی است. گونه‌های فعال اکسیژن بسیار سمی و واکنش‌پذیر هستند و می‌توانند متابولیسم طبیعی سلول‌ها را در غیاب مکانیسم‌های محافظتی به شدت مختل کنند (Kamali & Mehraban, 2020a). در گیاهان گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند باعث تنش اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی (آسیب غشایی)، آسیب به فرآیندهای فتوسنتزی، غشاء تیلاکوئید، رنگدانه‌های فتوسنتزی (Abdelaal et al., 2020)، اختلال در عملکرد RNA و DNA، و در نتیجه آسیب جدی به سلول‌ها و ساختار گیاهان شود که به نوبه خود بر رشد ریشه و ساقه گیاه تأثیر می‌گذارد (Kamali & Mehraban, 2020a). امروزه آسیب‌های اقتصادی و اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده‌اند و بدیهی است که باید جایگزین مناسبی برای این کودها یافت شود(Kamaei et al., 2019). از این رو، به منظور استفاده حداکثری از کودها به لحاظ اقتصادی و کاهش آثار کودهای شیمیایی در محیط زیست، کودهای زیستی به عنوان یک رویکرد جایگزین امیدوارکننده در تولید گونه‌های گیاهی در نظر گرفته می‌شوند (Gao et al., 2020). در حال حاضر، از کودهای زیستی به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی برای افزایش تولید محصولات زراعی، حاصل‌خیزی خاک بر اساس اصول زیست محیطی کشاورزی پایدار و تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی و شوری استفاده می‌شود (Kamali & Mehraban, 2020b). کود زیستی متشکل از یک یا چند میکروارگانیسم هستند که باعث بهبود کمیت و کیفیت رشد و عملکرد گیاهان با افزایش در دسترس بودن عناصر غذایی خاک می‌شوند(Ajmal et al., 2018). منابع تولید کودهای بیولوژیک متفاوت بوده و یکی از شناخته شده ترین میکروارگانیسم‌هایی که چنین کودهایی تولید می‌کنند قارچ میکوریزا هستند. قارچ میکوریزا قادر به ایجاد جوامع همزیستی با اکثر گونه‌های گیاهی است و به‌عنوان یک کود بیولوژیک مهم برای افزایش محصولات کشاورزی است .برخی از مفیدترین اثرات میکوریزا افزایش سطح ریشه، بهبود جذب آب و مواد مغذی، افزایش فتوسنتز و تحمل در برابر تنش‌های محیطی است، همزیستی میکوریزا علاوه بر تأثیری که در افزایش محصول دارد، نقش مهمی در حفظ تعادل اکولوژیکی خاک نیز دارد (Kamaei et al., 2019). نیتروکسین یک کود زیستی است که حاوی ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم ریزوباکتری است. این ریزوباکتری‌ها می‌توانند از طریق افزایش جذب مواد مغذی، تثبیت نیتروژن، فلاوین، تیامین، سنتز آنتی بیوتیک، ضد قارچ‌ها و فیتوهورمون‌ها مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکین رشد گیاه را تحریک می‌کنند (Kamali & Mehraban, 2020b). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی طبیعی است که می‌تواند اثرات مضر ناشی از تنش‌های غیرزنده محیطی را به طور موثر کاهش دهد(Shemi et al., 2021) و فرآیندهای فیزیولوژیکی حیاتی گیاهان به ویژه جذب آب و انتقال یون، تعرق و فتوسنتز را تنظیم می‌کند. گزارش شده است کاربرد کودهای زیستی و اسید سالیسیلیک با هم، باعث بهبود رشد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و تحمل تنش در گندم تحت تنش خشکی شده است (Azmat et al., 2020).آزمایش حاضر با هدف بررسی تأثیر مصرف کودهای زیستی به‌همراه کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در گندم تحت شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۹-۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح آبیاری در دو سطح A1

عدم تنش (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و A2 تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و کرت‌های فرعی شامل مصرف کود در پنج سطح شامل B0 عدم مصرف کود زیستی+ ۵۰ ٪ کود شیمیایی، B1 کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، B2 مصرف بذرمال کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی، B3 مصرف بذرمال مایکوریز + ۵۰ درصد کود شیمیایی، B4 مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی، و تیمار محلول‌پاشی در دو سطح (C1 محلول‌پاشی با آب و C2 محلول‌پاشی با غلظت یک میلی‌مولار با اسید سالیسلیک) بود (Sedaghat et al., 2017). محلول-پاشی اسید سالیسلیک در مرحله پنجه‌زنی و ساقه رفتن انجام شد. ابعاد هر کرت فرعی ۸ مترمربع، شامل ۸ خط کاشت با فاصله بین ردیف ۲۵ سانتی‌متر و طول ۴ متر و تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع بود. فاصله بین بلوک‌ها ۳ متر، فاصله بین کرت-های اصلی ۳ متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر بود. سطوح مختلف آبیاری از مرحله پنجه‌زنی گیاه گندم تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه اعمال شد. در این تحقیق نیاز آبی گیاه بر اساس کمبود رطوبت خاک در عمق ریشه گیاه تعیین شد. برای محاسبه بارش موثر از روش حفاظت خاک آمریکا استفاده شد که در این روش میزان باران مؤثر با استفاده از باران ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه و همین‌طور عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری محاسبه و برآورد گردید (Azizi, 2000). عمق آبیاری برای تیمار عدم تنش خشکی ۲۴۱ میلی‌متر بدست آمد که با احتساب بارندگی موثر مجموع آب مصرفی در این تیمار ۴۳۲ میلی‌متر شد، از این رو برای تیمار تنش خشکی با در نظر گرفتن ۵۰ درصد کاهش آب آبیاری نسبت به تیمار عدم تنش خشکی مقدار آب آبیاری ۱۲۰/۵ میلی‌متر و با در نظر گرفتن باران موثر مجموع آب مصرفی ۳۱۱/۵ میلی‌متر شد. لازم به ذکر است برای محاسبه عمق آبیاری رطوبت خاک روز قبل آبیاری به روش وزنی اندازه‌گیری شد و عمق و حجم آبیاری از روابط زیر محاسبه گردید (Alizadeh et al.,2020).

