University of Birjand

Environmental Stresses in Crop Sciences

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

https://doi.org/10.22077/escs.2025.8853.2339

Original article

The effect of wheat seed priming treatments on physiological characteristics, yield and radiation use efficiency under rainfed conditions

Firouzeh Sharifi Kalyani[1], Adel Siosemardeh[2]*, Farzad Hosseinpanahi[3], Saied Jalali-Honarmand[4], Muhammad Farooq[5]

1. *PhD. Graduate of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
2. *Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
3. *Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran*
4. *Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran*
5. *Professor, Department of Plant Sciences, Agricultural and Marine Sciences, Sultan Qaboos University, Al-Khoud, Oman, Iran*

Received 28 January 2025; Revised: 18 March 2025; Accepted 23 March 2025

نسخه پیش از انتشار

Extended abstract

Introduction

Approximately 40% of agricultural land is located in dryland regions, and dryland agriculture plays a key role in providing food worldwide. Enhancing the productivity of dryland agricultural systems is a significant challenge for ensuring food security, particularly in light of reduced rainfall attributed to climate change. Given the rising population and the limitations on expanding arable land, the main way to increase crop productivity is through effective management techniques. Among various strategies to improve plant yield is seed priming, which is a cost-effective, efficient, and practical method that carries minimal risk. Vitaspirin is utilized as a therapeutic agent to alleviate stress in livestock and poultry. This study aimed to explore the impact of seed priming with Vitaspirin and other substances on various aspects of dryland wheat.

Materials and methods

The study was conducted utilizing a randomized complete block design in three cropping seasons: 2017-18, 2018-19, and 2019-20. Wheat seeds were primed in solutions of urea (2%), zinc sulfate (0.6 %), potassium chloride (1%), calcium chloride (1.4 %), vitaspirin (0.1 %) and cytokinin (0.005 %). Seeds soaked in water (hydropriming) and unprimed seed were used as controls. During the seed priming process, 4.5 kg of Azar 2 seeds were aerated for 10 h at 16-18 °C using 22.5 liters of each solution (ratio 1:5). The seeds underwent dried in air prior to their planting in the field.

Results and discussion

In this experiment, seed priming with calcium chloride and urea resulted in the highest grain yield during the 2018–2019 cropping season. Seed priming with calcium chloride during the 2018–2019 cropping season had the maximum chlorophyll and proline concentration in the leaves. Also, the concentration of carbohydrates in leaves was significantly increased by hydropriming, seed priming with Vitaspirin, urea, and calcium chloride. In this study, plant height and stem internodes (extrusion length, peduncle length, penultimate length) were simultaneously increased by seed priming with Vitaspirin,

* Corresponding author: Adel Siosemardeh; E-Mail: a33@uok.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).

urea, calcium chloride, and hydropriming. Seed priming with calcium chloride and urea in the 2018–2019 cropping season significantly boosted LAI_{max} and CGR_{max} and decreased the time needed to reach LAI_{max} and CGR_{max}. In the 2018–2019 cropping season, seed priming with zinc sulfate had the maximum dry matter and RUE. Seed priming with zinc sulfate during the 2018-2019 cropping season emerged as one of the most effective treatments for enhancing grain yield in this study. Seed priming with urea in the 2018–2019 cropping season came in second place in terms of RUE and grain yield. Results showed that urea priming emerged as a superior treatment, enhancing not only grain yield but also yielding a more favorable benefit-to-cost ratio. The easy accessibility and relatively non-toxic nature of urea make it a promising treatment for on-farm adaptation, offering a practical option for farmers.

Conclusion

Primed seeds emerge more quickly and become established in the field. As a result of the 2019–2020 crop season's lower rainfall, seedlings derived from primed seeds experienced subject to reduced available moisture earlier than seedlings derived from non-primed seeds. This led to the death of the seedling, a reduction in the number of tillers and spikes, and finally a drop in grain yield. This showed how important the initial growing conditions were for the effectiveness of priming treatments. In general, in the 2018-2019 cropping season, when the amount of rainfall was higher compared to the other two cropping seasons, the effect of seed priming on improving grain yield was also higher. It can be argued that, under rainfed conditions, seed priming enhances grain yield primarily during growing seasons with higher rainfall. Consequently, the effectiveness of seed priming in boosting grain yield diminishes as rainfall decreases, a finding that warrants further and more rigorous investigation.

Keywords: Calcium chloride, Chlorophyll, Humidity reduction, Leaf area index, Peduncle length

نسخه پیش از انتشار

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences

https://doi.org/10.22077/escs.2025.8853.2339

مقاله پژوهشی

تأثیر تیمارهای پرایم بذر گندم بر خصوصیات فیزیولوژیک، عملکرد و کارایی مصرف نور در شرایط دیم

فیروزه شریفی کالیانی[1]، عادل سی و سه مرده[2*]، فرزاد حسین‌پناهی[3]، سعید جلالی هنرمند[4]، محمد فاروق[5]

۱. دانش‌آموخته دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
۴ دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۵. استاد، گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و علوم دریایی، دانشگاه سلطان قابوس، الخود، عمان

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
شاخص سطح برگ
طول پدانکل
کاهش رطوبت
کلروفیل
کلرید کلسیم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۳

چکیده

ویتاسپرین، به‌عنوان یک دارو ضد استرس برای دام و طیور استفاده می‌شود. در این مطالعه، هدف ما بررسی تأثیر تیمارهای مختلف پرایم بذر بر جنبه‌های مختلف گندم دیم بود. این مطالعه با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶) انجام شد. دانه‌های گندم با استفاده از اوره (۲ درصد)، سولفات روی (۰/۶ درصد)، کلرید پتاسیم (۱ درصد)، کلرید کلسیم (۱/۴ درصد)، ویتاسپرین (۰/۱ درصد)، سیتوکینین (۰/۰۰۵ درصد) و خیساندن در آب (هیدرو پرایم) پرایم شدند. همچنین دانه‌های پرایم نشده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره با افزایش غلظت کلروفیل، پرولین و کربوهیدرات‌ها در برگ، طول میان‌گره‌های ساقه، حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر سرعت رشد محصول و کارایی مصرف نور، بیش‌ترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در همه سطوح تیمار پرایم بذر، عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ بیش‌ترین و در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ کم‌ترین میزان را داشت که این امر احتمالاً به دلیل کاهش دما در پاییز و زمستان و همچنین کاهش میزان و پراکنش نامناسب بارش در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بود. در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس بذور جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد. این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذر تأکید کرد. همچنین یافته‌ها نشان داد که پرایم بذور با اوره از نظر نسبت سود به هزینه، در مقایسه با سایر ترکیبات تیمار موفق‌تری بود؛ بنابراین به دلیل دسترسی راحت و غیرسمی بودن نسبی اوره، این تیمار جهت پرایم بذر و استفاده در مزرعه به کشاورزان توصیه می‌گردد.

مقدمه

تقریباً ۴۰ درصد از زمین‌های کشاورزی در مناطق دیم واقع شده‌اند و در سراسر جهان کشاورزی دیم نقش کلیدی در تأمین غذا ایفا می‌کند (Ding et al., 2021). با توجه به کاهش بارندگی ناشی از تغییرات اقلیمی، افزایش بهره‌وری سیستم‌های کشاورزی دیم چالش مهمی برای تضمین امنیت غذایی محسوب می‌شود (Ding et al., 2021). غلات به‌عنوان یک منبع غذایی حیاتی در سرتاسر جهان، نقش اساسی دارند و گندم ۲۲ درصد از سطح زیر کشت غلات را به خود اختصاص داده است (Pavia et al., 2019). یکی از چالش‌های عمده در زمینه تولید محصول، استقرار مناسب گیاهچه است (Chivas et al., 1998). پرایم بذر به‌عنوان یک تیمار پیش از کاشت بذر با ایجاد شرایط فیزیولوژیکی مناسب، جوانه‌زنی موثرتر بذر را تسهیل می‌کند (Farooq et al., 2019). در فرآیند پرایم بذر، به دانه‌ها اجازه داده می‌شود

* نگارنده پاسخگو: عادل سی و سه مرده. پست الکترونیک: a33@uok.ac.ir

که رطوبت را به اندازه‌ای که برای شروع جوانه‌زنی لازم است جذب کنند اما از رشد ریشه‌چه جلوگیری می‌شود (Farooq et al., 2020). در واقع پرایم بذر یک رویکرد متداول برای کوتاه کردن فاصله بین کاشت بذر و سبز شدن گیاهچه و یکنواختی در سبز شدن توده گیاهی در مزرعه است (Choudhary et al., 2021). نتایج آزمایش سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2019) نشان داد که بذرهای هیدروپرایم شده به مدت ۱۲ ساعت در مقایسه با بذور شاهد استقرار سریع‌تری در مزرعه داشتند و از پنجه‌زنی و عملکرد دانه بیش‌تری برخوردار بودند. در پژوهش حسیان و همکاران (Hussian et al., 2013) نیز پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم به مدت ۱۲ ساعت، استقرار گیاهچه، سرعت رشد محصول، تعداد پنجه بارور، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را افزایش داد. همچنین گزارش شده است که پرایم بذر با عناصر ریز مغذی، به ویژه آهن و روی، منجر به افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی در گندم می‌گردد (Reis et al., 2018). همچنین پرایم بذر باعث بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی مانند سطح برگ و غلظت کلروفیل در گیاه می‌شود (Farooq et al., 2021).

