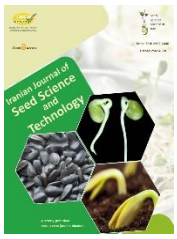
2025, 15 (2), 59-76 https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.365859.1529

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Effect of Seed Priming with Selenium on Physiological and Biochemical Characteristics Wheat Seedling cv. Saein (*Triticum aestivum* L.) Under Salt Stress

Haniyeh Saadat[1*], Mohammad Sedghi[2]

1. Ph.D. Graduage in Ecology of Crop Plants, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Article Information

Received: 24 May 2024
Revised: 26 Aug. 2024
Accepted: 08 Oct. 2024

Keywords:
Growth Indicators,
Proline,
Protein,
Selenium,
Soluble Sugars.

Corresponding Author:
t.saadat2020@gmail.com

Abstract

In order to investigate the effect of seed priming with selenium on physiological and biochemical characteristics Wheat seedling under salt stress, a factorial experiment was conducted based on completely randomized design at the University of Mohaghegh Ardabili in 2024 with 3 replications. Treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 Mm) and four selenium levels (0, 25, 50, and 75 µM).The results showed that salt stress reduced growth indices including Germination Percentage (GP), Germination Rate (GR), Radicle and Plumule Fresh Weight (RFW and PFW), Radicle Dry Weight (RDW), Radicle length (RL), Plumule length (PL) and Seed Length Vigor Index (SLVI), but seed priming with different levels of selenium, especially the level of 75 µM, improved these traits. Priming with selenium decreased the amount of mean germination time, so the highest mean germination time (0.930 days) observed in the control treatment (priming with distilled water). The most Plumule Dry Weight (PDW) and Seed Weight Vigor Index (SLWI) were observed in treatment with 75 µM selenium and without salt. The amount of protein, proline and soluble sugars increased by 61, 25 and 72% respectively in priming with selenium 75 µM compared to the control. The results showed that Seed priming with selenium causes strengthened the germination indices, growth indices and biochemical traits in wheat and increased seedling growth.

How to cite this paper: Saadat, H., & Sedghi, M. (2026). Effect of seed priming with selenium on physiological and biochemical characteristics Wheat seedling cv. Saein (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *15* (2), 59-76. https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.365859.1529

© Authors, Published by Iranian Journal of Seed Science and Technology. This is an open-access article distributed under the CC BY (license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Wheat is a major diet component for humans in daily life and major source of starch and energy, wheat also provides substantial amounts of several components that are essential for body health. Salinity is one of the major abiotic stresses that threaten global food security by impacting agricultural production, particularly in arid and semi-arid regions of the world. Seed priming is a technique for minimizing emergence time, ensuring consistent germination, and improving crop performance. It is a treatment at pre-sowing, leading to a physiological condition that makes it more useful for the seed to germinate.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2024 as a factorial in the form of a completely randomized design with 3 replications at University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM sodium chloride) and four selenium levels (0, 25, 50, and 75 µM). For priming, the seeds were immersed in priming solutions for 6 hours. Following priming, the seeds were washed with distilled water and dried. Subsequently, sodium chloride was added to each Petri dish for the germination test, which was executed in a total of three replications of 25 seeds each at a temperature of 25°C for a duration of 8 days. Thereafter, germination indices and biochemical parameters were measured.

Results and Discussion

The results showed that salt stress reduced growth indices including Germination Percentage (GP), Germination Rate (GR), Radicle and Plumule Fresh Weight (RFW and PFW), Radicle Dry Weight (RDW), Radicle length (RL), Plumule length (PL) and Seed Length Vigor Index (SLVI), but seed priming with different levels of selenium, especially the level of 75 µM, improved these traits. Priming with selenium decreased the amount of mean germination time, so the highest mean germination time (0.930 days) observed in the control treatment (priming with distilled water). The most Plumule Dry Weight (PDW) and Seed Weight Vigor Index (SLWI) were observed in treatment with 75 µM selenium and without salt. The amount of protein, proline and soluble sugars increased by 61, 25 and 72% respectively in priming with selenium 75 µM compared to the control.

Conclusions

The results of this study demonstrate that Seed priming with selenium causes strengthened the germination indices, growth indices and biochemical traits in wheat and increased seedling growth.

دوره ۱۵، شماره ۲، صفحات ۷۶-۵۹
https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.365859.1529

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تأثیر پرایمینگ بذر با سلنیوم روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه گندم (*Triticum aestivum* L.) رقم سائین در شرایط تنش شوری

هانیه سعادت[1*]، محمد صدقی[2]

۱. دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با سلنیوم روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهچه گندم تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و چهار سطح سلنیوم (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) بود. نتایج نشان داد که تنش شوری درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه گیاهچه کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با سطوح مختلف سلنیوم به‌ویژه سطح ۷۵ میکرومولار این صفات را بهبود بخشید. متوسط زمان جوانه‌زنی طی پرایمینگ با سلنیوم کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار متوسط زمان جوانه‌زنی (۰/۹۳۰ روز) در تیمار شاهد دیده شد. بیشترین وزن خشک ساقه‌چه و شاخص وزنی بنیه گیاهچه در پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری حاصل شد. مقدار پروتئین کل، پرولین و قندهای محلول در پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار نسبت به شاهد به ترتیب ۶۱، ۲۵ و ۷۲ درصد افزایش نشان دادند. نتایج نشان داد پرایمینگ بذر با سلنیوم موجب تقویت شاخص‌های جوانه‌زنی، شاخص‌های رشد و صفات بیوشیمیایی بذرهای گندم تحت تنش شوری شد و رشد گیاهچه را افزایش داد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

واژه‌های کلیدی:
سلنیوم،
شاخص‌های رشد،
پروتئین،
پرولین و قندهای محلول.

نویسنده مسئول:
t.saadat2020@gmail.com

نحوه استناد به این مقاله:
Saadat, H., & Sedghi, M. (2026). Effect of seed priming with selenium on physiological and biochemical characteristics Wheat seedling cv. Saein (*Triticum aestivum* L.) under salt stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *15* (2), 59-76. https://doi.org/10.22092/IJSST.2024.365859.1529

مقدمه

گندم یکی از غلات مهم است که تغذیه حدود یک پنجم جمعیت جهان را تامین می‌کند (Gupta et al., 2024). برآوردها نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه تولید گندم را تا ۳۰ درصد افزایش خواهند داد و جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ میلیون تن نیاز خواهد داشت تا نیازهای آینده را برآورده کند (Sharma et al., 2015). این گیاه، یکی از مهم‌ترین گیاهان خودگشن و متعلق به تیره بقولات بوده و منبع مهم پروتئین برای میلیون‌ها نفر در کشورهای در حال توسعه است. علاوه بر این، محتوای پروتئین بالا (٪۲۰-۲۲) و غنی از کربوهیدرات، فیبر، مقادیر زیاد مواد معدنی و محتوای چربی کم است (Wallace et al., 2016).