رابطه ۱ $dn= (\theta fc- \theta i) \times Pb \times Zr$

رابطه ۲ $dg=dn/ Ea$

رابطه ۳ $V= (dg \times A \times f)$

dn: عمق خالص آبیاری (میلی‌متر)

θi: درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری

θfc: درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی

Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)

Zr: عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)

dg: عمق ناخالص آبیاری(میلی‌متر)

Ea: راندمان آبیاری

با توجه به بررسی‌های مزرعه‌ای ۹۵ درصد در نظر گرفته شد و حجم آب ورودی به هر کرت به‌وسیله کنتور حجمی کنترل شد، V: حجم آب آبیاری در هر نوبت آبیاری (لیتر) ، A: سطح هر کرت (مترمربع) و f: ضریب مربوط به تیمار موردنظر بود که برای تیمار عدم تنش خشکی یک و برای تیمار تنش خشکی ۰/۵ در نظر گرفته شد. رطوبت ظرفیت زراعی به روش وزنی معادل ۱۷/۷ درصد که با در نظرگرفتن چگالی ظاهری ۱/۳ گرم بر سانتی-مترمکعب معادل ۲۳ درصد حجمی بود. تیمار محلول‌پاشی با استفاده از سالیسیلیک اسید تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان (با جرم مولکولی ۱۳۸/۱۲ گرم بر مول و چگالی ۱/۴۴۳گرم بر سانتی‌مترمعکب) به‌صورت محلول‌پاشی برگی در مرحله پنجه‌زنی و ساقه رفتن انجام شد. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی کود نیتروژن از منبع اوره، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت به‌صورت ۵۰ کیلوگرم قبل از کاشت بصورت پایه، و ۱۰۰کیلوگرم در زمان پنجه‌زنی و ۱۰۰ کیلوگرم در ساقه رفتن به‌صورت سرک استفاده شد و هم‌چنین مصرف فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در هنگام قبل از کاشت در مزرعه در نظر گرفته شد. در هنگام کاربرد کودهای زیستی، مصرف کودهای شیمیایی به میزان نصف نیاز خاک در مزرعه استفاده گردید. قارچ مایکوریز تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب کرج شامل ترکیبی از سه گونه از قارچ‌های مایکوریزا (گلوموس موسه، گلوموس اینترارادیسز، گلوموس اتونیکاتوم) بوده و جهت تلقیح بذرها استفاده شد. نیتروکسین مورداستفاده تهیه شده از شرکت فناوری زیستی مهر آسیا و دارای مجموعه‌ای از موثرترین باکتری های تثبیت‌کننده ازت به‌صورت بذرمال استفاده شد. بذور گندم رقم چمران دو تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان با نیتروکسین و مایکوریزا بصورت جداگانه و با هم در سایه، دور از تابش مستقیم نور آفتاب بذرمال گردید، سپس بذرها در سایه پهن شده تا خشک شوند آنگاه به کاشت بذور اقدام شد. صفات مورد اندازه گیری شامل رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل کل و کاروتنوئید و صفات فیزیولوژیک نیز شامل شاخص پایداری غشاءو مالون‌دی‌الدئید در مرحله پرشدن دانه از برگ پرچم پنج بوته برای هر تیمار به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری شدند. به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، در زمان رسیدگی بصورت جداگانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هرکرت، بوته‌های موجود در سطحی معادل دو مترمربع برداشت و پس از خرمن کوبی دانه از کاه جدا گردیده و پس از توزین عملکرد دانه محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی کلروفیل کل و کاروتنوئید از طریق روش (Arnon, 1967)، تعیین میزان شاخص

پایداری غشای سلول از روش (Lutts et al., 1996) و غلظت مالون‌دی‌آلدئید از روش (Davey et al., 2005) مورد سنجش قرار گرفتند. محتوای پروتئین دانه با دستگاه NIR (مدل DA N7250 ساخت شرکت Perten کشور سوئد) اندازه‌گیری شد. مشخصات داده‌های هواشناسی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS آنالیز گردید، برای مقایسه میانگین داده‌ها از روش آماری چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. رسم جدول‌ها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد تنش خشکی بر صفات عملکرد دانه، کاروتنوئید، میزان پایداری غشاء، میزان مالون‌دی‌آلدئید و محتوای پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد و در صفت محتوای کلرفیل کل در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری تأثیر معنی‌دار داشت. هم‌چنین، کاربرد منابع کودی و محلول‌پاشی سالیسلیک اسید هر کدام به تنهایی بر تمام صفات مورد ارزیابی در سطح احتمال یک درصد از لحاظ آماری اثر معنی‌دار داشتند. اثر متقابل تنش خشکی، کاربرد منابع کودی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک بر صفات کاروتنوئید و محتوای پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد و در صفت محتوای کلرفیل کل در سطح احتمال یک درصد از نظر آماری اثر معنی‌دار نشان داد.

