University of Birjand

Environmental Stresses in Crop Sciences

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

https://doi.org/10.22077/escs.2026.9032.2351

Original article

The effect of plant growth regulators on photosynthetic pigments, grain filling components and some traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rainfed and supplementary irrigation conditions

Foroozan Khodaei[1], Razieh Khalilzadeh[2*], Khosro Azizi[3]

1. *M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran*
2. *Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran*
3. *Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran*

Received 28 February 2025; Revised 8 April 2025; Accepted 10 April 2025

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Water deficit stress is one of the most important factors that reduce crop yields. Under drought stress conditions, various molecular, biochemical, physiological, morphological, and quality-related processes are disrupted (Narimani et al., 2019). Supplementary irrigation is a crucial strategy for mitigating the negative impacts of drought stress in crops. Early implementation of supplementary irrigation during dry years or at critical growth stages can help stabilize crop yields (Alkatb, 2022). Considering the role of wheat as a major source of calories and protein for the Iranian population, the relatively low yield of wheat in rainfed farming systems, and the large proportion of wheat cultivation under rainfed conditions in Iran, it is necessary to investigate strategies for increasing wheat productivity per unit area. The use of plant growth regulators can mitigate the adverse effects of abiotic stresses on agricultural production in arid and semi-arid regions (Nezamdoost et al., 2023). Selenium is a non-essential element for most plants but an essential micronutrient for animals and humans (Lanza et al., 2021). Ascorbic acid is a natural antioxidant and plant growth regulator that can enhance grain yield, yield components, and water use efficiency in wheat (Amin et al., 2008). Methanol is considered a readily absorbed carbon source for plants, and its application can enhance the growth and yield of C3 species (Huve et al., 2007). Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of supplementary irrigation and selected growth regulators, including selenium, ascorbic acid, and methanol, on wheat growth and yield

Materials and methods

To investigate the effects of three irrigation regimes (supplementary irrigation at the flowering stage, supplementary irrigation at the grain filling stage, and rainfed conditions) and four plant growth regulator treatments (foliar application of selenium, ascorbic acid, methanol, and water as the control) on the quantitative and qualitative characteristics of wheat, a split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted during 2023–2024 at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, Lorestan University. Foliar application of the growth regulators was performed at the 4–6 leaf and stem elongation stages.

Results and discussion

The results indicated that drought stress reduced grain yield, morphological traits, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, grain-filling rate, and grain-filling period, whereas foliar

* Corresponding author: Razieh Khalilzadeh; E-Mail: Khalilzadeh.r@lu.ac.ir

© 2026, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

application of plant growth regulators enhanced these traits. The maximum levels of chlorophyll a (8.8 mg g^{-1} FW), total chlorophyll (11.13 mg g^{-1} FW), and carotenoids (4.45 mg g^{-1} FW) were observed with the application of ascorbic acid, selenium, and selenium or ascorbic acid, respectively, under supplementary irrigation at the flowering stage. Methanol application under non-irrigated conditions resulted in the highest grain filling rate (2.66 g day^{-1}), whereas foliar application of ascorbic acid under irrigation at the grain filling stage resulted in the longest grain filling period (44.02 days) and an effective grain filling period (36.43 days). Supplementary irrigation at the grain filling stage and ascorbic acid application produced the highest grain yields (1920.58 and 1882.78 kg ha^{-1}, respectively). Grain yield increased by 5.9% and 12.6% under supplementary irrigation at the flowering and grain filling stages, respectively, compared with non-irrigated conditions. Likewise, foliar application of selenium, ascorbic acid, and methanol increased grain yield by 1.1%, 8.3%, and 7.1%, respectively, compared with the control.

Conclusion

Foliar application of plant growth regulators combined with supplementary irrigation may mitigate the adverse effects of water deficit stress by improving photosynthetic pigments and grain filling traits. Therefore, the combined use of these growth regulators and supplementary irrigation can improve wheat growth and yield under rainfed conditions.

Keywords: Ascorbic acid, Chlorophyll, Methanol, Rate grain filling, Selenium

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2026.9032.2351

مقاله پژوهشی

اثر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، اجزای پر شدن دانه و برخی صفات گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

فروزان خدایی[1]، راضیه خلیل‌زاده[2*]، خسرو عزیزی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۲. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان
۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
اسید آسکوربیک
سرعت پر شدن دانه
سلنیوم
کلروفیل
متانول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سه سطح مختلف آبیاری (آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی، دانه‌بندی و بدون آبیاری (کشت دیم)) و چهار سطح تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی (محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک، متانول و محلول‌پاشی آب به‌عنوان شاهد) بر صفات کمی و کیفی گندم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. نتایج نشان داد تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی، کلروفیل a، b، کل، کارتنوئید، سرعت پر شدن دانه و دوره پر شدن دانه شد، درصورتی که محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی موجب بهبود این صفات شد. بیش‌ترین محتوای کلروفیل a با کاربرد اسید آسکوربیک (۸/۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کلروفیل کل با محلول‌پاشی سلنیوم (۱۱/۱۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کارتنوئید با کاربرد سلنیوم و اسید آسکوربیک (۴/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر) تحت شرایط آبیاری در مرحله گلدهی به‌دست آمد. حداکثر سرعت پر شدن دانه (۲/۶۶ میلی‌گرم در روز) با کاربرد متانول تحت شرایط بدون آبیاری و بالاترین دوره پر شدن دانه (۴۴/۰۲ روز)، دوره مؤثر پر شدن دانه (۳۶/۴۳ روز) با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک تحت شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی ثبت شد. آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی و کاربرد اسید آسکوربیک دارای بیش‌ترین عملکرد دانه (به ترتیب با ۱۹۲۰/۵۸ و ۱۸۸۲/۷۸ کیلوگرم در هکتار) بودند. عملکرد دانه تحت تأثیر انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی در مقایسه با شرایط بدون آبیاری به ترتیب ۵/۹ و ۱۲/۶ درصد و محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد (بدون محلول‌پاشی) به ترتیب ۱/۱، ۸/۳ و ۷/۱ درصد افزایش یافت. بنابراین، محلول‌پاشی تنظیم-کننده‌های رشد گیاهی و انجام آبیاری تکمیلی توانسته است رشد و عملکرد گندم را از طریق بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی و صفات پر شدن دانه تحت شرایط دیم افزایش دهد.

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین تنش غیرزنده مؤثر بر تولید گیاهان زراعی در دنیا و به خصوص در مناطق خشک و نیمه-خشک جهان محسوب می‌شود (Chaves and Oliveira, 2004). تنش خشکی در غلات اغلب در طول دوره پر شدن دانه اتفاق می‌افتد و موجب کاهش محصول در بیش‌تر مناطق مورد کشت در دنیا می‌شود (Altenbach et al., 2003). در مناطق خشک، کمبود آب در خاک معمولاً در حساس‌ترین مراحل رشدی گیاه مانند گلدهی و پر شدن دانه اتفاق می‌افتد که سبب کاهش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Alkatb, 2022). بنابراین اتخاذ استراتژی‌های مناسب در راستای جلوگیری از کاهش عملکرد و دستیابی به پتانسیل مطلوب تولید گیاهان زراعی تحت شرایط دیم بسیار ضروری است. آبیاری تکمیلی به‌عنوان یکی از این راه‌کارهای مؤثر در بهبود کارایی مصرف آب در سیستم‌های کشاورزی دارای

* نگارنده پاسخگو: راضیه خلیل‌زاده. پست الکترونیک: Khalilzadeh.r@lu.ac.ir

بارندگی کم مطرح است. انجام آبیاری تکمیلی یک راه‌کار مؤثر و مطلوب در راستای تعدیل اثرات زیانبار ناشی از تنش خشکی بر عملکرد گیاهان زراعی دیم در دوره‌های خشک به شمار می‌رود (Alkatb, 2022). گائو و همکاران (Gao et al., 2017) اظهار داشتند که انجام آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه که به‌عنوان حساس‌ترین مراحل فیزیولوژیکی برای آبیاری به شمار می‌روند، می‌تواند اثرات ناشی از تنش را کاهش داده و سبب افزایش عملکرد گیاه شود.