تنش شوری یک عامل محیطی مهم است که رشد و نمو گیاهان را با چالش‌هایی مواجه می‌کند (Ali et al., 2023; Shereen et al., 2022). هنگامی که گیاهان در معرض سطوح شوری اطراف خود قرار می‌گیرند، فرآیندهای فیزیولوژیکی طبیعی آن‌ها مختل شده و منجر به اثرات مخرب مختلفی می‌شود (Khan et al., 2021; Naz et al., 2019). یکی از تأثیرات اولیه تنش شوری بر گیاهان، مهار رشد است (Hu et al., 2021; Omara et al., 2022). غلظت بالای نمک مانع جذب آب توسط ریشه‌چه شده که منجر به کمبود آب در بافت‌های گیاه می‌شود (Ait-El-Mokhtar et al., 2020). این کمبود آب، همراه با تنش اسمزی ناشی از تجمع نمک‌ها، رشد و نمو سلولی گیاه را کاهش می‌دهد (Kravchik et al., 2013; Naz et al., 2021). تنش شوری همچنین باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی، از جمله پراکسید هیدروژن و رادیکال‌های سوپراکسید شده در نتیجه باعث آسیب اکسیداتیو به اجزای سلولی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA می‌شوند. این تنش اکسیداتیو ناشی از شوری، عملکرد طبیعی سلولی را مختل کرده و می‌تواند منجر به مرگ سلولی شود (Hasanuzzaman et al., 2021; Hossen et al., 2022). جوانه‌زنی بذر یکی از حساس‌ترین مراحل در چرخه زندگی گیاه است و تنش شوری به شدت مانع جوانه‌زنی بذر می‌شود (Biswas et al., 2023; Chaichi et al., 2022).

پرایمینگ بذر یک تکنیک قدیمی است که برای افزایش جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و عملکرد محصول در شرایط عادی و نامطلوب استفاده می‌شود (Raj and Raj. 2019). نانو پرایمینگ یک فناوری جدید و موثری است (Kasote et al., 2021) که برای مبارزه با اثرات مضر تنش شوری، مورد قرار گرفته است (Taqdees et al., 2022). نانو ذرات دارای خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به‌فردی هستند که آن‌ها را به گزینه‌ای امیدوارکننده برای افزایش تحمل گیاه به تنش شوری تبدیل می‌کند. مطالعات اخیر کاربرد نانو پرایمینگ را در افزایش جوانه‌زنی، رشد و عملکرد بذر، از جمله تعدیل پاسخ‌های فیزیولوژیکی مانند سامانه‌های آنتی‌اکسیدانتی و مسیرهای هورمونی در بذرها و گیاهان نشان داده است (do Espirito Santo Pereira et al., 2021). روش‌های نانو پرایمینگ بر فیزیولوژی گیاهی در سطوح سلولی، اندام‌ها و گیاهان تأثیر می‌گذارند. پرایمینگ می‌تواند با ایجاد تغییراتی در بیان ژن، سنتز پروتئین و مسیرهای متابولیکی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه را افزایش دهد، ترکیب لیپیدهای غشایی را تغییر دهد و تولید محافظ های اسمزی مانند قندها را افزایش دهد (Jagadish et al., 2021; Yadav et al., 2022)، این تغییرات می‌تواند به گیاه کمک کند تا پایداری غشا را حفظ کند، آسیب اکسیداتیو را کاهش دهد و از دناتوره شدن پروتئین در شرایط تنش جلوگیری کند (Vijayalakshmi & Vivitha. 2016; Jespersen, 2020).

سلنیوم یک عنصر کمیاب حیاتی برای سلامت انسان و حیوانات است (Song et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که سلنیوم مسئول تنظیم دگرگونی برخی از ژن‌های خاص است که به‌طور مستقیم در جداسازی واکوئلی یون‌ها و در نتیجه افزایش تحمل به شوری گیاه نقش دارند (Kamran et al., 2020). سلنیوم اثرات زیستی متعددی در گیاهان دارد، به‌ویژه برای مقابله با عوامل تنش‌زای غیرزیستی مانند تنش شوری (Abdi et al., 2023; Hajlaoui et al., 2023) استفاده می‌شود و به عنوان یک کاهش‌دهنده تنش شوری گیاه عمل می‌کند (Hossain et al., 2021). به عنوان مثال Soliman et al. (2023) نشان داد که پرایمینگ با سلنیوم می‌توانند شوری را در گندم کاهش داده و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی را افزایش دهد. بسیاری از تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که کاربرد نانو ذرات سلنیوم در

غلظت‌های پایین اثرات مفیدی برای افزایش رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیکی برای مقابله با تنش شوری دارد (Khan et al., 2023; Titov et al., 2022; Song et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که پرایمینگ بذر گندم شاخص‌های جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Al-Salama et al., 2024). در واقع، شواهد نشان داده است که بذرهای پرایم شده قوی تر از بذرهای پرایم نشده در شرایط تنش‌های غیر زیستی هستند (Alam et al., 2022; Benadjaoud et al., 2022). افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد مانند جوانه‌زنی نهایی و سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و مدت زمان جوانه زنی در بذرهای تیمار شده با سلنیوم تحت تنش شوری در گیاهان مختلف گزارش شده است (de los Ángeles SariñanaNavarrete et al., 2024; García Locascio et al., 2024; Ghazi et al., 2022).