Table1. Precipitation, relative humidity and temperature during the experimental period

Month	Precipitation (mm)	RH (%)	Minimum temperature (°C)	Maximum temperature (°C)	Mean temperature (°C)
November	53.9	56	6.1	19.9	13
December	111.9	69.5	1.9	13.5	7.7
January	68.8	64	0.2	12.6	6.4
February	36	61	-0.6	11.8	5.6
March	188.8	58	4.9	17.9	11.4
April	39.6	61	6.3	19.6	13
May	12.1	50	10.2	27.3	18.8
June	0.1	26	15.5	36.6	26

Table 2. Soil physical and chemical properties of experimental location

Soil depth	Soil texture	Organic carbon (%)	Total N (%)	Available P (mg.kg $^{-1}$)	Available K (mg.kg $^{-1}$)	pH	EC dS/m
0-30 (cm)	Loam clay	0.86	0.078	4.85	367.5	7.1	0.459

Table 3. Results of analysis of variance of the effects of drought stress, biofertilizer and salicylic acid on the measured traits of wheat

		Mean square					
S.O.V	df	Grain yield	Cell membrane stability index	Malon dialdehyde	Total Chlorophyll Content	Carotenoid	Grain protein content
r	2	315621.21^{ns}	82.437^{ns}	0.037^{ns}	0.55^{ns}	0.05^{ns}	4.129^{ns}
a	1	25130960.50*	1478.939*	0.72*	28.39**	0.92*	28.208*
Error a	2	495753.64	49.347	0.028	0.12	0.03	1.653
b	4	2431017.19**	38.930**	0.082**	0.86**	0.033**	2.698**
c	1	2344537.20**	2176.996**	0.036**	6.46**	0.095**	9.204**
a×b	4	114112.34^{ns}	4.892^{ns}	0.003^{ns}	0.07^{ns}	0.004^{ns}	0.130^{ns}
a×c	1	610.84^{ns}	5.991^{ns}	0.006^{ns}	0.01^{ns}	0.001^{ns}	0.193^{ns}
b×c	4	44645.72^{ns}	4.961^{ns}	0.001^{ns}	0.11**	0.006*	0.721**
a×b×c	4	18533.54^{ns}	1.082^{ns}	0.001^{ns}	0.11**	0.007*	0.363*
Error b	36	92504.44	5.771	0.003	0.03	0.002	0.110
C.V(%)	-	8.33	6.07	0.597	3.95	3.48	2.769

ns, * and **: non-significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respectively.
a: drought stress, b: Fertilizer sources and c: foliar application of salicylic acid.

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین ۴۲۹۸/۳ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با میانگین ۳۰۰۳/۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی کودهای زیستی نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۴۰۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نداشت، و کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۲۹۱۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۳۸۴۸/۸۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۳۴۵۳/۴۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه شد. کاهش عملکرد در گندم ناشی از تنش خشکی ممکن است به دلیل تغییر در روابط آب گیاهان، اختلال در رنگدانه‌های فتوسنتزی، فعالیت فتوسنتزی و آسیب عمده در سطح اکسیداتیو به ماکرومولکول‌ها، و هم‌چنین خرابی غشا و مهار فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی باشد (Abdi et al., 2021). Safar-Noori et al. (2018) اعلام کردند کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به عملکرد بیشتر دانه در گندم تحت آبیاری مطلوب و هم‌چنین شرایط تنش خشکی شد (Safar-Noori et al., 2018). گزارش شده است تنش آبی فتوسنتز برگ را به شدت کاهش می‌دهد و با کاهش مدت زمان فتوسنتز بر نقل و انتقال محصولات فتوسنتزی به دانه‌ها تأثیر می‌گذارد در نتیجه، عملکرد گندم تحت تنش آبی را به میزان معنی‌داری کاهش می‌دهد (Zhao et al., 2020). افزایش عملکرد دانه در سورگوم در تلقیح توام با میکوریز و نیتروکسین (Kamaei et al., 2019) در ذرت با کودزیستی+۵۰ درصد کود شیمیایی (Amani et al., 2017) هم چنین افزایش عملکرد در گندم تلقیح شده با قارچ‌های مایکوریز در مقایسه با عدم تلقیح گزارش شده است (Zhang et al., 2019). استفاده از کود ممکن است با بهبود رشد ریشه و بهره وری مصرف آب، اثرات منفی کمبود آب را کاهش دهد. افزایش رشد و عملکرد توسط میکروارگانیسم‌های محرک رشد به توانایی کودهای زیستی در افزایش در دسترس بودن مواد مغذی در ریزوسفر گیاهان مربوط باشد. کاربرد کود زیستی عملکردگندم را به میزان قابل توجهی افزایش داد، که نشان‌دهنده تعادل در جذب مواد مغذی است (Seyed Sharifi et al., 2020). نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش Zhao et al (2020)، Zhang et al. (2018) و Seyed Sharifi et al. (2020) مطابقت داشت.