در آزمایش حاضر، اثر ویتاسپرین (دارو برای کاهش استرس در دام و طیور) بر جنبه‌های مختلف گندم دیم بررسی شده است. در هر گرم از ویتاسپرین ۲۰۰ میلی‌گرم اسید اسکوربیک و ۲۵۰ میلی‌گرم اسید سالیسیلیک وجود دارد.

تأثیر مثبت پرایم بذر با ویتاسپرین بر بهبود عملکرد دانه گندم دیم ثابت شده است (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، این در حالی است که در این مطالعه، فرض ما بر این بوده است که پرایم بذر می‌تواند اثرات مفیدی بر استقرار بهتر و سریع‌تر گیاهچه در مزرعه داشته و از طریق بهبود خصوصیات فیزیولوژیک، طول میان‌گره‌های ساقه، شاخص‌های رشد و کارایی استفاده از نور، عملکرد دانه گندم را بهبود بخشد.

مواد و روش‌ها

محل آزمایش

این آزمایش در سه فصل زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام شد. مختصات جغرافیایی مزرعه، ۳۵/۱۸ درجه شمالی و ۴۷/۱۸ درجه شرقی است. مزرعه در ۳۵ کیلومتری شرق شهر سنندج قرار دارد و در ارتفاع ۱۸۶۶ متری از سطح دریا واقع شده است. آب و هوای این منطقه مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک است و میانگین بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین شکل ۱ میزان بارندگی و میانگین دمای ثبت شده در سه فصل زراعی مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the test site at a 0-30 cm depth.

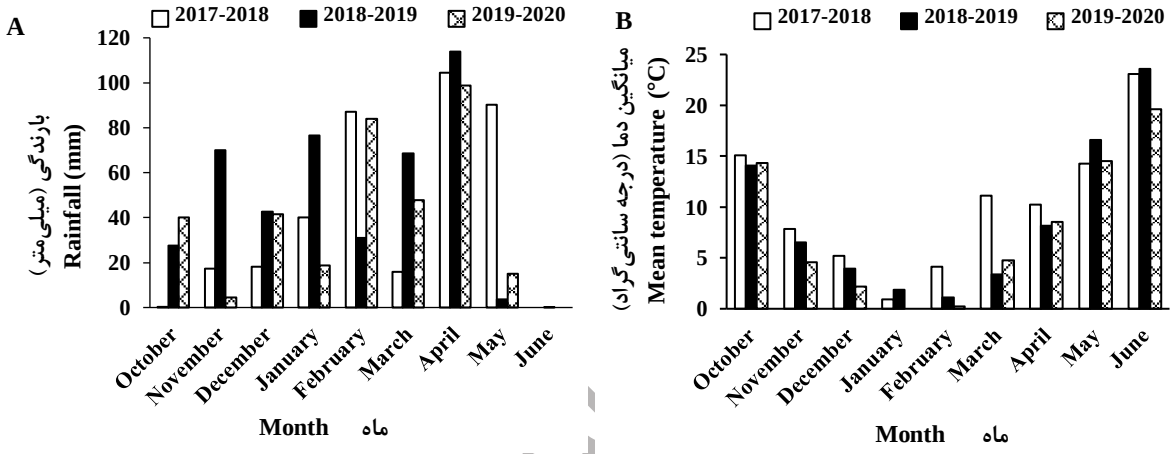
سال Year	کربن آلی Organic carbon	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
	---------- % ----------					---- mg kg $^{-1}$ ----	
میانگین سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶) Average of three cropping seasons (2017-2020)	0.81	36.62	12.77	50.61	0.08	10.63	341

طرح آزمایشی و تیمارها

آماده‌سازی بستر کشت شامل استفاده از گاوآهن برای شخم خاک مزرعه و به‌دنبال آن شکستن کلوخه با استفاده از دیسک و تسطیح خاک بود که در هر سه فصل زراعی در فصل پاییز انجام شد. قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۲۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به خاک اضافه شد. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از تیمار پرایم بذر در سه تکرار بر روی بذور گندم دیم رقم آذر ۲ انجام شد. رقم آذر ۲ از تلاقی دو رقم اینیا و سرداری (سفید) به‌دست آمده است و نسبت به ورس، خشکی، ریزش دانه و سرما مقاوم است (Keshavarz et al., 2016). همچنین رقم آذر ۲ در مقایسه با رقم سرداری زودرس‌تر بوده و عملکرد آن نیز بالاتر می‌باشد (Keshavarz et al., 2016). بذور مورد استفاده در این آزمایش از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

نسخه پیش از انتشار

تهیه شد. سطوح تیماری شامل پرایم بذر با اوره با غلظت ۲ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، سولفات روی با غلظت ۰/۶ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، کلرید پتاسیم با غلظت ۱ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، کلرید کلسیم با غلظت ۱/۴ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، ویتاسپرین با غلظت ۰/۱ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، سیتوکینین با غلظت ۰/۰۰۵ درصد (Sharifi Kalyani et al., 2023a)، خیساندن در آب (هیدروپرایم) و شاهد (عدم کاربرد تیمار پرایم) بود. طی فرآیند پرایم بذر، ۴/۵ کیلوگرم بذر آذر ۲ به مدت ۱۰ ساعت در دمای ۱۸-۱۶ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ۲۲/۵ لیتر از هر یک از محلول‌های ذکر شده (نسبت ۱ به ۵) تحت هوادهی قرار گرفت (Harris, 2006). بذرها قبل از کاشت در مزرعه در هوای آزاد خشک شدند.



شکل ۱. تغییرات بارندگی و میانگین دما در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸.

Fig. 1. Changes of rainfall and mean temperature in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

هر واحد آزمایشی شامل ۱۹ ردیف به فاصله ۱۵ سانتی‌متر و طول ۶ متر بود. بذرها با تراکم ۳۵۰ بذر در متر مربع کاشته شدند. در هر سه فصل زراعی، در اوایل فروردین‌ماه علف‌های هرز پهن برگ به روش وجین دستی کنترل شدند. تاریخ‌های کاشت گندم ۱۳ آبان ۱۳۹۶، ۴ آبان ۱۳۹۷ و ۳۰ مهر ۱۳۹۸ بود. همچنین در سال‌های ۱۳۹۷، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ برداشت گندم به ترتیب در ۲۱ تیر، ۱۸ تیر و ۹ تیر صورت گرفت.

اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیک

در مرحله سنبله‌دهی (کد ۵۹ زادوکس)، از برگ‌های پرچم به منظور تعیین میزان غلظت کلروفیل در برگ با استفاده از روش لیچتندالر و همکاران (Lichtenthaler et al., 2001)، غلظت کربوهیدرات‌های محلول با استفاده از روش یم و ویلیس (Yemm and Willis, 1954)، غلظت پروتئین‌های محلول در برگ با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) و غلظت پرولین در برگ با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) نمونه‌برداری شد. سپس نمونه‌ها در فویل آلومینیومی پیچیده و با استفاده از نیتروژن مایع منجمد شدند، در ادامه نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و تا شروع آزمایش در یخچال با دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

محاسبه شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و کارایی مصرف نور

به منظور محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)[1] و سرعت رشد محصول (CGR)[2]، وزن خشک و سطح برگ در مراحل مختلف رشد از جمله ساقه‌دهی (کد ۳۱ زادوکس)، آبستنی (کد ۴۹ زادوکس)، سنبله‌دهی (کد ۵۹ زادوکس)، شیری شدن دانه (کد ۷۹ زادوکس)، خمیری شدن دانه (کد ۸۷ زادوکس) و رسیدگی کامل (کد ۹۳ زادوکس) اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل LTD ساخت کمپانی DELTA-T انگلستان اندازه‌گیری شد. جهت محاسبه کارایی مصرف نور (RUE)[3] در ابتدا مقدار تابش روزانه محل آزمایش ارزیابی شد (Hosseinpanahi et al.,

[1]. Leaf Area Index
[2]. Crop Growth Rate
[3]. Radiation Use Efficiency

2010). تشعشعات جذب شده روزانه (با استفاده از معادله ۱)، به دنبال تعدیل مقادیر تابش روزانه بر اساس تعداد ساعات آفتابی به‌دست‌آمده از داده‌های ایستگاه هواشناسی محاسبه شد (Tsubo et al., 2005).

$$PARabs = PARo \times (1-\rho) \times (1-\exp(-Kc \times LAIc)) \quad [۱]$$

در معادله (۱)، PARabs: تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش ($MJ\ m^{-2}$)، PARo: تشعشع در بالای تاج پوشش ($MJ\ m^{-2}$)، ρ: ضریب انعکاس گندم (Hosseinpanahi et al., 2011)، Kc: ضریب خاموشی گندم (Spitters, 1990) و LAIc: شاخص سطح برگ گندم بود.