وزن دانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه است و به وسیله سرعت و مدت پر شدن دانه، تعیین می‌شود. سرعت پر شدن دانه به مقدار زیادی بـه وسیله ژنوتیپ کنترل می‌شود ولی مدت پر شدن آن تحت تأثیر محیط است. دوره مؤثر پر شدن دانه اکثراً برای ارزیابی نسبی طول دوره پر شدن دانه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khalilzadeh et al., 2017). محلول‌پاشی هورمون‌های رشد گیاهی و ترکیبات شیمیایی مختلف در مناطق دیم یکی از روش‌های تنظیم نمو گیاه جهت رشد مناسب و حصول عملکرد بالا محسوب می‌شود (Nezamdoost et al., 2023). سلنیوم یک عنصر معدنی کمیاب در طبیعت و یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری برای سلامت انسان و حیوانات با ویژگی ضداکسیدکنندگی است که استفاده از آن یک راهکار مطلوب در جهت افزایش تحمل به خشکی (Broadley et al., 2015) و شوری (Hasanuzzaman et al., 2011) در گیاهان به شمار می‌رود. این عنصر وظایف مهمی از قبیل حفاظت آنتی‌اکسیدانی، متابولیسم انرژی و تنظیم اکسیداسیون و احیا را طی نسخه‌برداری و بیان ژن ایفا می‌کند (Fordyce, 2005). افزایش رشد و عملکرد گیاهان گوناگون از جمله گندم (Iqbal et al., 2015) و برنج (Fang et al., 2008) با استفاده از محلول‌پاشی سلنیوم نشان داده شده است. اسید آسکوربیک یکی از مکانیسم‌های دفاعی غیرآنزیمی گیاهان در برابر تنش‌های محیطی است که سبب خنثی کردن گونه‌های فعال اکسیژن از جمله سوپراکسید و اکسیژن تکی می‌شود و از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های ناشی از متابولیسم‌های هوازی فتوسنتز و تنفس و حتی آلودگی‌ها و نیز از پروتئین‌ها و لیپیدها در مواجهه با تنش‌های محیطی محافظت می‌کند (Akram et al., 2017). مصرف اسید آسکوربیک تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و کارایی مصرف آب در گندم داشت (Amin et al., 2008). متانول به‌عنوان یک منبع کربن برای گیاهان به شمار می‌رود که به راحتی جذب گیاهان می‌شود و نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد متانول سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان سه‌کربنه می‌شود (Huve et al., 2007). متانول نقش‌های مثبت متعددی از جمله، افزایش تثبیت CO_2 در گیاهان و بهبود فتوسنتز و عملکرد (Galbally and Kirstine, 2002)، افزایش میلی ترکیبی بیشتر روبیسکو با مولکول‌های CO_2 نسبت به O_2، کاهش تنفس نوری، کاهش تولید رادیکال‌های آزاد، تغییر پتانسیل اسمزی برگ‌ها و افزایش فشار آماس و هدایت روزنه‌ای و در نتیجه بهبود سرعت آسیمیلاسیون دارد (Makhdum et al., 2002). گندم به‌عنوان مهم‌ترین غله در بسیاری از مناطق جهان شناخته می‌شود و با تولید بیش از ۷۷۱ میلیون تن در حدود ۲۱٪ از نیاز غذایی جمعیت جهان را فراهم می‌کند (Tsvetanov et al., 2016). ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک با حدود ۶ میلیون هکتار گندم قرار دارد که حدود ۶۲ درصد آن دیم است و سطح زیر کشت گندم دیم در استان لرستان ۱۹۲ هزار هکتار است (Rahimi-Moghaddam et al., 2021).

باتوجه‌به نقش گندم به‌عنوان مهم‌ترین منبع غذایی در تأمین کالری و پروتئین مردم کشور ایران و نیز عملکرد پایین گندم در مناطق دیم و از طرفی به دلیل اینکه سطح قابل‌توجهی از مناطق تحت کشت گندم ایران را دیم‌زارها تشکیل می‌دهد، بررسی راهکارهای لازم برای افزایش میزان تولید در واحد سطح این محصول ضرورت دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از جمله متانول، اسید آسکوربیک و سلنیوم که در شرایط تنش در بهبود عملکرد گیاهان مؤثر است اشاره کرد. عوامل ذکر شده باعث شد تا پژوهش حاضر با هدف تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در مراحل مختلف رشدی گیاه بر صفات مورفوفیزیولوژیک گندم تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی طراحی و اجرا شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان در کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد اندیمشک با طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیائی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۱۷ متر از سطح دریا به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال

زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح {آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (BBCH 61-65)، دانه‌بندی (BBCH 71-73) و بدون آبیاری (کشت دیم)} و تنظیم‌کننده‌های رشدی به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح {محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول به ترتیب با غلظت‌های ۸۰ میلی‌گرم در لیتر، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، و ۲۰ میلی مولار و محلول‌پاشی آب به‌عنوان شاهد در دو مرحله ۴-۶ برگی (BBCH 14-16) و مرحله ساقه روی (BBCH 30-31)} بود. آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ انجام شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم پائیزه با گاوآهن چیزل و دیسک جهت خرد کردن کلوخه‌ها بود.

هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر و با فاصلهٔ بین ردیفی ۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع بود (Hosseinpour et al., 2015). فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد.

رقم گندم کشت شده آذر ۲ بود که از جهاد کشاورزی تهیه شد. گندم آذر ۲ دارای تیپ رشد زمستانه، زودرس، مقاوم به ورس، ریزش دانه، سرما و خشکی است. تنظیم‌کننده‌های رشدی متانول، اسید آسکوربیک و سلنیوم از شرکت جهان کیمیا تهیه شد. کاشت به‌صورت دستی در ۱۵ آبان ماه سال ۱۴۰۲ به‌صورت خشکه‌کاری انجام شد و با بارندگی در تاریخ ۱۸ آبان سبز شدند. در طول فصل رشد جهت مبارزه با علف-های هرز از سم آتلانتیس استفاده شد. خاک مزرعه دارای بافت لومی رسی با درصد نیتروژن ۰/۱۱، میزان فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱۲/۶ و ۳۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، pH برابر ۷/۷۸، و شوری ۱/۴۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. بر پایه نتایج تجزیه آزمون خاک، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل در زمان کاشت مصرف شد. متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش در طول فصل رشد در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. متوسط دما و بارندگی ماهانه منطقه مورد آزمایش طی فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Table 1. Average monthly temperature and rainfall of the experiment area during the growing season in the 2023-2024 crop year

	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
دما (°C) Temperature	22.1	15.3	9.7	7.9	7.4	8.6	13.9	18.3	26.4
بارندگی Rainfall (mm)	1.4	45.8	29.2	43	99.6	67.8	94.6	107.8	0.4

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی

رنگیزه‌های فتوسنتزی به روش آرنون (Arnon, 1949) اندازه‌گیری شد. بدین منظور ۰/۲گرم از بافت تازه برگ با استفاده از استن ۸۰ ٪ کامل پودر گردید و حجم نهایی با استون ۸۰٪ به ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰ دور سانتریفیوژ شد و پس از آن محلول بالایی نمونه‌ها برداشت و جذب نوری آن‌ها در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید با استفاده از روابط ۱ تا ۴ محاسبه شدند.

$$\text{کلروفیل } a = (۱۹/۳\times A_{۶۶۳} - ۰/۸۶ \times A_{۶۴۵})\, V/۱۰۰W \quad [۱]$$

$$\text{کلروفیل } b = (۱۹/۳\times A_{۶۴۵} - ۳/۶ \times A_{۶۶۳})V/۱۰۰\, W \quad [۲]$$

$$\text{کلروفیل کل} = \text{کلروفیل } a + \text{کلروفیل } b \quad [۳]$$

$$\text{کارتنوئید} = (۱۰۰۰A_{۴۷۰} - ۱/۸۲Ca - ۸۵/۰۲Cb)/۱۹۸ \quad [۴]$$

در این روابط V حجم استون استفاده شده و W وزن نمونه گیاهی استفاده شده است.