شاخص پایداری غشاء

مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که بیشترین شاخص پایداری غشاء در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین ۴۴/۵۲ درصد و کمترین در شرایط تنش خشکی با میانگین ۳۴/۵۹ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین مقایسه میانگین اثر اصلی منابع کودی نشان داد که بیشترین شاخص پایداری غشاء در مصرف بذرمال مایکوریز + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۴۰/۷۵ درصد بدست آمد که با بقیه تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین در تیمار عدم کاربرد کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۳۶/۴۲ درصد به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که بیشترین شاخص پایداری غشاء در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۴۰/۷۵ درصد و کمترین در تیمار عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۳۳/۵۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۴). به‌طورکلی، حفظ ثبات غشای سلولی تحت شرایط تنش خشکی یکی از اجزای اصلی تحمل گیاهان در تنش است گزارش شده است در تنش خشکی، نفوذپذیری غشای سلولی افزایش می‌یابد. با افزایش شدت تنش خشکی، غشای سلولی آسیب دیده و توانایی سلول در کنترل ورود و خروج مواد از غشا کاهش می‌یابد (Eliaspour et al., 2020). هم‌چنین محدودیت آب باعث آسیب اکسیداتیو در سطح سلولی و پراکسیداسیون لیپید بالا می‌شود، که باعث کاهش ثبات غشا و افزایش نشت الکترولیت از سلول‌ها می‌شود(El-hady et al., 2018). گزارش شده است کودهای زیستی دارای اثر تعدیل کننده هستند و به حفظ نفوذپذیری غشاء سلول تحت تنش کمک می‌کنند (Eliaspour et al., 2020). گزارش شده است تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی سبب کاهش شاخص پایداری غشاء در گندم شده است(Ahmadian et al., 2021). Sedaghat et al. (2017) اعلام کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک باعث افزایش شاخص پایداری غشاء و کاهش مقدار نشت یونی تحت تنش آب در گندم شد (Sedaghat et al.,

2017). نتایج پژوهش حاضر با گزارش‌های فوق مطابقت داشت.

Table 4. Comparison of mean of main effects of drought stress, biofertilizers and salicylic acid on studied traits in wheat

Treatments	Grain yield ($kg.h^{-1}$)	Cell Membrane stability index (%)	Malon dialdehyde ($\mu mol.g^{-1}fw$)	Total Chlorophyll Content ($mg.g^{-1}fw$)	Carotenoid ($mg.g^{-1}fw$)	Grain protein content(%)
A1	4298.3[a]	44.52[a]	8.74[b]	5.11[a]	1.56[a]	11.29[b]
A2	3003.9[b]	34.59[b]	8.96[a]	3.75[b]	1.31[b]	12.67[a]
B4	4093.8[a]	40.42[a]	8.77[c]	4.76[a]	1.50[a]	12.44[a]
B3	3673.6[b]	40.75[a]	8.77[c]	4.34[b]	1.41[c]	11.63[c]
B2	3661.8[b]	39.62[a]	8.91[a]	4.32[b]	1.42[c]	12.45[a]
B1	3913.5[ab]	40.54[a]	8.83[b]	4.63[a]	1.46[b]	11.98[b]
B0	2913.0[c]	36.42[b]	8.95[a]	4.08[c]	1.37[d]	11.40[c]
C1	3453.46[b]	33.53[b]	8.87[b]	4.10[b]	1.39[b]	11.59[b]
C2	3848.81[a]	45.57[a]	8.82[a]	4.75[a]	1.47[a]	12.37[a]

مالون‌دی‌آلدئید

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر اصلی تنش خشکی نشان داد که بیشترین مالون‌دی‌آلدئید در شرایط تنش خشکی با میانگین ۸/۹۶ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ و کمترین در شرایط عدم تنش خشکی با میانگین ۸/۷۴ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی کودهای زیستی نشان داد که کمترین مالون‌دی‌آلدئید در تیمار مصرف همزمان کودهای زیستی(نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۸/۷۷ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ به دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با تیمار مایکوریز + ۵۰ درصد کودشیمیایی نداشت و بیشترین در تیمار عدم کاربرد کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی با میانگین ۸/۹۵ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد. مقایسه میانگین اثر اصلی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک نشان داد که کمترین مالون‌دی‌آلدئید در تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۸/۸۲ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ و بیشترین در تیمار عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک با میانگین ۸/۸۷ میکرومولار بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (جدول ۴). گزارش شده است محتوای مالون‌دی‌آلدئید در برگ پرچم ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم تحت تنش خشکی افزایش یافت. تخریب غشاهای سلول از پیامدهای مستقیم کمبود آب است و بین غلظت مالون‌دی‌آلدئید و تنش خشکی رابطه مستقیمی وجود دارد (Sharifi & Mohammadkhani, 2018). در گزارش Abdi et al. (2021) بیان شده است تلقیح مایکوریزایی تجمع مالون‌دی‌آلدئید را تحت تنش خشکی کاهش داده است و پایداری بیشتر غشاء اغلب به سطوح کمتر مالون‌دی‌آلدئید به دلیل پراکسیداسیون لیپید مربوط می‌شود(Abdi et al., 2021). در گزارشی دیگر نیز بیان شد کاربرد قارچ میکوریز + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب کاهش مالون‌دی‌الدئید در مقایسه با عدم مصرف کود در گیاه جو شده است (Naseri et al., 2021). هم‌چنین گزارش شد، اسید سالیسیلک باعث پایداری غشاء سلول و کاهش مالون‌دی‌آلدئید در گندم در شرایط تنش شده است (Khalvandi et al., 2021). نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعات فوق مطابقت داشت.