شاخص سطح برگ روزانه نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2010).

$$LAI = \frac{a + b \times 4 \times \exp(-(x-c)/d)}{(1+\exp(-(x-c)/d))^2} \quad [۲]$$

در معادله (۲)، عرض از مبداء، حداکثر شاخص سطح برگ، روز رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، زمان شروع مرحله رشد خطی و روزهای پس از سبز شدن به ترتیب با متغیرهای a، b، c، d و x نشان داده شده است.

تابش جذب شده در هر مرحله، از تابش ورودی شبیه‌سازی‌شده × درصد تابش جذب شده به دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2011).

برآورد ماده خشک تجمعی روزانه در طول فصل رشد با استفاده از معادله ۳ صورت گرفت:

$$TDM = \frac{a}{(1+\exp(-b \times (x-c)))} \quad [۳]$$

در معادله (۳)، TDM: تجمع ماده‌خشک ($g\ m^{-2}$)، a: حداکثر تجمع ماده‌خشک ($g\ m^{-2}$)، b: سرعت رشد نسبی ($g\ g^{-1}\ day^{-1}$)، c: زمانی که تجمع ماده‌خشک وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از سبز شدن است (Eskandari et al., 2015).

برای محاسبه کارایی مصرف نور ($g\ MJ^{-1}$)، شیب‌خط رگرسیون بین ماده خشک ($g\ m^{-2}$) و مقدار تشعشع فعال تجمعی ($MJ\ m^{-2}$) محاسبه شد (Hosseinpanahi et al., 2011).

سرعت رشد محصول (CGR) با محاسبه میزان ماده خشک تولید شده در هر مترمربع در هر روز (معادله ۴) مشخص شد (Parsons and Hunt, 1981).

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad [۴]$$

در معادله (۴)، GA: مساحت نمونه‌برداری شده (m^{-2})، W_1 و W_2: وزن ماده‌خشک به ترتیب در زمان‌های t_1 و t_2 می‌باشند.

اندازه‌گیری طول میان‌گره‌های ساقه

طول اکستراژن، طول پدانکل و طول پنالتی‌میت به ترتیب بیانگر فاصله انتهای سنبله تا برگ پرچم، فاصله انتهای سنبله تا اولین گره ساقه و فاصله گره اول تا گره دوم در ساقه بودند.

محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی

برای ارزیابی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی، در مرحله رسیدگی کامل (کد ۹۳ زادوکس)، ۱×۱ متر از هر واحد آزمایشی برداشت شد.

تحلیل اقتصادی

تحلیل اقتصادی به‌عنوان نسبت سود خالص به هزینه کل محاسبه شد. میزان اوره، سولفات روی، کلرید پتاسیم، کلرید کلسیم، ویتاسپرین و سیتوکینین در این مطالعه به ترتیب ۱۶/۸، ۵/۰۴، ۸/۴، ۱۱/۷۶، ۰/۸۴ و ۰/۰۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین هزینه ترکیبات نام‌برده در هکتار به ترتیب ۲/۵، ۶، ۱۱، ۴۰، ۷ و ۹ دلار آمریکا در هکتار بود. هزینه‌های مربوط به تولید شامل اجاره زمین، تهیه بذر، آماده‌سازی بستر بذر، کاشت، مدیریت علف‌های هرز، آبیاری، استفاده از کود و برداشت بود. سود خالص با کسر کل هزینه‌ها از سود مرتبط با هر تیمار تعیین شد.

تجزیه‌وتحلیل‌های آماری

از آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی در سه فصل زراعی (۹۹-۱۳۹۶) استفاده شد (جدول ۲) و به دلیل همگن بودن واریانس‌های خطای آزمایشی در فصول زراعی مختلف، داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب آنالیز

نسخه پیش از انتشار

شدند. همچنین مقایسات میانگین با استفاده از روش LSD[1] در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای محاسبه ضرایب همبستگی از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر پرایم بذر بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گندم دیم نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل سال × تیمار پرایم بر میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). در همه سطوح تیمار پرایم بذر، عملکرد دانه (شکل ۲A) و عملکرد بیولوژیکی (شکل ۲B) در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ بیش‌ترین و در فصل زراعی۹۹-۱۳۹۸ کم‌ترین میزان را داشتند. میزان بارندگی در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ نسبت به فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ به‌ترتیب ۶ و ۱۹ درصد کاهش یافت (شکل ۱A). در واقع این چنین می‌توان اظهار داشت که کاهش میزان بارندگی منجر به کاهش عملکرد دانه شده است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش‌های شریفی کالیانی و همکاران (Sharifi Kalyani et al., 2023a; Sharifi Kalyani et al., 2023b) مطابقت داشت. در این آزمایش، بالاترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ مشاهده شد (شکل ۲A).

جدول ۲. نتایج آزمون بارتلت برای ارزیابی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی درفصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸.

Table 2. Results of bartlett's test for assessing the homogeneity of variance of experimental errors in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

Traits	صفات	Chi-Square	Pr>Chi Sq
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	10.1625	0.0062
yield Grain	عملکرد دانه	47.6030	<0.0001
chlorophyll	کلروفیل	0.4935	0.7814
Soluble protein	پروتئین محلول	12.1779	0.0023
Soluble proline	پرولین محلول	0.4130	0.8134
Soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول	0.1657	0.9205
Plant height	ارتفاع گیاه	3.3689	0.1855
Extrusion length	طول اکستراژن	1.0178	0.6012
Peduncle length	طول پدانکل	0.8687	0.6477
Penultimate length	طول پنالتی‌میت	1.1536	0.5617
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	15.1050	0.0005
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	5.5225	0.0632
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	0.2584	0.8788
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	8.0337	0.0180
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	2.0303	0.3623

در مطالعه حسیان و همکاران (Hussian et al., 2013)، پرایم بذر با کلرید کلسیم با غلظت ۱/۲ درصد به مدت ۱۲ ساعت باعث بهبود قابل توجه سطح برگ، سرعت رشد محصول، طول سنبله و عملکرد دانه در گندم شد. همچنین نواز و همکاران (Nawaz et al., 2016) گزارش کردند که پرایم بذر با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۱۲ ساعت به طور قابل توجهی طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و عملکرد دانه را بهبود بخشیده است. یون‌های کلسیم به‌عنوان یک پیام‌رسان ثانویه در گیاه عمل کرده و پیام تنش را منتقل می‌کنند (Hussian et al., 2013). افزایش کلسیم

[1]. Least Significant Difference

نسخه پیش از انتشار

سیتوزولی در شرایط تنش، مسیرهای سیگنال‌دهی را فعال می‌کند که باعث واکنش سلولی مناسب به موقعیت‌های تنش‌زا می‌گردد (Yari et al., 2011). در این آزمایش، پرایم بذر با ویتاسپرین به طور قابل توجهی عملکرد دانه را در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ افزایش داد (شکل ۲A). اثرات مثبت ویتاسپرین بر عملکرد دانه احتمالاً به دلیل وجود اسید سالیسیلیک و اسید اسکوربیک در فرمولاسیون آن است، زیرا پرایم بذر با اسید سالیسیلیک در گندم از طریق افزایش سرعت و طول پر شدن دانه باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Rajabi Khamseh et al., 2013). همچنین جاتانا و همکاران (Jatana et al., 2020) نشان دادند که تیمار بذر با اسید سالیسیلیک با غلظت ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۱۲ ساعت به‌طور قابل توجهی عملکرد دانه گندم را افزایش داده است. این بهبود به افزایش تعداد پنجه، شاخص سطح برگ و وزن هزار دانه نسبت داده شد. از طرف دیگر، اسید آسکوربیک با تغییر در چرخه سلولی، تقویت تقسیم سلولی و انبساط و توسعه طولی دیواره سلولی منجر به افزایش رشد، بهبود کارایی فتوسنتزی و افزایش عملکرد در گیاه می‌شود (Hassan et al., 2021). خان و همکاران (Khan et al., 2011) دریافتند که پرایم بذر گندم با اسید اسکوربیک (۲۰ پی‌پی‌ام)، اسید سالیسیلیک (۲۰ پی‌پی‌ام) و اسید جیبرلیک (۲۰ پی‌پی‌ام) به مدت ۴۸ ساعت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد، در حالی‌که اسید اسکوربیک مطلوب‌ترین اثر را بر روی جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و عملکرد دانه دارد. پرایم بذر اثرات مثبتی بر بهبود عملکرد دانه در دو فصل زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ داشت و این اثرات مثبت در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ قوی‌تر از سال ۹۷-۱۳۹۶ بود. در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، عملکرد دانه در همه سطوح تیمار پرایم بذر به‌طور قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۲A). کاهش میزان بارندگی در مقایسه با دو فصل زراعی ماقبل، نوسان در توزیع و پراکنش بارندگی (شکل ۱A) و دمای پایین پاییز و زمستان (شکل ۱B) احتمالاً دلایل اثرات منفی تیمار پرایم بذر بر عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بوده است. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش شریفی کالیانی و همکاران (Sharifi Kalyani et al., 2023a) مطابقت داشت. بذرهای پرایم شده سریع‌تر و یکنواخت‌تر جوانه می‌زنند و تاج پوشش با سرعت بیش‌تری بسته می‌شود (Farooq et al., 2006). بنابراین در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد (شکل ۲A). این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذر تأکید کرد (Sharifi Kalyani et al., 2023a). بر اساس یافته‌های این مطالعه، اثر بخشی تیمار پرایم بذر در کشاورزی دیم وابسته به میزان بارندگی است. با کاهش میزان بارندگی اثرات مثبت پرایم بذر بر عملکرد دانه گندم کاهش می‌یابد و حتی ممکن است که اثر منفی نیز بگذارد (Sharifi Kalyani et al., 2023a).