سنجش اجزای پر شدن دانه

چند روز پس از مرحله ظهور سنبله به‌منظور سنجش پر شدن دانه نمونه‌برداری در هر پنج‌روز یک‌بار و در هر نمونه‌برداری پنج سنبله از هر کرت به‌صورت تصادفی برداشت شد. نمونه‌برداری‌ها تا زمان ثابت ماندن وزن دانه‌ها ادامه داشت. پس از آن دانه‌ها از سنبله جدا و در آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت قرار داده شد و پس از طی این زمان وزن خشک تک دانه با ترازوی دیجتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد (Ronanini et al., 2004). در نهایت

نسخه پیش از انتشار

از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) به کمک رویه DUD و برنامه Proc NLIN نرم افزار SAS به‌منظور تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از رابطه ۵ استفاده شد.

$$GW=\begin{cases} a+bt_0 & \& \ t<T_0 \\ a+bt & \& \ t>T_0 \end{cases} \quad \text{در} \qquad [۵]$$

این رابطه t زمان، t_0 پایان دوره پر شدن دانه، a عرض از مبدأ، GW وزن دانه و b شیب خط تا مرحله رسیدگی وزنی که بیانگر سرعت پر شدن دانه است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t_0 که زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله ($t_0 < t$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد. با برازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) به دست آمده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه ۵ قرار داده شده و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه ۶ استفاده شد (Ellis and Pieta-Filho, 1992).

$$EFP=MGW / GFR \qquad [۶]$$

دراین‌رابطه EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و GFR سرعت پر شدن دانه است.

صفات عملکرد و اجزای عملکرد

در پایان فصل رشد در تاریخ ۳۰ خرداد و در زمان رسیدگی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای از خطوط اصلی هر کرت از سطحی معادل ۰/۴ مترمربع جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل برداشت شد. تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در بوته در ۵ بوته از هر واحد آزمایشی اندازه‌گیری شدند.

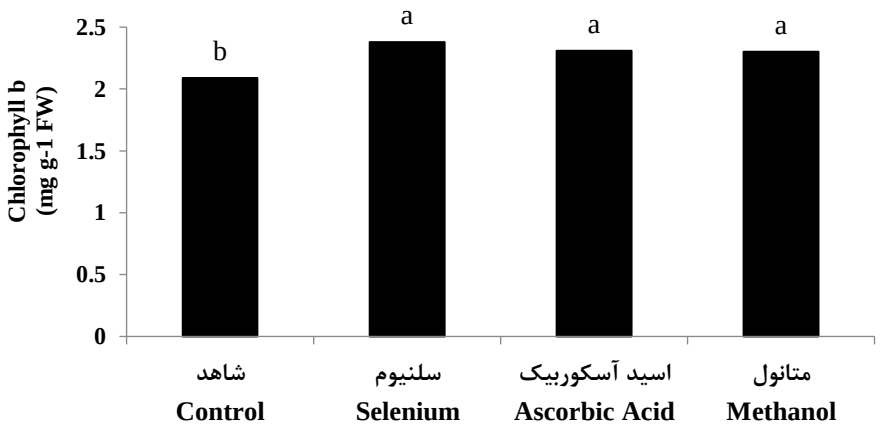
برای تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و Excel استفاده شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تنظیم‌کننده‌های رشد بر تمام صفات موردمطالعه و همچنین اثر اصلی آبیاری و اثر برهم‌کنش آبیاری در تنظیم‌کننده رشد (به‌استثنای کلروفیل b) بر دیگر صفات معنی‌دار بود (جدول ۲)

رنگیزه‌های فتوسنتزی

تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی نسبت به شرایط آبیاری تکمیلی محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی a، کل و کارتنوئید کاهش یافت، بااین‌وجود محتوای کلروفیل b تغییر معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با عدم کاربرد تنظیم‌کننده (شاهد) موجب افزایش محتوای کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید شد. اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد نشان داد بالاترین میزان کلروفیل b با محلول‌پاشی سلنیوم حاصل شد که با تیمارهای استفاده از اسید آسکوربیک و متانول تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. حداقل محتوای کلروفیل b (۲/۰۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) تحت شرایط بدون مصرف تنظیم‌کننده رشد حاصل شد (شکل ۱).



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر تنظیم‌کننده رشد بر محتوای کلروفیل b گندم

Fig. 1. Mean comparison of the effect of growth regulator on chlorophyll b content of wheat

کاربرد تنظیم‌کننده‌های سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با عدم کاربرد تنظیم‌کننده (شاهد) محتوای کلروفیل b را به ترتیب ۱۳/۸، ۱۰/۵ و ۱۰ درصد ارتقا داد (شکل ۱). اثر متقابل دوگانه آبیاری در تنظیم‌کننده رشد نشان داد که حداکثر محتوای کلروفیل a با کاربرد اسید آسکوربیک و سلنیوم، کلروفیل کل با محلول‌پاشی سلنیوم و اسید آسکوربیک و کاروتنوئید با کاربرد سلنیوم و اسید آسکوربیک تحت شرایط آبیاری در مرحله گلدهی به دست آمد (جدول ۳). پایین‌ترین میزان کلروفیل a تحت شرایط اعمال محدودیت آبی و کاربرد متانول ثبت شد که از نظر آماری با عدم کاربرد تنظیم‌کننده در شرایط بدون آبیاری و نیز عدم مصرف تنظیم‌کننده تحت شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی تفاوت معنی‌داری نداشت. هم‌چنین پایین‌ترین میزان کلروفیل کل تحت شرایط بدون مصرف تنظیم‌کننده و در حالت عدم آبیاری تکمیلی مشاهده گردید که تفاوت آن با ترکیبات تیماری بدون مصرف تنظیم‌کننده در شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی و نیز کاربرد متانول در شرایط بدون آبیاری غیرمعنی دار بود. حداقل محتوای کاروتنوئید تحت شرایط بدون مصرف تنظیم‌کننده (شاهد) و در حالت بدون آبیاری مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با عدم محلول‌پاشی تنظیم‌کننده تحت شرایط آبیاری در مرحله گلدهی ودانه‌بندی نداشت (جدول ۳).

کاربرد سلنیوم و اسید آسکوربیک در شرایط بدون آبیاری محتوای کلروفیل a را به ترتیب ۳۰/۴ و ۸/۵ درصد، کلروفیل کل را ۲۶/۵ و ۱۱ درصد و کاروتنوئید را ۳/۶ و ۴/۲ درصد افزایش داد. کاربرد متانول در شرایط بدون آبیاری میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید را به ترتیب ۰/۷ و ۳ درصد افزایش داد، ولی میزان کلروفیل a را ۴ درصد کاهش داد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و مؤلفه‌های پر شدن دانه گندم.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) of irrigation and growth regulator on the photosynthetic pigments content and grain filling components of wheat.

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid
Block	بلوک	2	0.24	0.003^{ns}	0.26*	0.015**
Irrigation (I)	آبیاری	2	26.86**	0.004^{ns}	26.29**	2.11**
Error a	اشتباه آزمایشی a	4	0.089	0.008	0.048	0.0008
Growth regulator (GR)	تنظیم‌کننده رشد	3	7.81**	0.14**	9.97**	1.11**
I × GR	آبیاری × تنظیم‌کننده رشد	6	1.39**	0.012ns	1.33**	0.2**
Error b	اشتباه آزمایشی b	18	0.073	0.008	0.067	0.002
C.V. %	ضریب تغییرات	-	*4.33*	*4.15*	*3.05*	*1.25*

Table 2. Continued **جدول ۲. ادامه**

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	سرعت پر شدن دانه Rate grain filling	دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight
Block	بلوک	2	0.000002**	696.25**	1480.64**	0.001**
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.0000004**	59.08**	98.94**	0.001**
Error a	اشتباه آزمایشی a	4	0.000000005	0.78	5.205	0.00001
Growth regulator (GR)	تنظیم‌کننده رشد	3	0.0000006**	30.79**	54.79**	0.0003**
I × GR	آبیاری × تنظیم‌کننده رشد	6	0.0000001**	5.41**	14.23**	0.00003**
Error b	اشتباه آزمایشی b	18	0.000000004	0.18	1.46	0.000001
C.V. %	ضریب تغییرات	-	*3.06*	*1.12*	*4.32*	*2.49*

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively

نسخه پیش از انتشار

محتوای کلروفیل از مهم‌ترین شاخص‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی است و بیان شده است گیاهانی که محتوای کلروفیل خود را تحت شرایط تنش حفظ می‌کنند توانایی بیش‌تری در مقاومت به تنش دارند (Afzal et al., 2014). کاهش محتوای کلروفیل a و b در گندم نیز در شرایط تنش خشکی به اثبات رسیده‌است (Azmat et al., 2020).