محتوای کلروفیل کل برگ

نتایج مقایسه میانگین(جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی، کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک بر محتوای کلروفیل کل برگ نشان داد که بیشترین محتوای کلروفیل کل برگ با میانگین ۵/۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار (عدم تنش خشکی + مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار) بدست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با تیمار(عدم تنش خشکی+ کاربرد ۱۰۰ درصد کود شیمیایی+ محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلک) نداشت و کمترین محتوای کلروفیل کل برگ با میانگین ۲/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار(تنش خشکی + عدم مصرف کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی + عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک) به‌دست آمد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای کلروفیل کل تا ۳۷/۳ درصد شد درحالی‌که مصرف منابع کودی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلک باعث تعدیل اثر تنش بر این صفت تا ۲۷/۲ درصد شد. می‌توان نتیجه گرفت مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسلیک بر کاهش اثر تنش بر این صفت مؤثر است.

Table 5. Comparison of the mean of interactions of drought stress × biofertilizers × salicylic acid on studied traits in wheat

Treatments	Total Chlorophyll Content (mg.g^{-1}fw)	Carotenoid (mg.g^{-1}fw)	Grainprotei ncontent (%)
A1B4C2	5.966^{a}	1.700^{a}	12.250^{bcd}
A1B4C1	4.952^{bc}	1.557^{bc}	11.183^{f}
A1B3C2	5.183^{b}	1.523^{cd}	11.167^{f}
A1B3C1	4.733^{cd}	1.501^{cd}	11.000^{f}
A1B2C2	5.130^{b}	1.541^{c}	11.797^{de}
A1B2C1	4.740^{cd}	1.527^{cd}	11.500^{ef}
A1B1C2	5.897^{a}	1.653^{ab}	11.550^{ef}
A1B1C1	4.942^{bc}	1.530^{cd}	11.180^{f}
A1B0C2	5.085^{bc}	1.540^{c}	11.383^{ef}
A1B0C1	4.505^{de}	1.489^{cd}	9.933^{g}
A2B4C2	4.340^{ef}	1.418^{de}	13.033^{a}
A2B4C1	3.763^{gh}	1.339^{ef}	12.273^{bcd}
A2B3C2	3.978^{g}	1.340^{ef}	12.417^{bc}
A2B3C1	3.476^{h}	1.295^{f}	11.933^{cde}
A2B2C2	3.930^{g}	1.326^{ef}	12.930^{ab}
A2B2C1	3.485^{h}	1.276^{f}	12.603^{b}
A2B1C2	4.111f^{g}	1.353^{ef}	12.690^{b}
A2B1C1	3.556^{h}	1.305^{ef}	12.5100^{de}
A2B0C2	3.916^{g}	1.325^{ef}	12.500^{b}
A2B0C1	2.822^{i}	1.107^{g}	11.767^{de}

Means with at least a common letter are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).
A1: (without drought stress), A2: (drought stress), B0: (no use of biofertilizer + 50% chemical fertilizer), B1 :(application of 100% chemical fertilizer), B2: (seed inoculation of nitroxin biofertilizer + 50% Chemical fertilizer), B3: (seed inoculation of mycorrhizal + 50% chemical fertilizer), B4: (simultaneous use of biofertilizers (nitroxin + mycorrhiza) + 50% chemical fertilizer), C1: (no foliar application of salicylic acid), C2: (Foliar application of 1 mM salicylic acid)