تأثیر پرایم بذر بر برخی خصوصیات فیزیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن بود که غلظت کلروفیل و پرولین در برگ تحت‌تأثیر اثرات متقابل سال × تیمار پرایم قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر غلظت کلروفیل (شکل ۲C) و پرولین (شکل ۲D) در پرایم بذر با کلرید کلسیم در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ مشاهده شد. همچنین بالاترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذر با کلرید کلسیم در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌دست آمد (شکل ۲A). زهرا و همکاران (Zahra et al., 2020) گزارش کردند که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) و همچنین هیدروپرایم بذور به مدت ۲۴ ساعت به‌طور قابل توجهی محتوای کلروفیل در برگ گندم را بهبود بخشید. همچنین نتایج آزمایش خان و همکاران (Khan et al., 2021) نشان داد که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۵۰ میلی‌مولار) به مدت ۱۲ ساعت تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل در برگ داشت. در مطالعه‌ی تبسم و همکاران (Tabassum et al., 2018) نیز یافته‌ها بیانگر آن بود که هیدروپرایم و پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۵ درصد) به مدت ۱۲ ساعت باعث افزایش تولید و تجمع اسمولیت‌ها مانند پرولین در برگ شد.

در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷، عملکرد دانه همبستگی مثبتی با غلظت کلروفیل و پرولین در برگ داشت اما این همبستگی در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ منفی بود (جدول ۵). در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، غلظت کلروفیل (شکل ۲C) و پرولین (شکل ۲D) در برگ گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده در مقایسه با گیاهان شاهد بیش‌تر بود اما بیش‌ترین عملکرد دانه در گیاهان شاهد به‌دست آمد (شکل ۲A). عملکرد دانه بالا در گیاهان شاهد احتمالاً به این دلیل بود که تعداد سنبله بالاتری در مقایسه با گیاهان حاصل از

نسخه پیش از انتشار

بذور پرایم شده داشتند (Sharifi Kalyani et al., 2023a). در واقع در شرایط تنش کمبود رطوبت در مراحل اولیه رشد گیاه گندم دیم، تعداد سنبله در گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده به دلیل اینکه زودتر از گیاهان رشد یافته از بذور شاهد در مزرعه مستقر و در معرض کاهش رطوبت در دسترس جهت ادامه روند رشد قرار می‌گیرند کاهش می‌یابد (Sharifi Kalyani et al., 2023a).

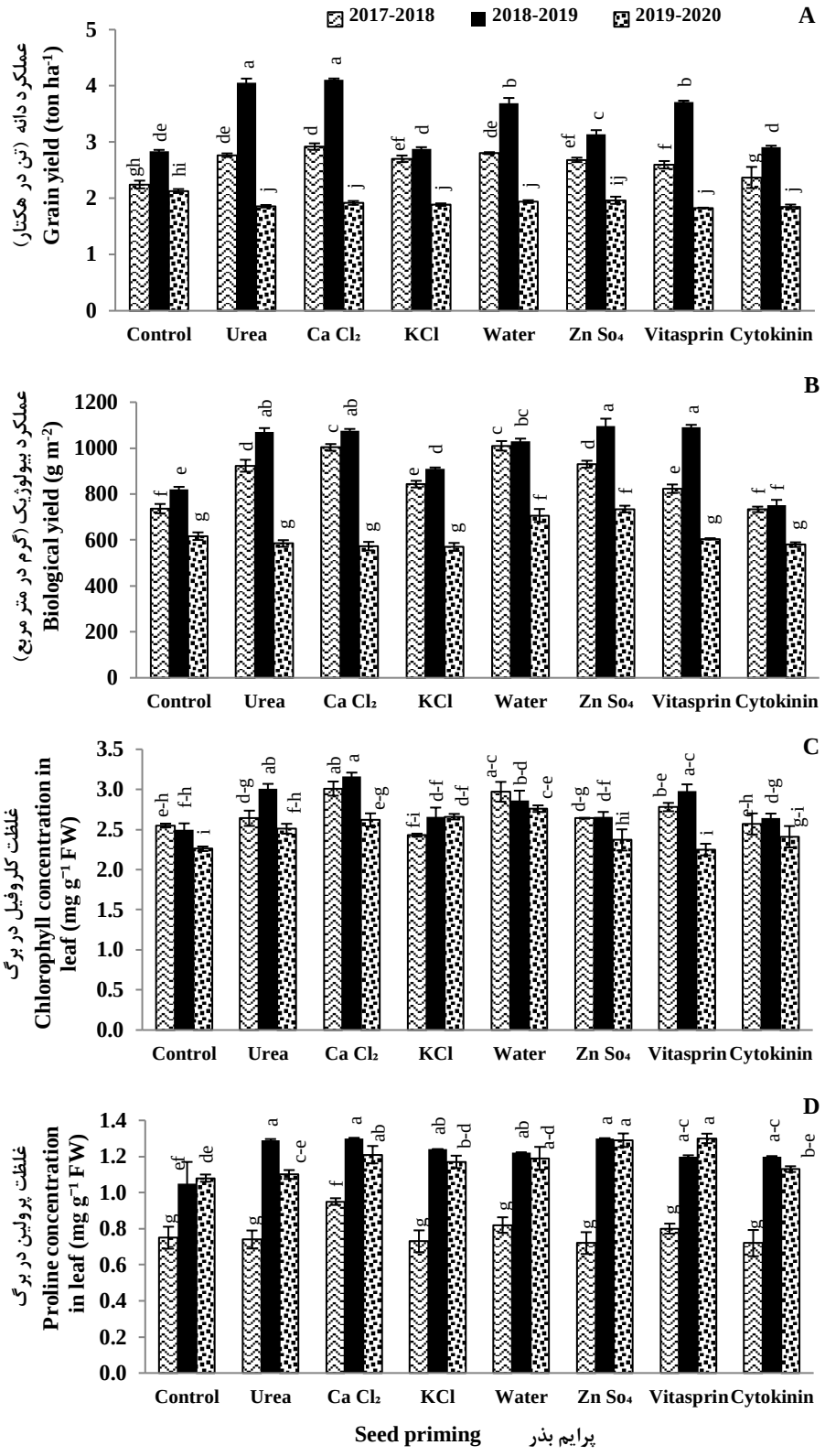
جدول ۳. تجزیه واریانس مرکب اثر تیمار پرایم بذر بر صفات اندازه گیری شده گندم دیم در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی درفصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹.

Table 3. Combined analysis of variance of effect seed priming treatment on measured traits of dry land wheat in a randomized complete block design in 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons.

		Mean Squares میانگین مربعات					
Traits	صفات	سال Year	بلوک (سال) Block (year)	پرایم بذر Seed priming	پرایم بذر× سال Year*Seed priming	خطا Error	ضریب تغییرات CV (%)
df	درجه آزادی	2	6	7	14	42	-
Biological yield	عملکرد بیولوژیک	816710.76**	1846.87	68695.03*	16861.55**	790.12	3.40
Grain yield	عملکرد دانه	133935.84**	133.11	4697.78^{ns}	2890.60**	105.46	3.86
Chlorophyll	کلروفیل	0.67*	0.08	0.25*	0.06**	0.01	4.01
Soluble protein	پروتئین محلول	28.38*	4.49	0.23^{ns}	0.09^{ns}	0.27	6.35
Soluble proline	پرولین محلول	1.437**	0.020	0.031^{ns}	0.013**	0.003	5.807
Soluble carbohydrates	کربوهیدرات‌های محلول	331.59**	17.09	11.45*	4.07^{ns}	5.55	4.16
Plant height	ارتفاع گیاه	601.00**	3.49	10.15**	1.40^{ns}	2.94	2.17
Extrusion length	طول اکستراژن	9.72**	0.61	3.79**	0.53^{ns}	0.55	4.02
Peduncle length	طول پدانکل	57.30**	1.77	5.17**	0.89^{ns}	0.73	2.35
Penultimate length	طول پنالتی‌میت	2.86^{ns}	0.57	4.82**	0.44^{ns}	0.51	3.88
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	2.98**	0.09	0.80*	0.20**	0.07	6.75
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	522.26**	1.97	37.48*	10.35**	0.87	0.45
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	54.38**	4.93	19.86**	4.23*	2.03	8.80
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	1397.09**	7.90	60.93*	16.11**	5.74	1.19
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	2.47**	0.02	0.21**	0.05**	0.01	8.72

**، * و ^{ns} به ترتیب نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.

**, *, and ^{ns}, indicate a significant difference at 1%, 5% probability level and no significant difference, respectively.