کاروتنوئیدها یکی از سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی هستند که غشاهای سلولی را در برابر صدمات ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند.عنوان شده است که در مراحل اولیه تنش میزان تولید کاروتنوئیدها به دلیل نقش آن‌ها در حفاظت از ساختار و کارکرد کلروفیل‌ها افزایش می‌یابد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × تنظیم‌کننده بر محتوای کلروفیل a، کل و کاروتنوئید گندم

Table 3. Mean comparison the effects of irrigation × growth regulator on chlorophyll a, total chlorophyll and carotenoid content of wheat

آبیاری Irrigation	Growth regulator	تنظیم‌کننده	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل کل Total Chlorophyll	کارتنوئید Carotenoid
			mg.g^{-1} FW		
بدون آبیاری No irrigation	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	4.46^{gh}	6.52^{h}	3.3^{f}
	Selenium	سلنیوم	5.82^{f}	8.25^{ef}	3.42^{e}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	4.84^{g}	7.24^{g}	3.44^{e}
	Methanol	متانول	4.28^{h}	6.57^{h}	3.40^{e}
آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation during flowering	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	5.94^{ef}	8.00^{f}	3.36^{ef}
	Selenium	سلنیوم	8.74^{a}	11.13^{a}	4.45^{a}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	8.80^{a}	11.06^{a}	4.45^{a}
	Methanol	متانول	7.80^{b}	10.14^{b}	4.41^{ab}
آبیاری در مرحله دانه‌بندی Irrigation during grain filling	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	4.38^{gh}	6.55^{h}	3.37^{ef}
	Selenium	سلنیوم	6.29^{de}	8.61^{de}	8.61^{de}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	6.93^{c}	9.21^{c}	9.21^{c}
	Methanol	متانول	6.56^{cd}	8.86^{cd}	8.86^{cd}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with similar letters in each column base on LSD5% show non-significant difference

با این وجود با گذشت زمان و سازگار شدن گیاه با تنش از محتوای کاروتنوئیدها کاسته می‌شود (Groppa and Benavides, 2008). کاهش میزان کاروتنوئیدها تحت شرایط تنش خشکی در مطالعات گوناگون از جمله در گندم (Azmat et al., 2020) و تریتیکاله (Kheirizadeh and Seyed Sharifi, 2017) به اثبات رسیده است. تنش‌های محیطی سبب افزایش غلظت تنظیم-کننده‌های رشد مانند آبسیزیک اسید و اتیلن می‌شود که این ترکیبات سبب افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز شده و از این طریق موجب تجزیه کلروفیل‌ها می‌شود (Orabi et al., 2010). یکی دیگر از دلایل کاهش میزان کلروفیل تغییر در مسیر متابولیسم نیتروژن در راستای تولید ترکیباتی مانند پرولین تحت شرایط تنش است (Latef et al., 2017). از دلایل دیگر کاهش محتوای کلروفیل در شرایط محدودیت آبی می‌توان به تخریب کلروفیل و اکسیداسیون نوری رنگدانه‌ها در اثر تنش اکسیداتیو (Oraki et al., 2012)، کاهش تولید سیتوکینین و افزایش تولید آبسیزیک اسید و عدم تعادل سایر هورمون‌های محرک و بازدارنده رشد (Shaddad et al., 2011) اشاره کرد. علت کاهش محتوای کاروتنوئیدها در شرایط تنش‌های محیطی را به اکسیداسیون کاروتنوئیدها و اختلال در ساختار آن‌ها تحت تأثیر گونه‌های فعال اکسیژن نسبت داده‌اند (Wang et al., 2010). عنوان شده است که مصرف سلنیوم در غلظت‌های مناسب قادر است تا حدودی تخریب کلروپلاست‌ها را کاهش و موجب بهبود محتوای کلروفیل شد (Filek et al., 2010). کائو و همکاران (Cao et al., 2011) بیان داشتند که میزان دسترسی گیاه به آهن با کاربرد سلنیوم افزایش می‌یابد که این پدیده می-تواند در حفظ میزان کلروفیل نقش مهمی داشته باشد.

نسخه پیش از انتشار

پژوهش‌ها نشان داده است که اسید آسکوربیک با نقش آنتی-اکسیدانتی که در پاکسازی گونه‌های فعال اکسیژن دارد باعث محافظت از رنگدانه‌های کلروفیل در شرایط تنش خشکی می‌شود (Malik and Ashraf, 2012). افزایش مقدار کلروفیل در شرایط محلول‌پاشی با متانول می‌تواند با اکسیداسیون متانول در ارتباط باشد، بدین صورت که وقتی گیاهان در شرایط تنش اکسیداتیو قرار می‌گیرند و روزنه‌ها بسته شده و دی‌اکسیدکربن درون برگی کاهش می‌یابد، در این شرایط متانول توسط رادیکال‌های اکسیژن و نیز آنزیم کاتالاز به فرمالدئید اکسید شده و به راحتی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد و از این طریق سبب افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود (Ramberg et al., 2002). براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که اثر محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی سبب افزایش حفاظت رنگیزه‌های فتوسنتزی در برگ گندم گردیده و این ترکیبات توانسته‌اند با خاصیت ضد تنشی خود گیاهان را از صدمات وارده به دستگاه فتوسنتزی حفظ نماید.

صفات پر شدن دانه

روند پر شدن دانه در تمام تیمارهای مورد بررسی از الگوی تقریباً مشابهی پیروی می‌کند. بدین صورت که روند تغییرات وزن دانه تحت‌تأثیر تیمارهای موردمطالعه در ابتدا به‌صورت خطی افزایش یافت و در محدوده ۳۴ تا ۳۸ روز پس از دانه-بندی به حداکثر میزان خود رسید و پس از آن وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبود و به‌صورت خط افقی در آمد که حاکی از رسیدگی فیزیولوژیک می باشد (شکل ۲- الف تا ۲- ج). بررسی‌های بیش‌تر حاکی از آن است که انجام آبیاری-های تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی نسبت به شرایط بدون آبیاری تکمیلی وزن دانه را افزایش داد (شکل ۲- ب تا ۲- ج). محلول‌پاشی متانول در شرایط بدون آبیاری تکمیلی (شکل ۲- الف) و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک در شرایط انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی (شکل ۲- ب) و نیز آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی (شکل ۲- ج) بیش‌ترین تأثیر را در افزایش وزن دانه داشت. عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد (شاهد) هم در شرایط دیم (بدون آبیاری تکمیلی) و هم در شرایط آبیاری تکمیلی کم‌ترین تأثیر را در افزایش وزن دانه دارا بود (شکل ۲- الف تا ۲- ج). مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری در تنظیم‌کننده رشد حاکی از آن است که حداکثر سرعت پر شدن دانه با کاربرد متانول تحت شرایط بدون آبیاری و بالاترین دوره پر شدن دانه، دوره مؤثر پر شدن دانه و وزن دانه با محلول‌پاشی اسید آسکوربیک تحت شرایط آبیاری در مرحله دانه‌بندی مشاهده شد (جدول ۴). هم‌چنین حداقل سرعت پر شدن دانه و وزن دانه از ترکیب تیماری عدم مصرف تنظیم‌کننده در شرایط بدون آبیاری به دست آمد.

از طرفی پایین‌ترین دوره پر شدن دانه با استفاده از متانول تحت شرایط بدون آبیاری و آبیاری در مرحله گلدهی و پایین-ترین دوره مؤثر پر شدن دانه (۲۲/۲۲ روز) نیز با محلول‌پاشی متانول در حالت بدون آبیاری تکمیلی مشاهده شد (جدول ۴). تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی، محلول‌پاشی سلنیوم و اسید آسکوربیک در مقایسه با عدم محلول‌پاشی سرعت پر شدن دانه به ترتیب ۱۴/۷ و ۲۶/۸ درصد، دوره پر شدن دانه ۵/۲ و ۱/۲ درصد، دوره مؤثر پر شدن دانه ۱۰/۶ و ۱۰/۷ درصد و حداکثر وزن دانه ۲۷ و ۴۰/۵ درصد افزایش یافت. با این وجود تحت تیمار بدون آبیاری، مصرف متانول در مقایسه با شاهد سرعت پر شدن دانه و حداکثر وزن دانه به ترتیب ۷۸/۵ و ۵۱/۳ درصد افزایش یافت ولی دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه ۴/۷ و ۱۵/۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