گزارش شده است تنش آبی در ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌طور قابل توجهی رنگدانه‌های فتوسنتزی را در مقایسه با شاهد کاهش داده است. کاهش رنگدانه‌های کلروفیل ناشی از خشکی ممکن است به دلیل مهار فرآیندهای حیاتی فتوسنتز، مانند بیوسنتز کلروفیل باشد، که درنهایت سبب کاهش محتویات کلروفیل می‌شود (Parveen et al., 2021). هم‌چنین Abdelaal et al. (2020) اعلام کردند که تأثیر مخرب تنش خشکی بر غلظت کلروفیل در جو می‌تواند به علت کاهش در جریان آب، کاهش کلروفیل، اختلال در تیلاکوئید، دهیدراته شدن پروتوپلاسم و هم‌چنین آسیب اکسیداتیو به کلروپلاست باشد (Abdelaal et al., 2020). گزارش شده است کاربرد اسید سالیسیلیک توانست محتوای کلروفیل (a+b)، در گیاهان گندم تحت تنش و بدون تنش را افزایش دهد. اسید سالیسیلیک باعث افزایش طول عمر برگ گیاهان در خشکی می‌شود و پیری درگیاهان را با نگه داشتن و حفظ محتوای کلروفیل به تأخیر می‌اندازد (Aldesuquy et al., 2018). در گزارش Azmat et al. (2020) بیان شد که تنش خشکی در گندم باعث کاهش محتوای کلروفیل a و b شده، اما تیمار ترکیبی کودهای زیستی و اسید سالیسیلک در گندم سبب افزایش محتوای کلروفیل و تعدیل اثر تنش گردیده است (Azmat et al., 2020). در گزارشی دیگراعلام شده است که تلقیح بذر با کودهای زیستی باعث افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی که دلیل آن افزایش جذب نیتروژن و تولید فیتوهورمون‌ها مانند اکسین، جیبرلین و سیتوکینین است (Seyed Sharifi et al., 2020). Parveen et al. (2021) اعلام کردند محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک رنگدانه‌های کلروفیل را در ارقام گندم تحت شرایط تنش و عدم تنش افزایش داد، اثرات مفید کاربرد اسید سالیسیلیک را به اثرات تحریکی آن بر فعالیت روبیسکو و درنهایت افزایش فتوسنتز نسبت داده شده است (Parveen et al., 2021). نتایج این تحقیق با نتایج سایر تحقیقات مطابقت داشت.

محتوای کاروتنوئید برگ

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی، کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک بر محتوای کاروتنوئید برگ نشان داد که بیشترین محتوای کاروتنوئید برگ با میانگین ۱/۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار (عدم تنش خشکی + مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلک) و کمترین محتوای کاروتنوئید برگ با میانگین ۱/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ در تیمار (تنش خشکی + عدم مصرف کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی + عدم محلول‌پاشی اسید سالیسیلک) به‌دست آمد. تنش خشکی باعث کاهش محتوای کاروتنوئید تا ۲۵/۷ درصد شد درحالی‌که مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسیلک باعث تعدیل این تا ۱۶/۶ درصد شد. بر این اساس مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اثر منفی تنش را بر میزان کاروتنوئید کاهش داده است. گزارش شده است محتوای کاروتنوئید در گندم تحت تنش کاهش و درکاربرد با اسید سالیسیلیک افزایش یافت (Azmat et al., 2020, Parveen et al., 2021). Kamali et al. (2020) اعلام کردند تلقیح با کودهای زیستی نیتروکسین و مایکوریز محتوای کاروتنوئید

کل را در سورگوم دانه‌ای افزایش داد (Kamali & Mehraban, 2020b). کاروتنوئیدها مسئول از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها در هنگام تنش اکسیداتیو هستند. احتمالاً، این کودهای زیستی با فعال کردن مسیر پلاستیدی متیل اریتریتول فسفات به عنوان پیش سازهای سنتز کاروتنوئیدها، تولید کاروتنوئیدها را تحریک می‌کنند. بنابراین، افزایش محتوای کاروتنوئید گیاهی باعث ایجاد مکانیسم‌های مقاومت مثبت می‌شود که می‌توانند توسط این کودهای زیستی فعال شوند تا تحمل گیاه به شرایط خشکی بهبود بخشند(Kamali & Mehraban, 2020b). نتایج گزارش شده فوق با نتایج پژوهش حاضر هم‌سو بود.

پروتئین دانه

نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی، کودهای زیستی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک بر پروتئین دانه نشان داد که بیشترین پروتئین دانه با میانگین ۱۳/۰۳ درصد در تیمار (تنش خشکی + مصرف همزمان کودهای زیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسلیک) به‌دست آمد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با تیمار (تنش خشکی + مصرف بذرمال کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی + محلول‌پاشی یک میلی‌مولار اسید سالیسلیک) نداشت. کمترین پروتئین دانه با میانگین.۹/۹۳ درصد در تیمار (عدم تنش خشکی+ عدم مصرف کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی+ عدم محلول‌پاشی اسید سالیسلیک) به‌دست آمد. در گزارش Azadi et al. (2021) بیان شد که تنش خشکی و کاربرد توام کودهای شیمیایی و کود زیستی میزان پروتئین دانه گندم را افزایش داده است و بیان کردند در شرایط تنش خشکی در اثر کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها ذخیره نشاسته در آن کاهش یافته که این امر سبب کوچک شدن دانه و افزایش درصد پروتئین دانه می‌گردد، و کودهای زیستی شامل باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی هستند که منجر به تغییر در اسیدهای آمینه اندوخته در بذر شده و میزان پروتئین دانه گندم را افزایش می‌دهند(Azadi et al., 2021). گزارش شده است ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با ابیاری کامل سبب افزایش پروتئین دانه شده است که می‌تواند ناشی ازکاهش عملکرد باشد(Ahmadian et al., 2021).