شکل ۲. تأثیر پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر عملکرد دانه (A)، عملکرد بیولوژیکی (B)، غلظت کلروفیل در برگ (C) و غلظت پرولین در برگ (D) گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون¬های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی¬دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین (n=3) هستند.

Fig. 2. Effect of seed priming with different compounds on grain yield (A), biological yield (B), chlorophyll concentration (C), and proline concentration (D) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean (n = 3).

محتوی پروتئین محلول در برگ تحت‌تأثیر اثرات سال قرار گرفت (جدول ۳). در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، بالاترین میزان محتوی پروتئین محلول در برگ مشاهده شد (جدول ۴) که این امر احتمالاً ناشی از کاهش میزان بارندگی در این فصل زراعی است (شکل ۱A). در این آزمایش، غلظت کربوهیدرات در برگ نیز تحت‌تأثیر اثرات سال و اثرات تیمار پرایم بذر قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میزان غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ که در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر از میزان بارندگی کم‌تری برخوردار بود به‌دست آمد (جدول ۴). گونه‌های فعال اکسیژن در نتیجه تنش ثانویه ناشی از کاهش رطوبت در دسترس گیاه جهت ادامه روند رشد ایجاد می‌شوند. در این شرایط، گیاه از تنظیم اسمزی از طریق تجمع ترکیباتی مانند پروتئین و کربوهیدرات‌ها به عنوان یکی از مکانیسم‌های خود برای مبارزه با آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن استفاده می‌کند. در واقع تنظیم اسمزی نقش مهمی در حفظ جذب آب در شرایط پتانسیل آب کم، افزایش مقاومت به تنش و افزایش عملکرد در شرایط تنش دارد (Saha et al., 2022). کاهش رشد و هیدرولیز نشاسته نیز از دلایل افزایش تجمع کربوهیدرات‌ها در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه جهت ادامه روند رشد می‌باشد (Zandalinas et al., 2018). نتایج حاصل از این آزمایش حاکی از آن بود که پرایم بذر با آب (تیمار هیدروپرایم)، ویتاسپرین، اوره و کلرید کلسیم به‌طور قابل‌توجهی غلظت کربوهیدرات‌ها در برگ را افزایش داده است (جدول ۴). پرایم بذور با ترکیبات نام‌برده در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ اثرات مثبتی بر غلظت کلروفیل در برگ (شکل ۲C) و عملکرد دانه (شکل ۲A) نیز داشتند. در واقع می‌توان چنین اظهار داشت که احتمالاً افزایش غلظت کلروفیل منجر به افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، افزایش تولید کربوهیدرات و در نهایت افزایش عملکرد دانه شده است. در آزمایش‌های مختلفی اثرات مثبت پرایم بذر بر غلظت کربوهیدرات‌های محلول در برگ گزارش شده است (Farooq et al., 2020; Ali et al., 2021).

تأثیر پرایم بذر بر ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول اکستراژن تحت‌تأثیر اثرات سال و اثرات تیمار پرایم قرار گرفتند (جدول ۳). این درحالی بود که طول پنالتی‌میت تنها تحت‌تأثیر اثرات تیمار پرایم قرار گرفت (جدول ۳). در این آزمایش، ارتفاع بوته، طول اکستراژن، طول پدانکل و طول پنالتی‌میت در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مقایسه با فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۹-۱۳۹۸ بیش‌تر بود (جدول ۴)، احتمالاً این امر به این دلیل بود که در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷، میزان بارندگی در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بالاتر بود (شکل ۱A). در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه، کاهش تولید هورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکینین، بر رشد سلولی، تقسیم سلولی و ارتفاع بوته گندم تأثیر می‌گذارد (Kurepa and Smalle, 2022). همچنین در این شرایط، افت آماس سلولی باعث می‌شود که سلول‌ها کم‌تر منبسط شوند و این امر در نهایت منجر به کاهش سطح برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه می‌گردد (Pourghasemian et al., 2020). کاهش رطوبت در دسترس گیاه در مطالعه انجام شده توسط سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2021) نیز منجر به کاهش طول میان‌گره‌های ساقه و ارتفاع بوته‌های گندم شد.

در این آزمایش پرایم بذر گندم با ویتاسپرین، اوره، کلرید کلسیم و هیدروپرایم، باعث افزایش طول میان‌گره‌های ساقه و ارتفاع بوته شد (جدول ۴). پرایم بذر به دلیل اثرات مثبتی که بر تقویت سیستم ریشه‌ای در گیاه دارد به گیاهان کمک می‌کند تا آب و مواد مغذی بیش‌تری جذب کنند و ارتفاع خود را افزایش دهند (Singhal et al., 2021). در آزمایش تبسم و همکاران (Tabassum et al., 2018)، پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۵ درصد) و هیدروپرایم به مدت ۱۲ ساعت، ارتفاع بوته، طول میان‌گره‌های ساقه و سطح برگ را در شرایط کاهش رطوبت در دسترس گیاه افزایش داد. حسین و همکاران (Hussain et al., 2018) نیز گزارش کردند که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم (۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۲۴ ساعت به طور قابل‌توجهی ارتفاع بوته‌های گندم را افزایش داد. پدانکل به‌عنوان یک اندام حیاتی برای تأمین کربن مورد نیاز برای پر شدن دانه در گندم عمل می‌کند و مطالعات متعددی همبستگی مثبت بین طول پدانکل و عملکرد دانه را نشان داده‌اند (Tabassum et al., 2018). اهمیت طول پدانکل در تعیین میزان عملکرد دانه از تجمع قابل‌توجه کربوهیدرات‌ها در آن ناشی می‌شود که متعاقباً این ذخایر به دانه‌ها منتقل می‌شوند. انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن نیاز به انرژی دارد، بنابراین گیاه از نزدیکی منبع و مخزن سود می‌برد. از آنجایی که پدانکل نسبت به سایر

نسخه پیش از انتشار

میان‌گره‌ها به سنبله و دانه‌ها نزدیک‌تر است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Wardlaw and Willenbrink, 1994).

یافته‌های حاصل از این آزمایش بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه با عملکرد دانه در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ بود؛ اما این همبستگی در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ منفی بود (جدول ۵) زیرا در این فصل زراعی، گیاهان شاهد بیش‌ترین عملکرد دانه (شکل ۲A) و کم‌ترین ارتفاع بوته و طول میان‌گره‌های ساقه (جدول ۴) را داشتند. از آنجایی‌که پرایم بذر منجر به استقرار سریع‌تر گیاه در مزرعه می‌گردد؛ بنابراین گیاهان حاصل از بذور پرایم شده در مقایسه با گیاهان شاهد، زودتر در معرض کاهش رطوبت در دسترس گیاه قرار گرفته و این امر تعداد پنجه‌ها، تعداد سنبله‌ها و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است (Sharifi Kalyani et al., 2023a).

جدول ۴. تأثیر سال و تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر صفات اندازه‌گیری شده در گندم دیم (رقم آذر ۲) در فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸.

Table 4. Effect of year and seed priming treatment with different compounds on measured traits in dryland wheat (Azar 2 cultivar) in the 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons

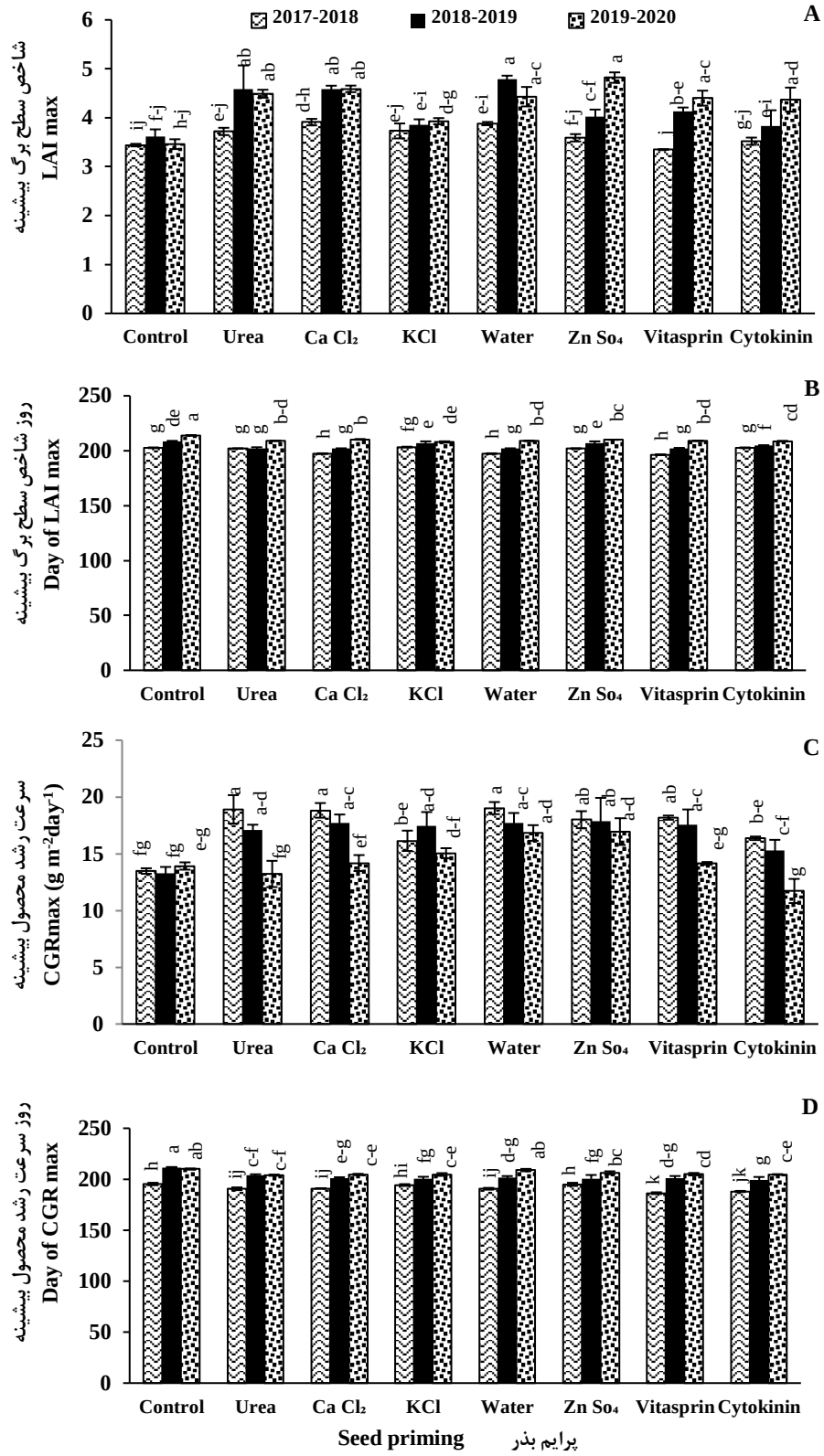
		پروتئین محلول در برگ Soluble protein in leaf	کربوهیدرات محلول در برگ Soluble carbohydrate in leaf	ارتفاع گیاه Plant height	طول اکستراژن Extrusion length	طول پدانکل Peduncle length	طول پنالتی‌میت Penultimate length
		mg g^{-1} FW		cm			
Year	**سال**						
2017-2018	**۹۷-۱۳۹۶**	8.14^{ab}	56.05^{b}	77.10^{b}	18.10^{b}	35.92^{b}	18.38^{a}
2018-2019	**۹۸-۱۳۹۷**	7.32^{b}	53.09^{c}	84.38^{a}	19.14^{a}	38.09^{a}	18.94^{a}
2019-2020	**۹۹-۱۳۹۸**	9.47^{a}	60.48^{a}	74.79^{c}	17.99^{b}	35.10^{b}	18.31^{a}
Seed priming	**پرایم بذر**						
Control	**شاهد**	8.02^{a}	54.34^{b}	76.98^{d}	17.05^{c}	35.48^{bc}	17.09^{c}
Urea	**اوره**	8.41^{a}	57.48^{a}	79.07^{ab}	18.29^{ab}	36.95^{a}	18.58^{ab}
Ca Cl_2	**کلرید کلسیم**	8.21^{a}	56.62^{a}	79.36^{ab}	18.96^{a}	36.83^{a}	19.21^{a}
KCl	**کلرید پتاسیم**	8.41^{a}	56.17^{ab}	78.59^{bc}	18.14^{b}	35.66^{bc}	18.18^{b}
Water	**آب**	8.26^{a}	57.88^{a}	78.98^{ab}	18.85^{ab}	37.00^{a}	19.18^{a}
Zn SO_4	**سولفات روی**	8.53^{a}	55.99^{ab}	79.76^{ab}	18.74^{ab}	36.44^{ab}	19.02^{a}
Vitaspirin	**ویتاسپرین**	8.23^{a}	57.49^{a}	79.91^{a}	19.02^{a}	37.25^{a}	19.00^{a}
Cytokinin	**سیتوکینین**	8.41^{a}	56.36^{ab}	77.40^{cd}	18.21^{b}	35.36^{c}	18.09^{b}

مقادیر درون یک گروه در یک ستون با حرف یکسان فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Values within a group in a column bearing followed by the same letter are not significantly different by LSD's test and at the 5% probability level.

تأثیر پرایم بذر بر برخی شاخص‌های رشد در گندم دیم

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، میزان LAI_{max}، روز رسیدن به LAI_{max}، میزان CGR_{max} و روز رسیدن به CGR_{max} تحت‌تأثیر اثرات متقابل سال × تیمار پرایم بذر قرار گرفتند (جدول ۳). در این آزمایش، بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ حاصل شد (شکل ۲A). همچنین، پرایم بذر با کلرید کلسیم و اوره در این فصل زراعی به‌صورت معنی‌داری LAI_{max} (شکل ۳A) و CGR_{max} (شکل ۳C)را افزایش و زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} (شکل ۳B) و CGR_{max} (شکل ۳D) را کاهش دادند. اثرات مثبت پرایم بذر بر سرعت رشد محصول احتمالاً ناشی از تسریع رشد برگ در ابتدای فصل رشد و افزایش سطح برگ در گیاه همزمان با جذب بیش‌تر تابش خورشید است که منجر به افزایش تولید روزانه ماده‌خشک می‌شود (Munsif et al., 2022). در آزمایشی که توسط حسین و همکاران (Hussain et al., 2018) انجام شد نتایج حاکی از آن بود که اسموپرایم بذر گندم با کلرید کلسیم



شکل ۳. تأثیر تیمار پرایم بذر بر شاخص سطح برگ بیشینه (A)، روز شاخص سطح برگ بیشینه (B)، سرعت رشد محصول بیشینه (C) و روز سرعت رشد محصول بیشینه (D) گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون¬های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی¬دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین (n=3) هستند.

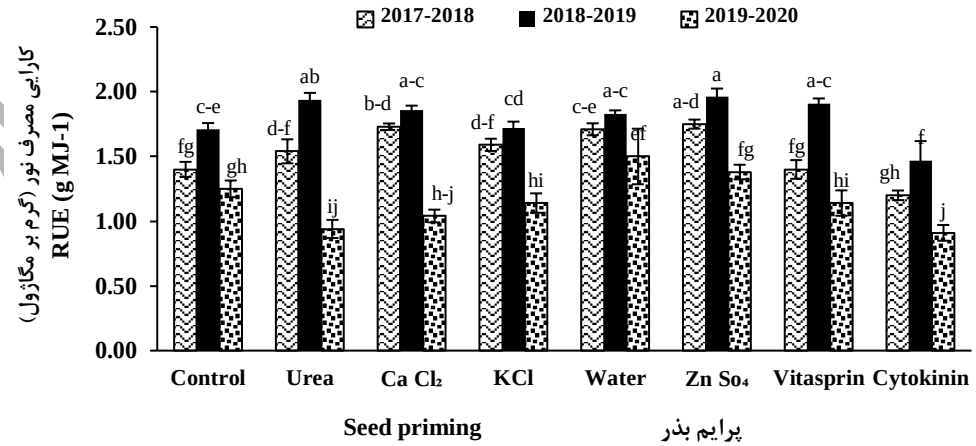
Fig. 3. Effect of seed priming treatment on LAImax (A), day of LAImax (B), CGRmax (C), and day of CGRmax (D) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean (n = 3).

(۱/۲۵- مگاپاسکال) به مدت ۲۴ ساعت منجر به افزایش عملکرد دانه از طریق استقرار سریع و یکنواخت گیاهچه، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول شد. در آزمایش سینگهال و همکاران (Singhal et al., 2021)، پرایم بذر با افزایش سطح برگ و تعداد برگ منجر به افزایش سطح فتوسنتزکننده و افزایش تولید ماده‌خشک و عملکرد دانه در گندم شد.

در آزمایش حاضر، در فصل‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ عملکرد دانه همبستگی مثبت با LAI_{max} و CGR_{max} و همبستگی منفی با زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max} داشت، این درحالی بود که در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، همبستگی منفی بین عملکرد دانه با LAI_{max} و همبستگی مثبت بین عملکرد دانه با زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max} مشاهده شد (جدول ۵). در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، عملکرد دانه در سطوح مختلف تیمار پرایم بذر به‌طور قابل توجهی کم‌تر از شاهد (شکل ۲A) بود. در واقع، گیاهان رشد یافته از دانه‌های پرایم شده گندم زودتر در مزرعه مستقر شدند و با توجه به کاهش بارندگی در طول فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، این گیاهان سریع‌تر از گیاهان شاهد در معرض کاهش رطوبت در دسترس گیاه قرار گرفتند و به دلیل اثرات منفی آن مانند کاهش تعداد پنجه و تعداد سنبله، عملکرد دانه در این فصل زراعی کاهش یافت (Sharifi Kalyani et al., 2023a) و اثرات مثبت پرایم بر افزایش LAI_{max} (شکل ۳A) و CGR_{max} (شکل ۳C) و کاهش زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} (شکل ۳B) و CGR_{max} (شکل ۳D) نتوانست این کاهش عملکرد دانه را که دلیل اصلی آن کاهش تعداد سنبله بود جبران کند.