هدف از انجام این پژوهش، تأثیر پرایمینگ بذر با آب مقطر و مقادیر مختلف سلنیوم روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه گندم رقم سائین در شرایط تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر پرایمینگ بذر با سلنیوم روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه گندم در شرایط تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با سه تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و چهار سطح سلنیوم (شاهد (آب مقطر)، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انجام شد. بذرهای گندم رقم سائین طبقه بذر گواهی شده تولید ۱۴۰۲ از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل تهیه شد. قبل از پرایم کردن جهت ضدعفونی، بذرها به مدت ۵ دقیقه در محلول یک درصد هیپوکلریت سدیم غوطه‌ور و سپس ۳ بار با آب مقطر شسته شدند (Khayat et al., 2011). ابتدا بذرها درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به‌مدت ۶ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از پرایمینگ، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک شد. سپس، ۲۵ عدد بذر درون هر پتری سترون دارای کاغذ صافی جهت کشت قرار گرفت و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم برند مرک) با سطوح مختلف به مقدار ده میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به‌مدت ۸ روز قرار داده شد (Albaji & Marashi. 2024). معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان دو میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد. برای خشک کردن گیاهچه‌ها از آون با دمای ۷۲ درجه‌ی سلسیوس استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک گیاهچه از ترازو با دقت یک‌هزارم و برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از خط‌کش با واحد سانتی‌متر استفاده شد. برای محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه از روابط جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱- روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی مورد مطالعه در آزمایش

Table 1- Equations for the calculation of germination indices studied in the experiment

صفات Traits	روابط Equations	منابع References
درصد جوانه‌زنی (Germination Percentage)	GP = (N×100) / M	Omidi et al., 2014
سرعت جوانه‌زنی (Germination Rate)	GR =$\sum_{i=1}^{N} Si\ /Di$	Ellis & Roberts. 1980
متوسط زمان جوانه‌زنی (Mean germination time)	MGT = Σ (Ni) /ΣN)	Omidi et al., 2014
شاخص طولی بنیه بذر (Seedling Length Vigor Index)	SLVI = SL (mm) – GP	Ebrahimi et al., 2013
شاخص وزنی بنیه بذر (Seedling Weight Vigor Index)	SWVI = SDW (gr) – GP	Ebrahimi et al., 2013

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذور، N: تعداد دفعات شمارش، Ni: تعداد بذر جوانه زده در روز، Si: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش nام، GP: درصدجوانه‌زنی، SL: طول گیاهچه و SDW: وزن خشک گیاهچه،SFW: وزن تر گیاهچه.

سنجش میزان پروتئین

برای استخراج پروتئین کل از ساقه‌چه از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. جهت تهیه معرف پروتئین برادفورد ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلوجی در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به مدت زمان حداقل یک ساعت حل و پس از آن، ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۸۵٪ قطره قطره به آن اضافه شد و با آب مقطر حجم محلول به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای حذف ذرات معلق، محلول از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد. در نهایت پنج میلی‌لیتر معرف برادفورد همراه با ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی مخلوط شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. عدد حاصل براساس میلی‌گرم برگرم وزن نمونه بذری محاسبه شد.

سنجش میزان پرولین

سنجش میزان پرولین براساس روش (Bates et al., 1973) انجام شد. در این روش ۰/۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک مخلوط شدند. پس از صاف کردن با صافی از مخلوط همگن حاصل، ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر معرف اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص در بن‌ماری به مدت یک ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس نمونه‌ها به حمام آب یخ منتقل و بعد از اضافه کردن ۴ میلی‌لیتر تولوئن، مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه به‌دست آمد.

سنجش قندهای محلول

میزان قندهای محلول به روش فنل سولفوریک (Kochert, 1978) و براساس هیدرولیز اسیدی قندهای محلول و ایجاد ترکیب فورفورال که با فنل تولید یک کمپلکس رنگی می‌کند، اندازه‌گیری شد. در این روش، ۰/۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به‌وسیله هاون خوب ساییده گردید. پس از صاف کردن، از عصاره گیاهی حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از افزودن ۱ میلی‌لیتر فنل (۵٪ وزنی- حجمی) و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪، لوله‌ها به مدت ۱ ساعت به حال خود رها شدند تا رنگ ظاهر و تثبیت شود. پس از ظهور رنگ، میزان جذب در طول موج ۴۸۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و با استفاد از منحنی استاندارد قند گلوکز، میزان قند در ریشه‌چه تحت تیمار بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

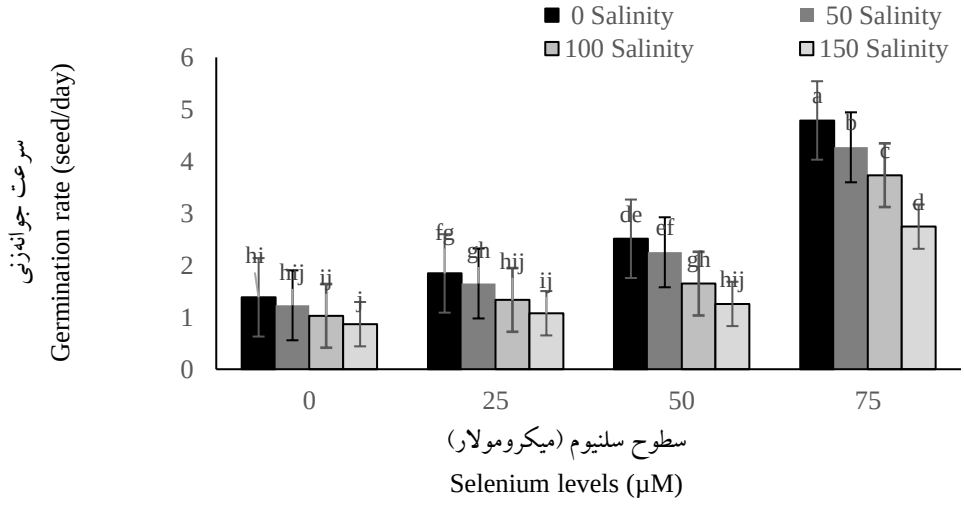
تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel 2018 استفاده شد.