در گزارشی دیگر بیان شده است افزایش پروتئین دانه در تیمار کود شیمیایی و کود زیستی، می‌تواند ناشی از افزایش فتوسنتز و در نتیجه انتقال بیشتر نیتروژن و مواد به دانه باشد. افزایش میزان پروتئین در تیمار کود شیمیایی همراه با باکتری هم‌چنین می‌تواند به دلیل فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق تامین نیتروژن موردنیاز در طول فصل رشد باشد، و تامین نیتروژن از راه تثبیت بیولوژیک و رهاسازی نیتروژن قابل جذب اطراف ریشه گیاه توسط باکتری سبب بهبود تامین نیتروژن دانه و افزایش کارایی نیتروژن می‌شود (Seyedi et al., 2018). هم‌چنین گزارش است که محلول‌پاشی اسید سالیسلیک در گندم دیم رقم سرداری باعث تولید بیشترین پروتئین دانه شد (Yousefi Rad & Safa, 2021). هم‌چنین Safar-Noori et al. (2018) اعلام کردند کاربرد اسید سالیسلیک باعث افزایش محتوای پروتئین در گندم تحت شرایط تنش خشکی شد. بیان شد این افزایش ممکن است به دلیل افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز با کاربرد اسید سالیسلیک باشد(Safar-Noori et al., 2018). نتایج پژوهش‌های بیان شده با پژوهش حاضر همسو بود.

نتیجه‌گیری

تنش خشکی بر گندم رقم چمران دو باعث کاهش صفات عملکرد دانه، محتوای کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئید، شاخص پایداری غشاء، افزایش پروتئین دانه و مالون‌دی‌آلدئید شد. و تیمار تغذیه کودی و محلول‌پاشی اسید سالیسلیک به تنهایی و با هم توانستند اثر تنش را تا حدودی کاهش دهند. کاربرد کودزیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک توانست ضمن افزایش مقاومت به شرایط تنش خشکی، از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه شرایط مساعدی را برای رشد و عملکرد مطلوب‌تر گیاه، فراهم نماید. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت کاربرد کودزیستی (نیتروکسین + مایکوریز) + ۵۰ درصد کود شیمیایی و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک می‌تواند به‌عنوان یک کود موثر و جایگزین به منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کمبود آب در شرایط خرم‌آباد در جهت کشاورزی پایدار عمل کند. در نتیجه می‌توان جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشت این رقم گندم در شرایط تنش خشکی این تیمار به کشاورز پیشنهاد شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان از کارشناسان آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان که در انجام این پژوهش صمیمانه همکاری داشتند، قدردانی می‌نمایند.

References

Abdelaal, K.A., Attia, K.A., Alamery, S.F., El-Afry, M.M., Ghazy, A.I., Tantawy, D.S., … & Hafez,Y. M. (2020). Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. *Sustainability,* 12(1736), 1-15.

Abdi, N., van Biljon, A., Steyn, C., & Labuschagne, M. T. (2021). Bread wheat (*Triticum aestivum*) responses to arbuscular mycorrhizae inoculation under drought stress conditions. *Plants*, 10(9), 1756.

Ahmadian, K., Jalilian, J., & Pirzad, A. (2021). Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 244, 106544.

Ajmal, M., Ali, H. I., Saeed, R., Akhtar, A., Tahir, M., Mehboob, M. Z., & Ayub, A. (2018). Biofertilizer as an alternative for chemical fertilizers. research and reviews: *Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 7(1), 1-7.

Aldesuquy, H. S., Ibraheem, F. L., & Ghanem, H. E. (2018). Exogenously supplied salicylic acid and trehalose protect growth vigor, chlorophylls and thylakoid membranes of wheat flag leaf from drought-induced damage. *Journal* of *Agriculture* and *Forest Meteorology Research*, 1(1), 13-20.

Alizadeh, F., Nasrolahi, A., Saeidinia, M., & Sharifipour, M. (2020). Effect of Deficit Irrigation and Different Nitrogen Levels on Wheat Yield and Water Productivity (Case Study: Khorramabad). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6), 1417-1426. [In Persian]

Amani, N., Sohrabi, Y., & Heidari, G. (2017). Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(2), 65-83. [In Persian]

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1), 112-121.

Azadi, M. S., Shokoohfar, A. R., Mojadam, M., Lak, S., & Alavifazel, M. (2021). Effect of potassium chemical and biological fertilizers on biochemical traits of corn hybrids under drought stress and determination of traits affecting grain yield. Environmental Stresses in *Crop Sciences*, 14(1), 27-38. [In Persian]

Azizi, G. (2000). Estimation of effective rainfall in relation to rainfed wheat cultivation (Case: Khorramabad plain). *Geographical Research Quarterly*, 32(38), 115-123. [In Persian]

Azmat, A., Yasmin, H., Hassan, M.N., Nosheen, A., Naz, R., Sajjad, M., Ilyas, N., & Akhtar, M. N. (2020). Co-application of bio-fertilizer and salicylic acid improves growth, photosynthetic pigments and stress tolerance in wheat under drought stress. *PeerJ*, 8, e9960.

Daiyoulhagh, D., Rashidi, V., Aharizad, S., Farahvash, F., & Mershekari, B. (2020). Yield Stability analysis of advanced spring wheat genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Plant Productions*, 44(2), 489-502. [In Persian]

Davey, M. W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J., & Swennen, R. L. (2005). High-throughput determination of malondialdehyde in plant tissues. *Analytical Biochemistry*, 347(2), 201-207.