اثر پرایم بذر بر میزان کارایی مصرف نور (RUE) در گندم دیم

میزان RUE تحت‌تأثیر اثرات متقابل سال × تیمار پرایم بذر قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر میزان RUE در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده با سولفات روی به‌دست آمد (شکل ۴) زیرا این گیاهان بیش‌ترین میزان ماده‌خشک تولیدی را داشتند (شکل ۲B). پرایم بذر با سولفات روی یکی از مؤثرترین تیمارها برای افزایش عملکرد دانه در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ نیز بود (شکل ۲A). گیاهان رشد یافته از بذور پرایم شده با اوره در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷، از نظر میزان RUE (شکل ۴) و عملکرد دانه (شکل ۲A) در جایگاه دوم قرار داشتند. همبستگی مثبت عملکرد دانه و کارایی مصرف نور در آزمایش‌های مختلفی گزارش شده است (Ullah et al., 2019; Sharifi Kalyani et al., 2023b). در این آزمایش نیز میزان عملکرد دانه در هر سه فصل زراعی با میزان RUE همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). در همه سطوح تیمار پرایم بذر و همچنین در گیاهان شاهد، بیش‌ترین میزان RUE در فصل



شکل ۴. اثر تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر کارایی مصرف نور گندم دیم (رقم آذر ۲). ستون‌های دارای حرف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار به روش LSD و در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. میله‌های عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین (n=3) هستند.

Fig. 4. Effect of seed priming treatments with different compound on radiation use efficiency (RUE) of dryland wheat (Azar 2 cultivar). Columns with the same letter have no significant difference by LSD method and at the 5% probability level; vertical bars represent the standard error of the mean (n = 3).

زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و کم‌ترین میزان RUE در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸مشاهده شد (شکل ۴). کاهش میزان RUE در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به‌دلیل کاهش قابل توجه تولید ماده‌خشک بود (شکل ۲B)، که این امر احتمالاً ناشی از کاهش بارندگی در این فصل زراعی است (شکل ۱A). هاتفیلد و پروگر (Hatfield and Prueger, 2015) نیز بیان کردند که دمای پایین، تنش کمبود رطوبت و تنش کمبود مواد مغذی با کاهش تولید ماده‌خشک، میزان RUE را کاهش می‌دهند. در واقع کاهش رطوبت در دسترس گیاه، به‌دلیل اثرات منفی که بر جذب عناصر غذایی از خاک و تولید مواد فتوسنتزی دارد میزان تجمع ماده‌خشک و کارایی مصرف نور را در گیاه کاهش می‌دهد (Ullah et al., 2019).

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه

Table 5. Correlation coefficients between studied traits and grain yield

Traits	صفات	Grain yield عملکرد دانه ۱۳۹۶-۹۷ 2017-2018	۱۳۹۷-۹۸ 2018-2019	۱۳۹۸-۹۹ 2019-2020
chlorophyll concentration in leaf	غلظت کلروفیل در برگ	0.508*	0.827**	-0.050ns
Soluble protein in leaf	پروتئین محلول در برگ	0.006ns	-0.022ns	-0.221ns
Soluble proline in leaf	پرولین محلول در برگ	0.454*	0.448*	-0.264ns
Soluble carbohydrates in leaf	کربوهیدرات‌های محلول در برگ	0.402ns	0.293ns	-0.440*
Plant height	ارتفاع گیاه	0.540**	0.427*	-0.387ns
Extrusion length	طول اکستراژن	0.552**	0.574**	-0.306ns
Peduncle length	طول پدانکل	0.320ns	0.550**	-0.276ns
Penultimate length	طول پنالتی‌میت	0.668**	0.615**	-0.333ns
Maximum leaf area index	شاخص سطح برگ بیشینه	0.616**	0.641**	-0.423*
Day of maximum leaf area index	روز شاخص سطح برگ بیشینه	-0.447*	-0.810**	0.778**
Maximum crop growth rate	سرعت رشد محصول بیشینه	0.729**	0.409*	0.211ns
Day of maximum crop growth rate	روز سرعت رشد محصول بیشینه	-0.053ns	-0.175ns	0.736**
Radiation use efficiency	کارایی مصرف نور	0.654**	0.558**	0.444*

تحلیل اقتصادی

در این آزمایش، پرایم بذر گندم با اوره به‌عنوان تیمار برتر ظاهر شد، زیرا نه‌تنها این تیمار اثرات قابل‌توجهی بر افزایش عملکرد دانه داشت، از نظر نسبت سود به هزینه نیز رتبه اول را به خود اختصاص داد (جدول ۶). دسترسی آسان و ماهیت نسبتاً غیرسمی اوره می‌تواند باعث کاربرد گسترده آن در مزرعه شود، بنابراین استفاده از این تیمار پرایم بذر به کشاورزان پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که پرایم بذر گندم با کلرید کلسیم و اوره در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ با افزایش غلظت کلروفیل، محتوای پرولین برگ، غلظت کربوهیدرات‌های برگ، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، طول میان‌گره‌های ساقه، LAI_{max}، CGR_{max}، RUE و همچنین کاهش زمان لازم برای رسیدن به LAI_{max} و CGR_{max}، رتبه اول از نظر میزان عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. در همه سطوح تیمار پرایم بذر، در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ بیش‌ترین میزان عملکرد دانه و در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸کم‌ترین میزان عملکرد دانه به‌دست آمد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش دما در پاییز و زمستان و همچنین کاهش میزان و پراکنش نامناسب بارش در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بوده است. در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸، نهال‌هایی که از دانه‌های پرایم شده حاصل شدند در مقایسه با نهال‌های حاصل از بذور شاهد، سریع‌تر در معرض کاهش رطوبت در دسترس بذور جهت ادامه روند رشد قرار گرفتند که این امر در نهایت منجر به مرگ نهال، کاهش تعداد سنبله و کاهش عملکرد دانه شد. این امر بر اهمیت شرایط رشد اولیه در کارایی تیمار پرایم بذر تأکید کرد. در واقع در فصل زراعی ۹۸-۱۳۹۷ که میزان بارندگی بیش‌تری در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر وجود داشت، تأثیر تیمار پرایم بذر بر بهبود عملکرد دانه در مقایسه با دو فصل زراعی دیگر بیش‌تر بود،

اما در فصل زراعی ۹۹-۱۳۹۸ که کم‌ترین میزان بارندگی وجود داشت، پرایم بذر اثرات منفی بر عملکرد دانه گذاشت. به‌طور کلی می‌توان این چنین اظهار داشت که در شرایط دیم، کارایی تیمار پرایم بذر وابسته به میزان بارندگی است و در فصول زراعی با بارندگی بیش‌تر، پرایم کردن بذر عملکرد دانه را به‌طور مؤثرتری افزایش می‌دهد و با کاهش میزان بارندگی، تیمار پرایم بذر ممکن است اثر منفی بر عملکرد دانه داشته باشد، که البته این نتایج نیازمند بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تر در آینده است.

جدول ۶. اثر تیمار پرایم بذر با ترکیبات مختلف بر درآمد خالص و نسبت سود به هزینه در گندم دیم (میانگین فصل‌های زراعی ۱۳۹۶-۹۷، ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹).

Table 6. Effect of seed priming treatment with different compound on net income and benefit-cost ratio in dryland wheat (mean of 2017-2018, 2018-2019, and 2019-2020 cropping seasons).

Seed priming treatments	تیمارهای پرایم بذر	هزینه کل Total expenditure	درآمد ناخالص Gross income	درآمد خالص Net income	نسبت سود به هزینه Benefit- cost ratio
		---------- (US$ ha^{-1}) دلار آمریکا در هکتار ----------			
Control	**شاهد**	270	528	258	1.96
Urea	**اوره**	283	635	352	2.24
Ca Cl_2	**کلرید کلسیم**	320	655	335	2.05
KCl	**کلرید پتاسیم**	291	545	254	1.87
Water	**آب**	280	618	338	2.21
Zn SO_4	**سولفات روی**	286	554	268	2.07
Vitaspirin	**ویتاسپرین**	287	596	309	2.08
Cytokinin	**سیتوکینین**	289	521	232	1.80

منابع

Ali, L.G., Nulit, R., Ibrahim, M.H., Yien, C.Y.S., 2021. Efficacy of KNO_3, SiO_2 and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. Scientific Reports. 11(1), 3864. https://doi.org/10.1038/s41598-021-83434-3

Bates, L.S., Waldren, R.P.A., Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39, 205-207. https://doi.org/10.1007/bf00018060

Bradford, M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72 (2), 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Chivas, W., Harris, D., Chiduza, C., Nyamudeza, P., Mashingaidze, AB., 1998. Agronomic practices, major crops and farmers' perceptions of the importance of good stand establishment in Musikavanhu Communal Area, Zimbabwe. Journal of Applied Science in Southern Africa. 4, 108–126. https://www.researchgate.net/publication/269565859