بحث و نتایج

درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سلنیوم و شوری روی درصد جوانه‌زنی و علاوه بر اثرات ساده، اثر متقابل سلنیوم و شوری نیز روی سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد سطوح مختلف سلنیوم توانست درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش دهد. اما تاثیر پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از سطوح دیگر و هیدرو پرایمینگ بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۹۶/۵۲٪) مربوط به تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار بود و کمترین مقدار درصد جوانه‌زنی (۷۸/۹۲٪) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۳). با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت، .به طوری که بیشترین درصد جوانه‌زنی (۶۷٪/۸۷٪) مربوط به شاهد و کمترین درصد جوانه‌زنی (۲۵٪/۷۲٪) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسه میانگین روی سرعت جوانه‌زنی هم نشان داد که بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۴/۷۸۷ بذر در روز) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری و کمترین آن (۰/۸۶۷ بذر در روز) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهد شد (شکل ۱). شوری با کاهش فعالیت‌های متابولیکی لازم جوانه‌زنی را کاهش داده و فرآیند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (Debez et al., 2020). در واقع، تنش شوری با کاهش جذب آب، پتانسیل آبی را کاهش داده و افزایش تجمع بالای سدیم و کلر باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می شود (Nawaz et al., 2022). یون‌های سدیم و کلر اضافی جذب شده با جذب آب می‌تواند باعث سمیت یونی شود و بر فرآیندهای متابولیک در بذرهای جوانه‌زنی

از طریق فعالیت آنزیمی مانند تنفس، هیدرولیز مواد مغذی تأثیر منفی بگذارد (Mwando et al., 2020; Naseer et al., 2022). افزایش سرعت جوانه‌زنی در اثر پرایمینگ نشانگر افزایش قدرت بذرهاست که موجب بهبود سریع گیاهان و کاهش ناهمگنی فیزولوژیکی ذاتی می‌شود (Sheikhzadeh et al., 2014). پرایمینگ باعث بیوسنتز پروتئین و فعال‌سازی آنزیم‌ها به‌ویژه هیدرولایز و آلفا آمیلاز در جنین می‌شود و علاوه بر اینکه موجب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی مانند گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌شود این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها طی سرعت جوانه‌زنی را کاهش داده و موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شوند (Amoaghaei, 2009; Farooq et al., 2007). مطالعات نشان داده است که پرایمینگ در شرایط تنش شوری با نرم کردن پوسته بذر باعث خروج سریع‌تر ریشه‌چه و افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Abdolahipour & Haghighi. 2019). در واقع، پرایمینگ بذر با فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی افزایش داده و دسترسی به مواد مغذی را آسان‌تر می‌کند. در نتیجه بذرهای پرایم شده زودتر جوانه زده و تنش را بیشتر تحمل می‌کند (Bahrasemani et al., 2023). در این تحقیق، به نظر می‌رسد که هیدرو پرایمینگ با بهبود فرآیندهای متابولیکی مربوط به سرعت جوانه‌زنی و سلنیوم با تاثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت بر فرآیند فیزیولوژیکی سرعت جوانه‌زنی تاثیر گذاشته و از طریق تاثیر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، موجب بهبود استقرار گیاهچه‌ها می‌شود. پژوهش‌ها نشان داده است که پرایمینگ تحت تنش شوری باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در گیاه گندم شده است (Albaji & Marashi. 2024). همچنین، افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی طی پرایمینگ با سلنیوم در گندم نیز گزارش شده است (Sajedi et al., 2016)، که اثرات مثبت سلنیوم در جوانه‌زنی گندم به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانتی مربوط می‌شود. طبق گزارش‌ها پرایمینگ با سلنیوم ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش شوری، صفات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را در گیاه برنج (Rabieian et al., 2014)، فلفل (de los Ángeles SariñanaNavarrete et al., 2024) و گیاه گندم (Ghazi et al., 2022) به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تنش شوری و افزایش این صفات طی پرایمینگ‌های مختلف در گیاهان متفاوت نیز گزارش شده است (García Locascio et al., 2024; Saadat et al., 2023a; Saadat et al., 2023b).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم و شوری روی سرعت جوانه‌زنی در گندم
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Fig. 1- Mean Comparison for the interaction effect of selenium and salinity on germination rate in wheat
The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سلنیوم و شوری بر روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه گندم

Tabel 2- Analysis of variance (mean of square) for the effect of selenium and salinity on physiological and biochemical traits in wheat seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D. F.	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	متوسط زمان جوانه‌زنی Mean germination time	طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length
سلنیوم (Se)	3	1264.520**	18.204**	0.9189**	92.183**	80.994**
شوری (S)	3	525.576**	2.994**	0.2743**	13.275**	10.384**
اثر متقابل Se*S	9	7.243^{ns}	0.254**	0.0096^{ns}	0.097^{ns}	0.209^{ns}
خطا Error (E)	30	7.594	0.064	0.0063	0.273	0.164
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.418	12.008	12.815	5.123	4.981

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns and ** indicating not significant, the significant differences at 1 percent probability levels.

Table 2- Continued

ادامه جدول ۲

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D. F.	ضریب جوانه‌زنی Germination coefficient	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling Weight vigor index	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight	وزن خشک ساقه‌چه Plumule Day Weight
سلنیوم (Se)	3	188140.06**	490.101**	476.159**	0.00634063**	0.01116592**
شوری (S)	3	28604.14**	86.242**	192.509**	0.00212291**	0.00530319**
اثر متقابل Se*S	9	3015.11**	2.520^{ns}	4.794**	0.00003282^{ns}	0.00032562**
خطا Error (E)	30	893.18	2.261	0.927	0.00002949	0.00007203
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		14.358	9.961	6.000	7.778	6.949

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns and ** indicating not significant, the significant differences at 1 percent probability levels.

Table 2- Continued

ادامه جدول ۲

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D. F.	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight	وزن ترساقه‌چه Plumule fresh weight	پروتئین Protein	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble Sugars
سلنیوم (Se)	3	3.722**	24.297**	17.805**	165.804**	14.721**
شوری (S)	3	3.654**	9.377**	9.136**	26.087**	1.218**
اثر متقابل Se*S	9	0.164^{ns}	0.119^{ns}	0.059^{ns}	0.938^{ns}	0.085^{ns}
خطا Error (E)	30	0.125	0.158	0.271	3.336	0.236
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		19.485	11.081	16.114	6.298	27.303

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns and ** indicating not significant, the significant differences at 1 percent probability levels.