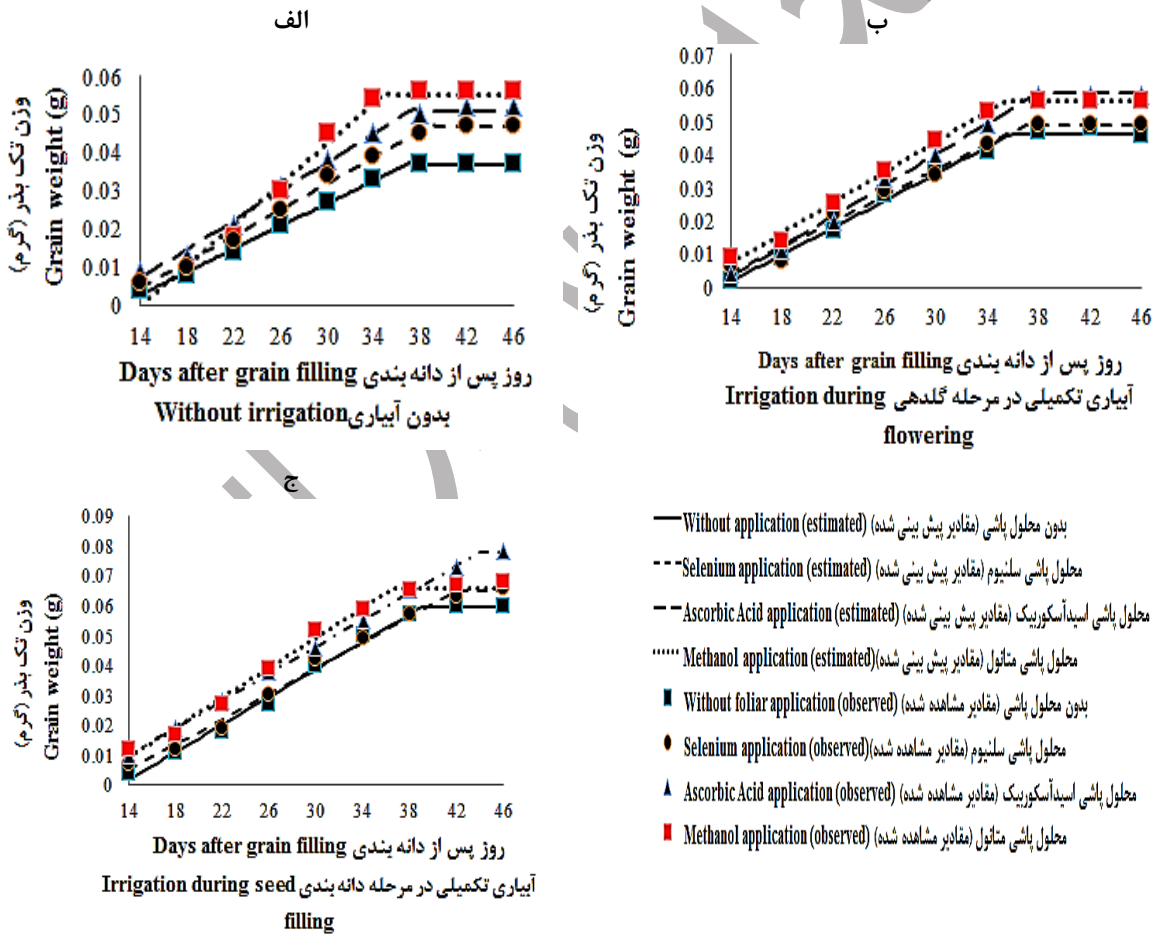
روند پر شدن دانه از منحنی سیگموئیدی تبعیت می‌کند که شامل سه مرحله رشد کند، رشد خطی و رسیدگی فیزیولوژیک است (Abbaspour and Seyed Sharifi, 2014). پنج درصد از وزن نهایی دانه در مرحله رشد کند تشکیل می‌شود و بروز تنش‌های محیطی در این مرحله با کوتاه کردن این دوره می‌تواند وزن نهایی دانه را به شدت تحت تأثیر قرار دهد (Quarrie and Jones, 1979). کاهش سرعت پر شدن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره مؤثر پر شدن دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Kheirizadeh Arough et al., 2017).

گزارش شده تنش خشکی به دلیل تسریع پیر شدن برگ-ها سبب کاهش وزن دانه و طول دوره پر شدن دانه می‌شود (Paknejad et al., 2007). در این پژوهش به نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط آبیاری تکمیلی و بدون آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی می‌تواند بخشی از افزایش وزن دانه و عملکرد دانه تحت چنین شرایطی را توجیه کند. هم‌چنین افزایش محتوای کلروفیل (جدول ۳) با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند توجیه‌کننده بخشی از بهبود اجزای پر شدن دانه باشد؛ زیرا با افزایش محتوای کلروفیل، میزان آسیمیلاسیون افزایش یافته

نسخه پیش از انتشار

و می‌تواند موجب بالا رفتن نقل وانتقال مواد به دانه و در نهایت افزایش وزن تک دانه، سرعت و دوره مؤثر پر شدن دانه شد (Murchie et al., 2002). مطالعات خلیل زاده و همکاران (Khalilzadeh et al., 2017) نشان داد افزایش تنش شوری موجب کاهش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی در گیاه گندم شد و به نظر می‌رسد که این تغییر دلیل اصلی کاهش سرعت پر شدن و کوتاه‌تر بودن دوره پر شدن دانه باشد. همچنین مونس و جیمز (Munns and James, 2003) گزارش کردند که تنش‌های محیطی طول مدت رشد رویشی و زایشی ژنوتیپ‌های گندم را کاهش می‌دهد که در نتیجه موجب کاهش اجزای پرشدن دانه در مقایسه با شرایط بدون تنش می‌شود و و رسیدگی بذر را تسریع می‌کند.

سیدشریفی و سیدشریفی (Seyed sharif and Seyed Sharifi, 2019) اظهار داشتند که متانول از طریق بهبود مؤلفه‌های پر شدن دانه (سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) سبب افزایش عملکرد می‌شود. در پژوهشی گزارش شد که در مرحله رشد رویشی، برگ‌های جوان به علت ضخامت کم می‌توانند متانول را بهتر و سریعتر به درون برگ جذب کنند و در نتیجه این ترکیب سریعتر وارد چرخه فتوسنتزی می‌شود و در نتیجه سرعت پر شدن دانه و طول دوره پر شدن دانه‌ها را افزایش می‌دهد (Naeimi et al., 2013).



شکل ۲. روند پرشدن دانه گندم تحت آبیاری تکمیلی و تنظیم کننده‌های رشدی

Fig. 2. Grain filling process of wheat under supplementary irrigation conditions and growth regulators

عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری بر صفات تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل و اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد بر تمام صفات معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۵).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد بر مؤلفه‌های پر شدن دانه گندم

Table 4. Mean comparison the effects of irrigation × growth regulators on grain filling components of wheat

آبیاری Irrigation	Growth regulator	تنظیم‌کننده	سرعت پر شدن دانه Rate grain filling	دوره پر شدن دانه Grain filling period	دوره مؤثر پر شدن دانه Effective grain filling period	حداکثر وزن تک‌دانه Maximum grain weight
			mg.day^{-1}	----------day----------		g
بدون آبیاری No irrigation	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	1.49^{h}	36.83^{de}	26.21^{de}	0.037^{g}
	Selenium	سلنیوم	1.71^{g}	38.75^{c}	29.01^{c}	0.047^{f}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	1.89^{f}	37.29^{d}	29.04^{c}	0.052^{e}
	Methanol	متانول	2.66^{a}	35.07^{f}	22.22^{f}	0.056^{d}
آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation during flowering	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	2.03^{de}	36.32^{e}	24.96^{e}	0.048^{f}
	Selenium	سلنیوم	1.93^{ef}	31.13^{de}	26.80^{cde}	0.049^{ef}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	2.32^{c}	37.71^{d}	26.39^{de}	0.058^{cd}
	Methanol	متانول	2.29^{c}	35.37^{f}	25.81^{e}	0.056^{d}
آبیاری در مرحله دانه‌بندی Irrigation during grain filling	Control	بدون تنظیم‌کننده (شاهد)	2.31^{c}	39.15^{c}	27.41^{cde}	0.06^{c}
	Selenium	سلنیوم	2.14^{d}	42.54^{b}	32.55^{b}	0.066^{b}
	Ascorbic Acid	اسید آسکوربیک	2.26^{c}	44.02^{a}	36.43^{a}	0.078^{a}
	Methanol	متانول	2.51^{b}	36.85^{de}	28.59^{cd}	0.068^{b}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Means with similar letters in each column base on LSD5% show non-significant difference

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر برخی صفات مورفولوژیک گندم

Table 5. Analysis of variance (mean squares) of irrigation and growth regulator on some morphological traits of wheat