Choudhary, S.K., Kumar, V., Singhal, R.K., Bose, B., Chauhan, J., Alamri, S., Sabagh, A. E., 2021. Seed priming with Mg $(NO_3)_2$ and $ZnSO_4$ salts triggers the germination and growth attributes synergistically in wheat varieties. Agronomy. 11(11), 2110. https://doi.org/10.3390/agronomy11112110

Ding, D., Wang, N., Zhang, X., 2021. Quantifying the interaction of water and radiation use efficiency under plastic film mulch in winter wheat. Science of the Total Environment. 794, 148704–148717. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148704

Eskandari B., Ezzati S., Mandani F., 2015. Evaluation of light absorption and use efficiency of soybean (*Glysine max* L.) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). Iran Journal of Weed Research. 7 (1), 35-48. [In Persian]. https://journals.iau.ir/article_525384.html

نسخه پیش از انتشار

Farooq, M., Almamari, S., Rehman, A., 2021. Morphological, physiological, and biochemical aspects of zinc seed priming-induced drought tolerance in faba bean. Scientia Horticulturae. 281, 109894–109901. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109894

Farooq, M., Barsa, S., Wahid, A., 2006. Priming of field-sown rice seed enhances germination, seedling establishment, allometry, and yield. Plant Growth Regulation. 49, 285–294. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9138-y

Farooq, M., Hussain, M., Habib, M., 2020. Influence of seed priming techniques on grain yield and economic returns of bread wheat planted at different spacings. Crop and Pasture Science. 71, 725–738. https://doi.org/10.1071/CP20065

Farooq, M., Usman, M., Nadeem, F., Rehman, H., Wahid, A., Basra, S.M.A., Siddique, K.H.M., 2019. Seed priming in field crops-potential benefits, adoption and challenges. Crop and Pasture Science. 70, 731–771. https://doi.org/10.1071/CP18604

Harris, D., 2006. Development and testing of "On-Farm" seed priming. Advances in Agronomy. 90, 129-178. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)90004-2

Hassan, A., Amjad, S.F., Saleem, M.H., Yasmin, H., Imran, M., Riaz, M., Alyemeni, M.N., 2021. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. Saudi Journal of Biological Sciences. 28(8), 4276-4290. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.045

Hatfield, J. L., Prueger, J. H., 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes. 10, 4-10. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001

Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Ghorbani, R., 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato (*Solanum tuberosum* L.)/corn (*Zea mays* L.) intercropping. Journal of Agroecology. 2(1), 45-54. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JAG.V2I1.7598

Hossein Panahi, F., Pouramir, F., Koocheki, A., 2011. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in replacement series intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology. 3(1), 106-120. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/JAG.V3I1.9976

Hussain, M., Farooq, M., Sattar, A., Ijaz, M., Sher, A., Ul-Allah, S., 2018. Mitigating the adverse effects of drought stress through seed priming and seed quality on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity. Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 55, 313–319. https://doi.org/10.21162/PAKJAS/18.5833

Hussian, I., Ahmad, R., Farooq, M., Wahid, A., 2013. Seed priming improves the performance of poor quality wheat seed. International Journal of Agriculture & Biology. 15,1343–1348.

Jatana, B.S., Ram, H., Gupta, N., 2020. Application of seed and foliar priming strategies to improve the growth and productivity of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.). Cereal Research Communications. 48(3), 383-390. https://doi.org/10.1007/s42976-020-00036-x

Keshavarz, A., Esfandiyaripour, E.M., Tavazo, M., Ahmadifar, M., Khanchi, M., 2016. Wheat Seed Multiplication and Supplying Program. Agricultural Extension and Education Publications, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. [In Persian].

Khan, A., Shafi, M., Bakht, J., Anwar, S., Khan, M. O., 2021. Effect of salinity (NaCl) and seed priming ($CaCl_2$) on biochemical parameters and biological yield of wheat. Pakistan Journal of Botany. 53 (3),779–789. https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(12)

Khan, MB., Gurchani, M. A., Hussain, M., 2011. Wheat seed enhancement by vitamin and hormonal priming. Pakistan Journal of Botany. 43, 1495–1499.

Kurepa, J., Smalle, J. A., 2022. Auxin/cytokinin antagonistic control of the shoot/root growth ratio and its relevance for adaptation to drought and nutrient deficiency stresses. International Journal of Molecular Sciences. 23(4), 1933. https://doi.org/10.3390/ijms23041933

Lichtenthaler, H.K., Buschmann, C., 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 1(1), F4-3. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

Munsif, F., Shah, T., Arif, M., Jehangir, M., Afridi, M.Z., Ahmad, I., Alansi, S., 2022. Combined effect of salicylic acid and potassium mitigates drought stress through the modulation of physio-biochemical attributes and key antioxidants in wheat. Saudi Journal of Biological Sciences. 29(6), 103294. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103294

Nawaz, A., Farooq, M., Ahmad, R., Basra, S.M.A., Lal, R., 2016. Seed priming improves stand establishment and productivity of no till wheat grown after direct seeded aerobic and transplanted flooded rice. European Journal of Agronomy. 76, 130-137. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.012

Parsons, I.T., Hunt, R., 1981. Plant growth analysis: a program for the fitting of lengthy series of data by the method of B-splines. Annals of Botany. 48(3), 341-352. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086132

Pavia, I., Roque, J., Rocha, L., Ferreira, H., Castro, C., Carvalho, A., Correia, C., 2019. Zinc priming and foliar application enhances photoprotection mechanisms in drought-stressed wheat plants during anthesis. Plant Physiology and Biochemistry. 140, 27-42. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.028

Pourghasemian, N., Moradi, R., Naghizadeh, M., Landberg, T., 2020. Mitigating drought stress in sesame by foliar application of salicylic acid, beeswax waste and licorice extract. Agricultural Water Management. 231, 105997. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105997

Rajabi Khamseh, S.R., Sekari, F., Saba, J., Zangani, E., 2013. Effects of priming with salicylic acid on grain growth of three wheat cultivars under rainfed conditions. International Journal of Plant Production. 4 (8),2061–2068. https://doi.org/10.5555/20133272681

Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., 2018. Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. Protoplasma. 255, 1179–1194. https://doi.org/10.1007/s00709-018-1222-4

Saha, D., Choyal, P., Mishra, U., Dey, P., Bose, B., Gupta, N., Mehta, B., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J., Singhal, R., 2022. Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. Plant Stress. 4(1), 100066–100080. https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066

Samota, M.K., Sasi, M., Singh, A., 2017. Impact of seed priming on proline content and antioxidant enzymes to mitigate drought stress in rice genotype. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6(5), 2459-2466. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.275

Sharifi Kalyani, F., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Jalali Honarmand, S., 2023a. The effect of seed priming treatments and foliar application of vitaspirin and urea on wheat grain yield under dryland conditions. Cereal Research Communications. 51(3), 761-771. https://doi.org/10.1007/s42976-022-00318-6

Sharifi Kalyani, F., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., Jalali-Honarmand, S., 2023b. Effect of nutrients foliar application on physiological traits, morphological traits, radiation use efficiency, and grain yield of dryland wheat. Gesunde Pflanzen. 75(6), 2757-2771. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00892-7

Singhal, R.K., Kumar, V., Bose, B., 2019. Improving the yield and yield attributes in wheat crop using seed priming under drought stress. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8(2), 214-220.

Singhal, R., Pandey, S., Bose, B., 2021. Seed priming with $Mg(NO_3)_2$ and $ZnSO_4$ salts triggers physio-biochemical and antioxidant defense to induce water stress adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Stress. 2, 100037–100049. https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100037

Spitters, C.J.T., 1989. Crop growth models: their usefulness and limitations. In: Proceedings of the VI Symposium on the Timing of Field Production of Vegetables, Wageningen, The Netherlands, 368 p.

Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., Shahid, M., 2018. Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. Physiology and Molecular Biology of Plants. 24, 845-856. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0547-y

Tsubo, M., Walker, S., Ogindo, H.O., 2005. A simulation model of cereal–legume intercropping systems for semi-arid regions: I. Model development. Field Crops Research. 93(1), 10-22. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.002

Ullah, H., Santiago-Arenas, R., Ferdous, Z., Attia, A., Datta, A., 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. Advances in Agronomy. 156, 109-157. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.002

Wardlaw, I.F., Willenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilisation by the culm of wheat between heading and grain maturity: the relation to sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. Functional Plant Biology. 21(3), 255-271. https://doi.org/10.1071/PP9940255

Yari, L., Khazaei, F., Sadeghi, H., Sheidaei, S., 2011. Effect of seed priming on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural and Biological Science. 6, 1-5.

Yemm, E.W., Willis, A., 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochemical Journal. 57(3), 508. https://doi.org/10.1111/j.2042-7174.1999.tb00969.x

Zahra, N., Wahid, A., Shaukat, K., Rasheed, T., 2020. Role of seed priming and foliar spray of calcium in improving flag leaf growth, grain filling and yield characteristics in wheat (*Triticum aestivum*)- A field appraisal. International Journal of Agriculture and Biology. 24, 1591-1600. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1599

Zandalinas, I., Mittler, R., Balfagon, D., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A., 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. Physiologia Plantarum. 162(1), 2–12. https://doi.org/10.1111/ppl.12540

.

نسخه پیش از انتشار