متوسط زمان جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سلنیوم و شوری روی متوسط زمان جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۰/۹۳۰ روز) در شاهد (آب مقطر) و کم‌ترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۰/۲۷۱ روز) در پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار مشاهد شد (شکل ۳). با افزایش شوری متوسط زمان جوانه‌زنی افزایش یافت. به‌طوری که بیشترین متوسط زمان جوانه‌زنی (۰/۸۱۴ روز) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کمترین آن (۰/۴۷۵ روز) در شاهد به‌دست آمد (جدول ۳). شوری با عبور از عرض غشای سلولی وارد سیتوپلاسم سلول شده و با تجمع یون‌ها در سیتوپلاسم منجر به تجمع و سمیت و محدودیت در جذب بعضی از عناصر ضروری می‌شود، و در نهایت متوسط زمان جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Amoaghaei, 2009). پرایمینگ با شکسته شدن پروتئین‌ها و کربوهیدارت‌ها بر اثر آنزیم‌ها و واکنش‌های هیدرولیز کننده متوسط زمان جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (Bittebcourt *et al.*, 2004). بذر برای ترمیم خسارت وارد شده به غشا سلولی و آغاز مجدد فعالیت سامانه آنتی‌اکسیدانت و جلوگیری از وقوع تنش نیاز به زمان دارد و تعمیر این خسارت‌ها طی پرایمینگ امکان پذیر است، در نتیجه مدت زمان لازم برای کامل شدن فرآیند جوانه‌زنی در بذرهای تحت تنش افزایش یافته که نتیجه آن افزایش زمان جوانه‌زنی است (Bailly et al., 2000). تحقیقات نشان داده است که پرایمینگ با سلنیوم متوسط زمان جوانه‌زنی را در گندم کاهش می‌دهد (Sajedi, 2016). افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی تحت تنش شوری در گیاهچه برنج نیز گزارش شده است (Saadat et al., 2023b)

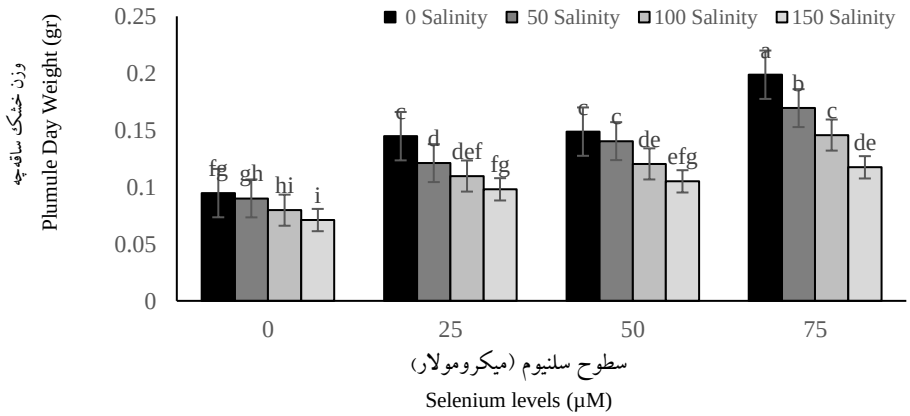
طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و شوری روی طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ توانست طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش دهد. اما تاثیر پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از سطوح دیگر سلنیوم و هیدرو پرایمینگ بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین طول ریشه‌چه (۱۰/۷۷۳ سانتی‌متر) و طول ساقه‌چه (۱۳/۱۰۵ سانتی‌متر) در پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و کمترین آن‌ها به ترتیب ۴/۸۱۶ و ۱۳/۱۰۵ سانتی‌متر در شاهد (آب مقطر) مشاهده شد(جدول ۳). شوری این صفت را کاهش داد، به‌طوری‌که کم‌ترین طول ریشه‌چه (۷/۰۰۸ سانتی‌متر) و طول ساقه‌چه (۸/۹۴۷ سانتی‌متر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). شوری با کاهش جذب آب و عناصر غذایی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را کاهش می‌دهد (Cirka et al., 2021). کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بیانگر تاثیر منفی تنش شوری بر این صفات در گندم است. کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گندم تحت تنش شوری، می‌تواند به دلیل سمیت یون‌ها و آثار منفی آن‌ها بر غشای سلولی، فرآیندهای متابولیکی و مسیرهای پیام‌دهی باشد که رشد گیاهچه محدود می‌کند (Meftahizade & Rahmati. 2021). افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه گندم در نتیجه پرایمینگ بذر با سلنیوم را می‌توان به قدرت بالای بذر و سرعت جوانه‌زنی بالاتر بذرهای پرایم شده در مقایسه با شاهد نسبت داد. این افزایش طی پرایمینگ را می توان به تأثیر عوامل پرایمینگ بر فرآیندهای انبساط و طویل شدن سلولی، به‌طور بالقوه از طریق تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی هورمون و در دسترس بودن و جذب مواد مغذی و پویایی جذب آب است (Yadav et al., 2023). در تحقیقی مشاهده شد که پرایمینگ تحت تنش شوری باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گندم می‌شود (Albaji & Marashi. 2024; Sajedi et al., 2016). کاهش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه تحت تنش شوری در گیاه برنج و لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al., 2023b; Saadat et al., 2023c).

وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سلنیوم و شوری روی وزن خشک ریشه‌چه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و علاوه بر اثرات ساده، اثر متقابل سلنیوم و شوری نیز روی وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ توانست وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه دهد. اما تاثیر پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از سطوح دیگر سلنیوم