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	تعداد سنبله در بوته Spikes per plant	تعداد دانه در سنبله Grain per spike	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد ماده خشک کل Total dry matter yield
Block	بلوک	2	0.527^{ns}	0.861^{ns}	60671.36**	114916.77**
Irrigation (I)	آبیاری	2	0.361^{ns}	103.36**	139925.44**	912186.77**
Error a	اشتباه آزمایشی a	4	0.194	0.694	37998.52	64854.06
Growth regulator (GR)	تنظیم‌کننده رشد	3	2.175**	14.91**	47361.52*	137398.32**
I × GR	آبیاری × تنظیم‌کننده رشد	6	0.287^{ns}	18.25**	12959ns	54290.18**
Error b	اشتباه آزمایشی b	18	0.305	1.63	9353.1	13299.45
C.V. %	ضریب تغییرات	-	*16.44*	*3.88*	*5.34*	*3.17*

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively

عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت‌تأثیر آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و دانه‌بندی افزایش یافت. همچنین کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با عدم مصرف تنظیم‌کننده محتوای این شاخص‌ها را بهبود بخشید (جدول ۶). با بررسی اثر اصلی آبیاری مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی و کم‌ترین این شاخص در شرایط بدون آبیاری ثبت شد (جدول ۶). نتایج نشان داد که انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و دانه‌بندی در مقایسه

با شرایط بدون آبیاری عملکرد دانه را ۵/۹ و ۱۲/۶ درصد افزایش داد (جدول ۶). بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد اسید آسکوربیک حاصل شد که با کاربرد متانول اختلاف معنی‌داری را شامل نشد. کم‌ترین عملکرد دانه نیز تحت شرایط بدون استفاده از تنظیم‌کننده حاصل شد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری و تنظیم‌کننده رشد بر تعداد سنبله در بوته و عملکرد دانه گندم

Table 6. Mean comparison of the effects of irrigation and growth regulator on spikes per plant and grain yield of wheat

Treatments	تیمار	عملکرد دانه Grain yield	تعداد سنبله در بوته Spikes per Plant
		$Kg.ha^{-1}$	No.
بدون آبیاری No irrigation		1704.75[a]	-
آبیاری در مرحله گلدهی Irrigation during flowering		1806.08[a]	-
آبیاری در مرحله دانه‌بندی Irrigation during seed filling		1920.58[a]	-
بدون تنظیم‌کننده (شاهد) Control		1738.22[b]	2.88[b]
سلنیوم Selenium		1758.78[b]	3.88[a]
اسید آسکوربیک Ascorbic Acid		1871.78[a]	3[b]
متانول Methanol		1862.11[a]	3.66[a]

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و برای هر عامل بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with similar letters in each column and for each factor base on LSD5% show non-significant difference.

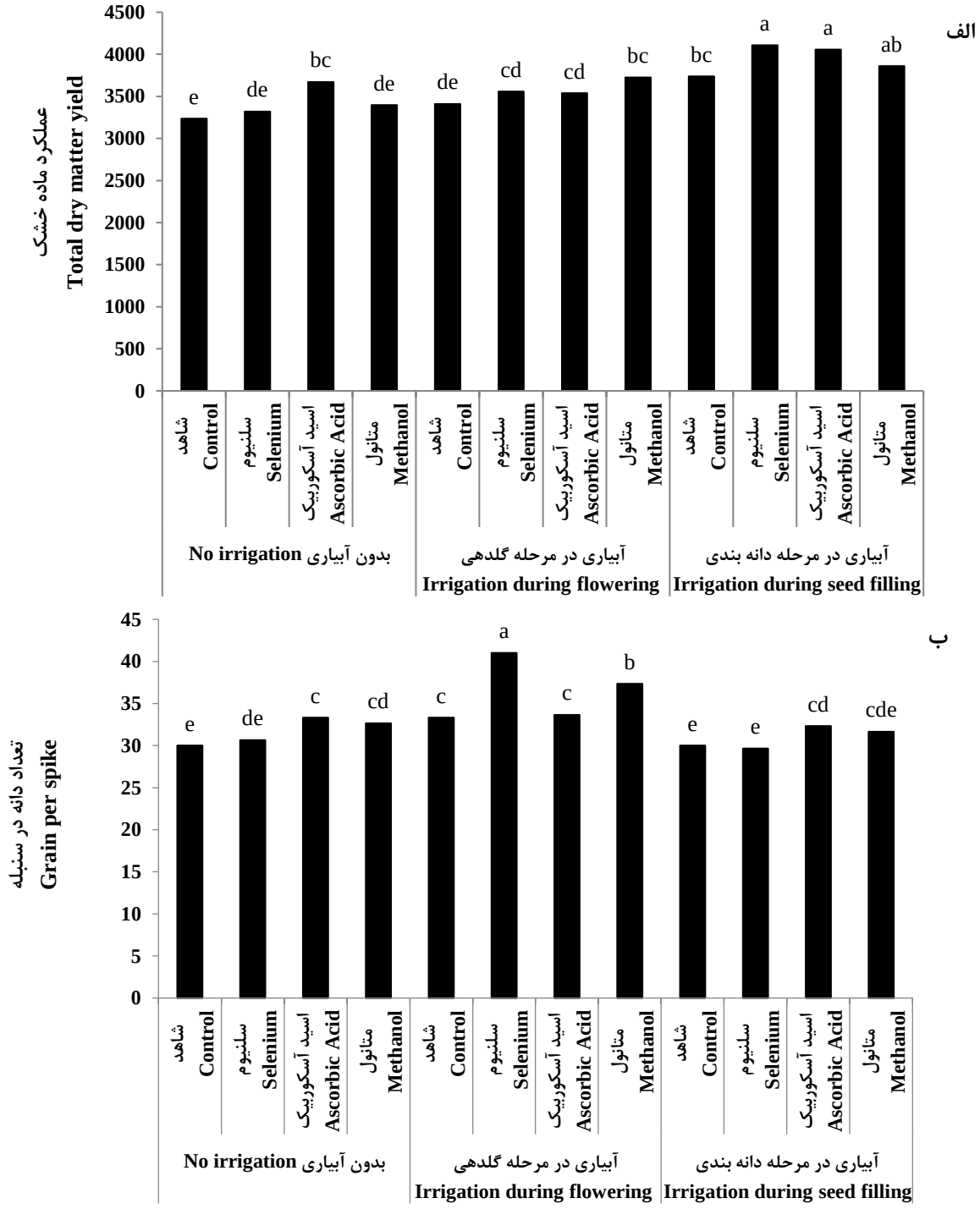
اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک با محلول‌پاشی سلنیوم تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی به دست آمد که با کاربرد اسید آسکوربیک و متانول تحت همین سطح آبیاری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳- الف). کم‌ترین میزان این شاخص از ترکیب تیماری بدون محلول‌پاشی و بدون آبیاری حاصل شد. تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی عملکرد بیولوژیک با کاربرد سلنیوم ۲/۵ درصد، اسید آسکوربیک ۱۳/۴ درصد و متانول ۴/۹ درصد در مقایسه با شرایط بدون کاربرد تنظیم‌کننده ارتقا یافت (شکل ۳- الف). پیری زودرس اندام‌های فتوسنتز کننده و کاهش فتوسنتز جاری گیاه تحت تأثیر تنش کم‌آبی سبب کاهش ماده خشک تولیدی گیاه می‌شود (Pireivatloum et al., 2010). از دلایل کاهش عملکرد دانه تحت شرایط تنش خشکی به افزایش نشت الکترولیت و کاهش محتوای کلروفیل اشاره شده است (Mohammadkhani and Heidari, 2007). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی از طریق کاهش سطح برگ و اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Yang et al., 2003). گزارش شده است که سلنیوم موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد (Lanza and Reis, 2021; Wu et al., 2024). این افزایش عملکرد را می‌توان به نقش سلنیوم در بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و خنثی کردن گونه‌های فعال اکسیژن نسبت داد (Glover et al., 2014). مطالعات گوناگون نشان داده است که محلول‌پاشی اسید آسکوربیک از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله تحریک فعالیت‌های تنفسی، تقسیم سلولی و فعالیت‌های آنزیمی سبب افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود (El-Hamed et al., 2004). جوادی و همکاران (Javadi et al., 2022) بیان داشتند که محلول‌پاشی با متانول ۲۱ درصد سبب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد آفتابگردان نسبت به شاهد شد.

تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله

اثر اصلی تنظیم‌کننده رشد مشخص کرد که بیش‌ترین تعداد سنبله در بوته با کاربرد سلنیوم به دست آمد که با تیمار مصرف متانول تفاوت معنی‌داری را از لحاظ آماری دارا نبود. عدم کاربرد تنظیم‌کننده نیز کم‌ترین تعداد سنبله در بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۶). محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول نسبت به عدم محلول‌پاشی تعداد سنبله در بوته را به ترتیب ۳۴/۷، ۴/۱ و ۲۷ درصد افزایش داد (جدول ۶).

اثر برهمکنش آبیاری در تنظیم‌کننده رشد حاکی از آن است که حداکثر تعداد دانه در سنبله از ترکیب تیماری محلول‌پاشی سلنیوم تحت شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی به دست آمد. حداقل این شاخص را ترکیب تیماری عدم کاربرد تنظیم‌کننده رشد تحت شرایط بدون آبیاری به خود اختصاص داد که با مصرف سلنیوم در شرایط بدون آبیاری و نیز عدم کاربرد تنظیم‌کننده و محلول‌پاشی سلنیوم

نسخه پیش از انتشار



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش آبیاری در تنظیم‌کننده رشد بر عملکرد ماده خشک کل (الف) و تعداد دانه در سنبله (ب) گندم. میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند

Table 3. Mean comparison of the effect of irrigation× growth regulator on total dry matter yield and grain per spike of wheat. Means with similar letters in each column base on LSD5% show non-significant difference

در شرایط آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۳- ب). نتایج مشخص کرد که تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی، استفاده از تنظیم-کننده‌های رشدی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول در مقایسه با شاهد تعداد دانه در سنبله را به ترتیب ۲/۲، ۱۱/۱ و ۸/۸ درصد افزایش داد (شکل ۳- ب). کاهش تعداد دانه در سنبله گندم (Guttieri et al., 2001) و نیز تعداد سنبله در واحد سطح گندم (Khajeh et al., 2015) تحت شرایط تنش

خشکی در بررسی‌های مختلف به اثبات رسیده. عدم هم‌زمانی نمو گل‌ها، عدم نمو دانه پس از گرده‌افشانی و باروری، عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز جاری و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها از دلایل کاهش تعداد دانه در شرایط تنش خشکی است (Wang et al., 2001). رضایی و همکاران (Rezaie et al., 2019) بهبود تعداد دانه در سنبله گندم را با محلول‌پاشی متانول نشان دادند. نامور و همکاران (Namvar et al., 2024) در پژوهشی اعلام داشتند که کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشدی اسید آسکوربیک، سیلیکون، نانوذرات روی و توکوفرول سبب افزایش تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح گندم تحت شرایط تنش خشکی شد.

نتیجه‌گیری نهایی

محدودیت آبی موجب کاهش عملکرد دانه، صفات مورفولوژیکی، کلروفیل a، b، کل، کارتنوئید، سرعت پر شدن دانه و دوره پر شدن دانه گندم شد، درصورتی‌که میزان این شاخص‌ها با انجام آبیاری تکمیلی و نیز محلول‌پاشی سلنیوم، اسید آسکوربیک و متانول افزایش نشان داد. اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی بیش‌ترین تأثیر را بر میزان کلروفیل a، کل و کاروتنوئید دارا بود. در بین تنظیم‌کننده‌های رشدی، محلول‌پاشی سلنیوم در مقایسه با متانول و اسید آسکوربیک تأثیر بیش‌تری را در بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت. تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی محلول‌پاشی متانول بیش‌ترین تأثیر را در سرعت پر شدن دانه و وزن دانه و محلول‌پاشی سلنیوم مهم‌ترین تأثیر را در دوره پر شدن دانه داشتند. در شرایط انجام آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی استفاده از اسید آسکوربیک در مقایسه با متانول و سلنیوم نقش مؤثرتری در بهبود سرعت پر شدن دانه، دوره پر شدن دانه و نیز وزن دانه دارا بود. در نهایت تحت شرایط اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی مهم‌ترین تأثیر را در سرعت پر شدن دانه تنظیم‌کننده متانول و برجسته‌ترین نقش را در بهبود دوره پر شدن دانه و وزن دانه تنظیم‌کننده اسید آسکوربیک بر عهده داشت. همچنین آبیاری تکمیلی در مرحله دانه‌بندی و محلول‌پاشی اسید آسکوربیک بالاترین میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. باتوجه‌به نتایج مشاهده شده چنین استنباط می‌شود که انجام آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشدی گیاه را می‌توان در جهت حصول رشد و عملکرد مطلوب در گیاه گندم تحت شرایط کشت دیم و کم‌آبیاری پیشنهاد کرد.

نسخه پیش از انتشار

منابع

Abbaspour, S., Seyed Sharifi, R., 2014. Effect of nitrogen levels and seed inoculation with PGPR bacteria on quantitative and qualitative yield, root characteristics, leaf emergence rate and grain filling period of triticale. Journal of Plant Process and Function. 3, 133-147. [In Persian].

Afzal, A., Gulzar, I., Shahbaz, M., Ashraf, M., 2014. Water deficit-induced regulation of growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, inorganic nutrient accumulation and antioxidative defense mechanism in mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek). Journal of Applied Botany and Food Quality. 87, 147-156. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.022

Akram, N.A., Shafiq, F., Ashraf, M., 2017. Ascorbic Acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science. 8, 1-17. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613

Alkatb, S.H., 2022. Improvement of irrigation water efficiency and productivity using supplementary irrigation: A review. Journal of Water Resources and Geosciences. 1, 53-69.

Altenbach, S.B., Du Pont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L., Lieu, D., 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. Journal of Cereal Science. 37, 9-20. https://doi.org/10.1006/jcrs.2002.0483

Amin, A.A., Rashad, E.S.M., Gharib, F.A., 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2, 252-261.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast polyphenol oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24, 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

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. https://doi.org/10.7717/peerj.9960

Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z., Zhao, F., 2015. Beneficial elements. In: Marschner, P. (Ed.), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants, 5nd Edition. Academic Press Inc. pp: 488-504

Cao, F., Cai, Y., Cheng, W. D., Zhang, G. P., Wu, F.B., 2011. Modulation of exogenous glutathione in phytochelatins and photosynthetic performance against Cd stress in the two rice genotypes differing in Cd tolerance. Biology Trace Elemental Research, 143, 1159-1173. https://doi.org/10.1007/s12011-010-8929-1

Chaves, M.M., Oliveira, M.M., 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. Journal of Experimental Botany, 55, 2365-2384. https://doi.org/10.1093/jxb/erh269

El-Hamed, A.M., Sarhan, S.H., Abd El-Salam, H.Z., 2004. Evaluation of some organic acids as foliar application on growth, yield and some nutrient contents of wheat. Journal of Agricultural Science, Mansoura University. 29, 2475-2481.

Ellis, H.R., Pieta-Filho, C., 1992. The development of seed quality in spring and winter cultivars of barley and wheat. Seed Science Research. 2, 9-15. https://doi.org/10.1017/S0960258500001057

Fang, Y., Angl, I., Zhaol, Y., Zhou, M.X., 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Agricultural Food Chemistry. 56, 2079-2084. https://doi.org/10.1021/jf800150z

Filek, M., Gzyl-Malcher, B., Zembala, M., Bednarska, E., Laggner, P., Kriechbaum, M., 2010. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. Plant Physiology. 167, 28-33. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.003

Fordyce, F. M., 2005. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In: Selinus, O. (ed.), Essentials of Medical Geology, Academic Press, London.