El-hady, A., Fergani, M. A., El-temsah, M. E., & Abdelkader, M. A. (2018). Physiological response of some wheat cultivars to antitranspirant under different irrigation treatments. *Middle East Journal*, 7(1), 100-109.

Eliaspour, S., Seyed Sharifi, R., Shirkhani, A., & Farzaneh, S. (2020). Effects of biofertilizers and iron nano-oxide on maize yield and physiological properties under optimal irrigation and drought stress conditions. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 5985-5998.

Gao, C., El-Sawah, A. M., Ali, D. F. I., Alhaj Hamoud, Y., Shaghaleh, H., & Sheteiwy, M. S. (2020). The integration of bio and organic fertilizers improve plant growth, grain yield, quality and metabolism of hybrid maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*, 10(3), 319.

Hafez, E. M., Kheir, A. M., Badawy, S. A., Rashwan, E., Farig, M., & Osman, H. S. (2020). Differences in physiological and biochemical attributes of wheat in response to single and combined salicylic acid and biochar subjected to limited water irrigation in saline sodic soil. *Plants*, 9(10), 1346.

Hafez, E., Omara, A. E. D., & Ahmed, A. (2019). The coupling effects of plant growth promoting rhizobacteria and salicylic acid on physiological modifications, yield traits, and productivity of wheat under water deficient conditions. *Agronomy*, 9(9), 524.

Kamaei, R., Faramarzi, F., Parsa, M., & Jahan, M. (2019). The effects of biological, chemical, and organic fertilizers application on root growth features and grain yield of Sorghum. *Journal of Plant Nutrition*, 42(18), 2221-2233.

Kamali, S., & Mehraban, A. (2020). Effects of Nitroxin and arbuscular mycorrhizal fungi on the agro-physiological traits and grain yield of sorghum (Sorghum bicolor L.) under drought stress conditions. *PLoS One*, 15(12), e0243824.

Kamali, S., & Mehraban, A. (2020). Nitroxin and arbuscular mycorrhizal fungi alleviate negative effects of drought stress on Sorghum bicolor yield through improving physiological and biochemical characteristics. *Plant Signaling & Behavior*, 15(11), 1813998.

Khalvandi, M., Siosemardeh, A., Roohi, E., & Keramati, S. (2021). Salicylic acid alleviated the effect of drought stress on photosynthetic characteristics and leaf protein pattern in winter wheat. *Heliyon*, 7(1), e05908.

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (Oryza sativaL.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78(3), 389-398.

Naderi, A., & Eslahi, M. R. (2019). Evaluation of Succeptibility of Some Phenological Stages of Wheat Genotypes in Response to Drought Stress. *Plant Productions*, 42(1), 133-148. [In Persian]

Naseri, R., Mirzaei, A., & Abbasi, A. (2021). Effect of application of different fertilizer sources on physiological and biochemical traits of new cultivars of barley under dryland conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(2), 121-140. [In Persian]

Parveen, A., Arslan Ashraf, M., Hussain, I., Perveen, S., Rasheed, R., Mahmood, Q., … & Alqarawi, A. A. (2021). Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed triticum aestivum in relation to foliar-application of salicylic acid. *Water*, 13(9), 1316.

Safar-Noori, M., Assaha, D. V. M., & Saneoka, H. (2018). Effect of salicylic acid and potassium application on yield and grain nutritional quality of wheat under drought stress condition. *Cereal Research Communications*, 46(3), 558-568.

Sedaghat, M., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Emam, Y., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 119, 59-69.

Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., Pirzad, A., & Anwar, S. (2020). Effects of biofertilizers and nano zinc-iron oxide on yield and physicochemical properties of wheat under water deficit conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(19), 2511-2524.

Seyedi, M., Mojaddam, M., Babaei Nejad, T., & Derogar, N. (2018). Study of the chemicals and biological interaction effects on quantitative and qualitative characteristics of some bread wheat cultivars in Shoushtar climatic. *Journal of Plant Production Sciences*, 8(1), 1-11. [In Persian]

Sharifi, P., & Mohammadkhani, N. (2018). Effects of drought stress on enzymatic and non-enzymatic antioxidants in flag leaf and spikes of tolerant and sensitive wheat genotypes. *Plant Productions*, 41(3), 37-50. [In Persian]

Shemi, R., Wang, R., Gheith, E.S., Hussain, H.A., Hussain, S., Irfan, M., Cholidah, L., Zhang, K., Zhang, S., & Wang, L. (2021). Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, 11(1), 1-14.

Yousefi Rad, M., & Safa, H. (2021). Effect of foliar application of salicylic acid and selenium on yield and yield components of dry land wheat. *Cereal Research*, 11(1), 31-41. [In Persian]

Zhang, B., Zhang, H., Wang, H., Wang, P., Wu, Y., & Wang, M. (2018). Effect of phosphorus additions and arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on the growth, physiology, and phosphorus uptake of wheat under two water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(7), 862-874.

Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z., & Rillig, M. C. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: A meta-analysis. *New Phytologist*, 222(1), 543-555.

Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water*, 12(8), 2127.