و هیدرو پرایمینگ بـــود. نتایج مقایسـه میانگین نشـان داد که بیشـترین وزن خشـک ریشـه‌چه (۰/۰۹۴گرم)، وزن تر ریشـه‌چه (۲/۵۷۳ گرم) و وزن تر سـاقه‌چه (۵/۴۲۷ گرم) در پرایمینگ با سـلنیوم ۷۵ میکرومولار و کمترین آن‌ها به ترتیب ۰/۰۴۴، ۱/۳۰۰ و ۱/۹۵۵ گرم در شـاهد (آب مقطر) مشـاهده شـد (جدول ۳). شوری این صفت را کاهش داد، به‌طوری‌که کمترین وزن خشک ریشـه‌چه (۰/۰۵۳ گرم)، وزن تر ریشـه‌چه (۱/۱۳۱ گرم) و وزن تر سـاقه‌چه (۲/۶۱۳ گرم) در شـوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشـاهده شـد (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسـه میانگین روی وزن خشـک سـاقه‌چه هم نشـان داد که بیشـترین وزن خشـک سـاقه‌چه (۰/۱۹۹ گرم) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری و کم‌ترین آن (۰/۰۷۱ گرم) در شـاهد (آب مقطر) با شـوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشـاهد شـد (شـکل ۲). یکی از دلایل کاهش وزن تر و خشـک ریشـه‌چه و سـاقه‌چه تحت تنش شوری، تحرک کم مواد غذایی و انتقال کمتر آن‌ها از لپه‌ها به محور جنینی اسـت (Kaur et al., 2022). محققان دلیل کاهش رشد گیاهچه در شرایط تنش شوری را سمیت یون‌ها و جذب بیش از حد سدیم دانسته‌اند که با افزایش غلظت سـدیم و کلر جذب بسـیاری از عناصـر ضـروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشا مختل شده و موجب کاهش وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه می‌شود (Shiyab, 2011; Xue et al., 2004). افزایش سـنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک و افزایش میزان پویایی ذخایر بذر باعث افزایش وزن تر و خشـک ریشـه‌چه و سـاقه‌چه حاصـل از بذرهای پرایم شـده اسـت (Omidi et al., 2005: Sivritepe et al., 2003). افزایش وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه به دلیل افزایش فعالیت میتوزی و افزایش تعداد سـلول‌ها در ریشـه‌چه و سـاقه‌چه اسـت که باعث افزایش تجمع ماده خشـک سـلولی می‌شـود (Ahmadvand et al., 2023). پرایمینگ با تأثیر بر رشـد محور جنین و نموی گیاهچه سـبب افزایش هدایت الکتریکی شـده و با تحت تأثیر قراردادن فرآیندهای فیزیولوژیک و متابولیک گیاهچه موجب افزایش جذب آب و افزایش وزن‌تر ریشـه‌چه و سـاقه‌چه می‌شـود (Basra, 2006). در واقع، پرایمینگ موجب تعمیر میتوکندری، سـنتز آنزیم‌های تجزیه‌کننده، تنظیم پروتئین‌های تنش‌زا، افزایش سامانه دفاعی آنتی‌اکسیدانتی و بهبود تجمع گونه‌های فعال اکسـیژن می‌شـود (Hussain et al., 2019; Zheng et al., 2016). به نظر می‌رسـد که اسـتفاده از سـلنیوم در غلظت‌های مختلف با آثار سـوء تنش شـوری مقابله کرده و در نهایت جوانه‌زنی بذر و رشـد گیاهچه را بهبود می‌دهد، که موجب افزایش وزن تر و خشـک ریشـه‌چه و سـاقه‌چه نیز خواهد شـد. گزارش‌ها نشـان داده اسـت که پرایمینگ با سـلنیوم وزن خشـک ریشـه‌چه و سـاقه‌چه را در گندم در شـرایط آزمایشـگاهی افزایش می‌دهد (Sajedi et al., 2016). افزایش وزن تر و خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه با انواع پرایمینگ تحت شرایط تنش شوری در گیاهان لوبیا و برنج نیز گزارش شـده اسـت (Saadat et al., 2023b; Saadat et al., 2023c).



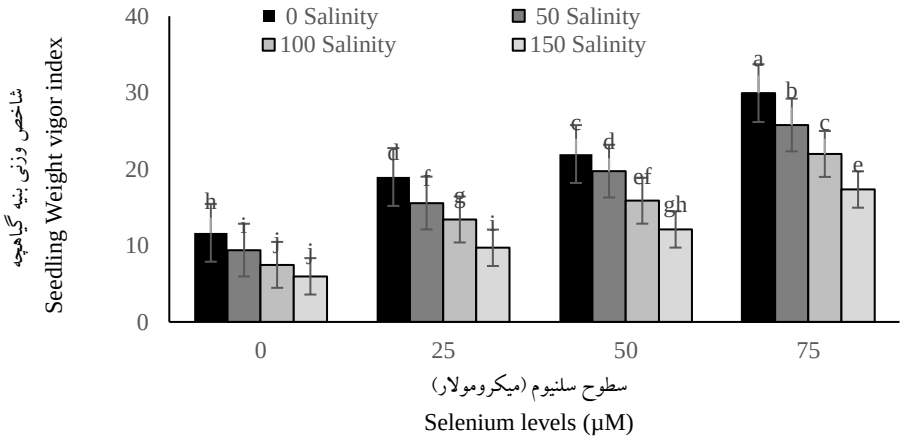
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم و شوری روی وزن خشک ساقه‌چه در گندم

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 1- Mean Comparison for the interaction effect of selenium and salinity on plumule day weight in wheat. The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه

در این تحقیق، تاثیر ساده سلنیوم و شوری بر شاخص طولی بنیه گیاهچه و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص وزنی بنیه گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۲۲/۴۲۳) مربوط به تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و کمترین مقدار شاخص طولی بنیه گیاهچه (۷/۲۰۸) در شاهد (آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۳). شوری این صفت را کاهش داد، به‌طوری‌که کمترین شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱۱/۹۸۳) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاده شد (جدول ۳). همچنین، نتایج مقایسه میانگین روی شاخص وزنی بنیه گیاهچه هم نشان داد که بیشترین شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۲۹/۹۳۵) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری و کم‌ترین آن (۵/۹۶۵) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهد شد (شکل ۳). البته تیمار با سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ نیز توانست شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه را افزایش دهد. اما تاثیر سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از آن‌ها بود. بنیه بذر یک صفت پیچیده است که تعیین می‌کند بذرها در شرایط مختلف محیطی با چه سرعتی در مزرعه جوانه می‌زنند (Ventura et al., 2012). شوری از طریق خشکی فیزیولوژیکی و کاهش تقسیم سلولی موجب کاهش بنیه بذر می‌شود (Alipour et al., 2022). افزایش شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه در پرایمینگ با سلنیوم، به دلیل افزایش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه گندم است که موجب افزایش رشد گیاهچه می‌شود. شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه، حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی با طول و وزن خشک گیاهچه است. بنابراین، افزایش طول و وزن خشک گیاهچه گندم در پرایمینگ با سلنیوم موجب افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه می‌شود. علت اصلی افزایش شاخص‌های بنیه گیاهچه تحت پرایمینگ با سلنیوم می‌تواند به دلیل افزایش تحرک ذخایر غذایی، فعالیت آنزیم‌ها، ترمیم اسیدهای نوکلئیک، سنتز پروتئین و تقسیم سلول‌های جنینی در طول پرایمینگ باشد (Paravar & Farahani. 2017; Ventura et al., 2012). تحقیقات نشان داده است که تیمار با سلنیوم به دلیل تاثیر هم‌افزایی روی پرکسید هیدروژن، سرعت انتقال پروتئین‌های ذخیره‌ای به جنین در حال رشد را افزایش داده و سبب افزایش بنیه گیاهچه می‌شود (Qiao et al., 2014). طبق گزارشات افزایش فعالیت آنزیم‌های آلفا و بتا آمیلاز طی پرایمینگ بذر موجب افزایش بنیه بذر می‌شود (Jamil & Rha. 2007). پرایمینگ با سلنیوم و پراکسید هیدروژن باعث افزایش شاخص بنیه گیاهچه در گندم می‌شود (Albaji & Marashi, Sajedi et al., 2016; 2024). قاضی و همکاران (Ghazi et al., 2022) نشان دادند که شاخص بنیه گیاهچه در بذرهای تیمارشده با سلنیوم تحت شوری افزایش یافت.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سلنیوم و شوری روی شاخص وزنی بنیه گیاهچه در گندم

حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 3- Mean Comparison for the interaction effect of selenium and salinity on seedling weight vigor index in wheat
The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

محتوای پروتئین کل، پرولین و قندهای محلول

جدول ۲ نشان داد که اثر ساده سلنیوم و شوری روی میزان پروتئین، پرولین و قندهای محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین (۴/۸۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، پرولین (۳۳/۴۹۰ میکرومول بر گرم وزن تر) و قندهای محلول (۳/۲۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار با با سلنیوم ۷۵ میکرومولار است و کمترین میزان پروتئین (۱/۸۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، پرولین (۲۵/۰۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر) و قندهای محلول (۰/۹۰۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۳). البته تیمار با سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ روی میزان پروتئین، پرولین و قندهای محلول تاثیر داشت. اما تاثیر سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از آن‌ها بود. با افزایش شوری میزان پروتئین کاهش و پرولین و قندهای محلول افزایش یافت. به طوری که بیشترین میزان پروتئین (۴/۲۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به عدم استفاده از شوری و مقدار پرولین (۳۰/۷۷۶ میکرومول بر گرم وزن تر) و قندهای محلول (۲/۱۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). پرولین، یک اسید آمینه محلول در آب و املاح مفیدکه، به عنوان یک محافظ اسمز در نظر گرفته می‌شود و فشار تورگر سلولی که مسئول گسترش سلول در شرایط شوری است را حفظ می‌کند (Zulfiqar et al., 2020). پروتئولیز و حفاظت از پیش‌سازهای پرولین سطح این محافظ اسمزی را در گیاهان تحت تنش شوری افزایش می‌دهد (Kaur et al., 2021). فعال شدن آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحت تنش شوری و سنتز پرولین سبب افزایش پرولین تحت تنش شوری می‌شود، چون شوری باعث تحریک ژن‌های سنتزکننده این آنزیم‌ها می‌شود (Dehghan et al., 2018). افزایش سطح پرولین به کاهش سطوح گونه‌های فعال اکسیژن در گیاهان تحت تنش شوری کمک می‌کند (Zhang et al., 2021). نتایج این پژوهش، تجمع پرولین بالاتری را در گیاهچه‌های تحت تنش شوری نشان داد. کاربرد سلنیوم باعث افزایش بیشتر تجمع پرولین در گیاهچه‌های تیمار شده تحت تنش شد. کاهش تنش از طریق سنتز پرولین بیشتر در گیاهان تحت تنش شوری تیمار شده با سلنیوم توسط ال مختاری و همکاران (El Moukhtari et al., 2020) مشاهده شده است. به دلیل تأثیر مثبت سلنیوم بر آنزیم‌های متابولیزه کننده پرولین، گیاه محتوای پرولین را افزایش می‌دهد (Abbas, 2012)، که به عنوان یک ضد اسمزی برای تولید گونه‌های فعال اکسیژن تحت تنش عمل می‌کند (Akbulut & Çakır. 2010). از لحاظ ژنتیکی افزایش پرولین در طی پرایمینگ با سلنیوم ممکن است با تنظیم بالادست، ژن‌های بیوسنتز پرولین نظیر گلوتامیل کیناز و گلوتامات -۵- سمی آلدئید دهیدروژناز ارتباط داشته باشد که موجب سنتز پرولین از گلوتامات می‌شود (Ali et al., 2021). کاهش محتوای پرولین طی پرایمینگ تحت تنش خشکی در گیاه گندم گزارش شده است (Ibrahim, 2014). تیمار با سلنیوم باعث افزایش پرولین در گیاه گوج‌فرنگی شد (García Locascio et al., 2024)، که با نتایج این پژوهش هم مطابقت دارد. افزایش پرولین تحت شرایط تنش شوری در گیاه لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al., 2023d).

پروتئین‌ها نقش مهمی در فرآیندهای زیستی مختلف در گیاهان از جمله فعالیت آنزیم‌ها، متابولیسم انرژی و پاسخ به تنش دارند و گیاهان را برای سم‌زدایی کارآمد گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از شوری حمایت می‌کنند (Ahanger et al. 2020). بنابراین، هر گونه کاهش در محتوای پروتئین می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد و نمو کلی گیاهان داشته باشد (Shahandashti & Maali-Amiri. 2018). یافته‌های این تحقیق بهبود در تولید پروتئین در بذرهای پرایم شده با سلنیوم را نشان داد. سطح پروتئین بالاتر در گیاهان مقاوم در شرایط شور آسیب سلولی را کاهش می‌دهد و این گیاهان را قادر می‌سازد یکپارچگی غشاء را حفظ کنند (Singh & Jha. 2017). پرایمینگ بذر با افزایش تولید پروتئین‌های شوک حرارتی از دناتوره شدن پروتئین تحت تنش ممانعت می‌کند (Chakraborty & Bordolui. 2021). افزایش پروتئین در تیمار با سلنیوم می‌تواند به علت سنتز پروتئین‌های دهیدرین‌ها، پروتئین‌های شوک حرارتی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باشد و احتمالا سلنیوم از تخریب پروتئین‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن ممانعت کرده و موجب افزایش میزان پروتئین می‌شود (Landi et al., 2019). طبق پژوهش‌ها سلنیوم تحت تنش میزان پروتئین را در کینوا بهبود می‌بخشد (Raza et al., 2024). کاهش پروتئین تحت شرایط تنش شوری در گیاه لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al., 2023a).