Galbally, I.E., Kirstine, W., 2002. The production of methanol by flowering plants and the global cycle of methanol. Journal of Atmosphere Chemistry. 43, 195-229. https://doi.org/10.1023/A:1020684815474

Gao, Z., Liang, X.G., Lin, S., Zhao, X., Zhang, L., Zhou, L.L., Shen, S., Zhou, S.L., 2017. Supplemental irrigation at tasseling optimizes water and nitrogen distribution for high-yield production in spring maize. Field Crops Research. 209, 120-128. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.015

Glover, J.D., Borevitz, J., Brummer, E.C., Buckler, E.S., 2014. Increasing starch and ecosystem security through perennial grain breeding and selenium. Science. 335, 364-379. https://doi.org/10.1126/science.1188761

Groppa, M.D., Benavides, M.P., 2008. Polyamines and abiotic stress: recent advances. Amino Acids. 34, 35-45. https://doi.org/10.1007/s00726-007-0501-8

Guttieri, M.J., Stark, J.C., Brien, K.O., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science. 41, 327-335. https://doi.org/10.2135/CROPSCI2001.412327X

Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Fujita, M., 2011. Selenium-induced up-regulation of the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system reduces salinity-induced damage in rapeseed seedlings. Biological Trace Element Research. 143, 1704-1721. https://doi.org/10.1007/s12011-011-8958-4

Hosseinpour, T., Ahmadi, A., Mohammadi, F., Drikvand, R., 2015. The effect of seed rate on grain yield and its components of wheat cultivars in rain fed conditions. Applied Field Crops Research. 27, 101-110. https://doi.org/10.22092/AJ.2014.103236

Huve, K., Christ, M.M., Kleist, E., Uerlings, R., Niinemets, Ü., Walter, A., Wildt, J., 2007. Simultaneous growth and emission measurements demonstrate an interactive control of methanol release by leaf expansion and stomata. Journal of Experimental Botany. 58, 1783-1793. https://doi.org/10.1093/jxb/erm038

Javadi, H., Moosavi, S.G.R., Seghatoleslami, M.J., Ebrahimi, A.R., Kozegar, M., 2022. Effect of methanol spraying on some morphophysiological characteristics, yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* l.) under drought stress conditions. Plant Productions. 45, 29-40. [In Persian with

English Summary]. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.33127.1888

Khajeh, M., Mousavinik, S.M., Sirousmehr, A., Yadolahi Dehcheshmeh, P., Amiri, A., 2015. Effect of drought stress and foliar application of silicon on grain yield and photosynthetic pigments of wheat under Sistan conditions. Crop Physiology Journal. 7, 5-19. [In Persian].

Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi R., Jalilian J., 2017. Growth, physiological status, and yield of salt-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants affected by biofertilizer and cycocel applications.Arid Land Research and Management. 32, 71-90. https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1378282

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., 2017. Physiological responses of triticale to zinc application and bio fertilizers under warte-limitating condition. The Philippine Agricultural Scientist. 100, 178-189.

Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi M., Barmaki, M., 2017. Effects of stabilizer water deficiet (biofertilizers and nano zinc oxide) on effective traits at accumulative assimilate of grain of triticale under water withholding. Journal of Plant Ecophysiology. 9, 31-47. [In Persian with English Summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1396.9.28.4.4

Lanza, M.G.D. B., Reis, A.R.D., 2021. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. Plant Physiology and Biochemistry. 164, 27-43. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026

Latef, A.A.H., Srivastava, A.K., Saber, H., Alwaleed, E.A., Tran, L.S.P., 2017. Sargassum muticum and Jania rubens regulate amino acid metabolism to improve growth and alleviate salinity in chickpea. Scientific Reports, 7, 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07692-w

Makhdum, M.I., Malik, M.N.A., Din, S. U., Ahmad, F., Chaudhry, F.I. 2002. Physiological response of cotton to methanol foliar application. Journal of Research in Science. 13, 37-43. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07692-w

Malik, S., Ashraf, M., 2012. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. Soil and Environment. 31, 72-77.

Mohammadkhani, N., Heidari, R., 2007. Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. Pakistan Journal of Biological Sciences. 10, 3835-3840. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.3835.3840

Munns, R., James, R.A., 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetrapod wheat. Plant and Soil. 253, 201-218. https://doi.org/10.1023/A:1024553303144

Iqbal, M., Hussain, I., Liaqat, H., Ashraf, M. A., Rasheed, R., Ur Rehman, A., 2015. Exogenously applied selenium reduces oxidative stress and induces heat tolerance in spring wheat. Plant Physiology and Biochemistry. 94, 95-103. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.05.012

Murchie, E.H., Yang, J., Hubbart, S., Horton, P., Peng, S., 2002. Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? European Science. 53, 2217-2224. https://doi.org/10.1093/jxb/erf064

Naeimi, N., Yarnia, M., Khalilvand, E., 2013. The Effects Foliar Application of Methanol at Different Growth Stages on Kernel Related Traits in Chickpea var. ILC 482. Journal of Crop Ecophysiology. 2, 147-158. [In Persian with English Summary].

Namvar, A., Hadi, H., Seyedsharifi, R., 2024. Efficiency of Phytoprotectants and Phosphorus Solubilizing Bacteria in Modulating of Water Deficit Effects on Wheat. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 34, 194.215. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22034/SAPS.2024.58381.3114

Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadehrazieh, R., Aminzadeh, G., 2019. Effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on chlorophyll content and grain filling components of wheat (*Triticunm aestivum* L.) under rain fed condition. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 735-746. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1478.1327

Nezamdoost, D., Ghahremani, Z., Baba Akbari, M., Barzegar, T., Ranjbar, M.E., 2023. Irrigation with water enriched with seaweed extract to overcome effects of salinity in 'New red fire' leafy lettuce cultivation. International

Journal of Vegetable Science. 29, 128-144. https://doi.org/10.1080/19315260.2022.2137722

Orabi, S.A., Salman, S.R., Shalaby, A.F., 2010. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. World Journal of Agricultural Sciences. 6, 252-259.

Oraki, H., Parhizkar Khanjani, F., Aghaalikhna, M., 2012. Effect of water deficit stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and grain yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. African Journal of Biotechnology. 11, 164-168. https://doi.org/10.5897/AJB11.619

Paknejad, F., Majidi Heravan, E., Noor Mohammadi, Q., Siyadat, A., Vazan, S., 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. American Journal of Biochemistry and Biotechnology. 5, 162-169. https://doi.org/10.3923/jbs.2007.841.847

Pireivatloum, J., Qasimov, N., Maralian, H., 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology. 9, 036-040. https://doi.org/10.5897/AJB09.521

Quarrie, S.A., Jones, H.G., 1979. Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. Annals of Botany. 44, 323-332. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085736

Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Azizi, K., Roostaei, M., 2021. Characterizing spatial and temporal trends in drought patterns of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) across various climatic conditions: A modelling approach. European Journal of Agronomy.129, 126333. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126333

Ramberg, H.A., Bradly, J.S.S., Olseon, I.S.C., Nishio, J.N., Markwell, J., Osterman, J.C., 2002. The role of menthal in promithing plant groeth: an update. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology. 1, 113-126.

Rezaie, F., Barary, M., Hatami, A., Hassanein Khoshro, H., 2019. The effect of nano-potass fertilizer and methanol application on some physiological characters, yield and yield components of wheat. Journal of Plant Ecophysiology. 39, 180-19. [In Persian with English Summary]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085958.1398.11.39.15.1

Ronanini, D.R., Savin, R., Hall, A.J., 2004. Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annus* L.) exposed to brif interval of high temperature during grain filling. Field Crops Research. 83, 79-90. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9

Seyed sharif, R., Seyed Sharifi, R., 2019. Effects of different irrigation levels and application of methanol and nano iron oxide on yield and grain filling components of sunflower. Journal of Crops Improvement. 21, 27-42. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22059/jci.2018.264647.2079

Shaddad, M.A.K., Abd El-Samad, M.H., Mohammed, H.T., 2011. Interactive effects of drought stress and phytohormones or polyamines on growth and yield of two maize (*Zea maize* L) genotypes. American Journal of Plant Sciences. 2, 790. https://doi.org/10.4236/ajps.2011.26094

Tsvetanov, T., Qi, L., Mukherjee, D., Shah, F., Bravo-Ureta, B., 2016. Climate change and land use in Southeastern US: did the “dumb farmer” get it wrong? Climate Change Economics. 7, 1650005. https://doi.org/10.1142/S2010007816500056

Wang, L.J., Fan, L., Loescher, W., Duan, W., Liu, G.J., Cheng, J.S., Luo, H.B., Li, S.H., 2010. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under heat stress and accelerates recovery in grapevine leaves. BMC Plant Biology. 10, 34. https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-34

Wang, Z.M., Wei, A.L., Zheng, D.M., 2001. Photosynthetic characteristics of non-leaf organs of winter wheat cultivars differing in ear type and their relationship with grain mass per ear. Photosynthetica. 39, 239-244. https://doi.org/10.1023/A:1013743523029

Wu, T., Zhou, J., Zhou, J., 2024. Comparison of soil addition, foliar spraying, seed soaking, and seed dressing of selenium and silicon nanoparticles effects on cadmium reduction in wheat (*Triticum turgidum* L.). Chemosphere. 362, 142681. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142681

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q., Liu, L., 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. Plant, Cell and Environment. 26, 1621-1631. https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01081.x

نسخه پیش از انتشار