قندها، به عنوان محافظ اسمزی حیاتی شناخته می‌شوند که از سامانه آنتی‌اکسیدانتی در گیاهانی که در معرض تنش غیرزیستی قرار دارند حمایت می‌کنند، و همچنین به عنوان شاخص هموستازی اسمزی عمل می‌کنند (Arif et al., 2020; Zhang et al., 2019). تجمع قندها در شرایط تنش شوری، تحمل گیاه به تنش را افزایش می‌دهد (Karimian & Samiei. 2021). قندهای محلول به عنوان متابولیت سازگار در تاثیر تنش بر تنظیم اسمزی و محتوای نسبی آب گیاه موثر است (García-Caparrós & Lao. 2018). این پژوهش افزایش تجمع قند را در بذرهای پرایم شده با سلنیوم تحت تنش شوری نشان داد که نشان‌دهنده محافظت اسمزی و پتانسیل آبی بیشتر بذرها با افزایش تحمل به نمک است (Arif et al., 2020; Matias et al., 2018)، و این افزایش محتوای قند ممکن است به عنوان پیام‌رسان برای تنظیم متابولیک تحت تنش شوری عمل کند. (Kishor et al., 2005). نصیبی و همکاران (Nasibi et al., 2022) نشان داد که قندهای محلول پتانسیل اسمزی غشا را کاهش داده و از دست دادن آب را با اتصال به دو لایه لیپیدی غشا کاهش می‌دهند. قندها با بقایای پلی پپتیدی قطبی پیوندهای هیدروژنی ایجاد می‌کنند و از محلول بودن پروتئین جلوگیری می‌کنند (Zhang et al., 2021). در مجموع، بهبود پروتئین کل محلول و قند، توسط نانو ذرات سلنیوم تحت کاهش تنش شوری را می‌توان به سازوکارهای مختلفی نسبت داد. در مرحله اول، نانو ذرات سلنیوم دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند که می‌توانند با اثرات مضر تنش اکسیداتیو ناشی از شوری مقابله کنند (Chellapa et al., 2020). تنش شوری منجر به تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در سلول‌های گیاهی شده که باعث آسیب به اجزای مختلف سلولی می‌شود (Šoln et al., 2022)، ثانیاً، نشان داده شده است که نانو ذرات سلنیوم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی گیاهان را افزایش می‌دهند (Hussein et al., 2019). سلنیوم در واقع، پرولین، قندهای محلول، پروتئین، فشار اسمزی و یکپارچگی غشای پلاسمایی را در گیاهان تحت تنش شوری تعدیل می‌کند و از دست دادن غشای سلولی گیاه در شرایط تنش شوری را کاهش می‌دهد (White, 2016). البته سطوح بالاتر سلنیوم منجر به سمیت یا اختلال در فرآیندهای متابولیک گیاه، منجر به تنش اکسیداتیو و آسیب سلولی اختلال در جذب و انتقال مواد مغذی، در نهایت مانع رشد و کاهش عملکرد گیاهان می شود (Raza et al., 2024).

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر سلنیوم و شوری روی صفات مطالعه شده در گندم

Tabel 3- Mean Comparison for the effect of selenium and Salinity on studied traits in wheat

سلنیوم (میکرومولار) Selenium (µm)	درصد جوانه‌زنی (درصد) Germination Percentage (%)	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (day)	طول ریشه‌چه Radicle length(cm)	طول ساقه‌چه Pedicel length(cm)	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight (gr)	وزن تر ساقه‌چه Pedicel fresh weight (gr)	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight (gr)	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	پروتئین (میلی گرم بر گرم وزن تر) Protein (mg/gFW)	پرولین (میکرومولار بر گرم وزن تر) Proline (µm g-1 FW)	قندهای محلول Soluble Sugars ($mgg^{-1}FW$)
0	78.92d	0.930a	4.819d	6.522d	1.300c	1.955c	0.044d	7.208d	1.886d	25.002d	0.904c
25	85.50c	0.714b	7.426c	9.933c	1.518c	3.572b	0.065c	13.575c	2.842c	27.136c	0.996c
50	92.50b	0.563c	9.463b	11.213b	1.873b	3.424b	0.080b	17.172b	3.400b	30.353b	1.933b
75	96.52a	0.271d	10.773a	13.105a	2.573a	5.427a	0.094a	22.423a	4.800a	33.490a	3.288a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)											
0	87.67a	0.475c	9.193a	11.402a	2.402a	4.618a	0.084a	18.419a	4.242a	27.367c	1.463b
50	83.58b	0.529c	8.463b	10.602b	2.085b	3.980b	0.081a	15.621b	3.517b	28.333bc	1.603b
100	78.92c	0.659b	7.824c	9.828c	1.647c	3.166c	0.067b	14.355c	3.000c	29.505ab	1.869ab
150	72.25d	0.814a	7.008d	8.947d	1.131d	2.613d	0.053c	11.983d	2.169d	30.776a	2.186a

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

The different letters in each column indicate a significant differences at 5% probability level.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های گندم رقم سائین شد و با افزایش شدت تنش شوری، رشد گیاهچه و محتوای کل پروتئین کاهش و محتوای پرولین و قندهای محلول افزایش یافت. پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار در افزایش قابلیت جوانه‌زنی و مقابله با تنش شوری، در صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و شاخص طولی بنیه گیاهچه موثرتر از هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با سطوح سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار عمل کرده و اثرات مضر حاصل از تنش شوری را کاهش داد. همچنین، پرایمینگ بذر گندم با هیدرو پرایمینگ و سطوح سلنیوم به‌ویژه سلنیوم ۷۵ میکرومولار روند افزایشی محتوای پرولین و قندهای محلول را در پی داشت. بنابراین، اعمال پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار برای مقابله و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری در برخی صفات جوانه‌زنی بذر گندم قابل توصیه است.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نگارش و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Arif, Y., Singh, P., Siddiqui, H., Bajguz, A., & Hayat, S. (2020). Salinity-induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry, 156*, 64–77. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.050

Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S. H., & Jowkar, M. (2023). Seed priming using putrescine improves germination indices and seedling morphobiochemical responses of indigo (*Indigofera tinctoria*) under salinity stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products, 13*, 179–188. https://doi.org/10.22034/JMPB.2023.128870

Bailly, C., Benamar, A., Corbineau, F., & Côme, D. (2000). Antioxidant systems in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds as affected by priming. *Seed Science Research, 10*, 35–42. https://doi.org/10.1017/S0960258500000040

Basra, A. S., Farooq, M., Afzal, I., & Hussain, M. (2006). Influence of osmopriming on the germination and early seedling growth of coarse and fine rice. *International Journal of Agriculture and Biology, 8*, 19–21.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil, 39*, 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Benadjaoud, A., Dadach, M., El-Keblawy, A., & Mehdadi, Z. (2022). Impacts of osmopriming on mitigation of the negative effects of salinity and water stress in seed germination of the aromatic plant *Lavandula stoechas* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 31*, Article 100407. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2022.100407

Biswas, S., Seal, P., Majumder, B., & Biswas, A. K. (2023). Efficacy of seed priming strategies for enhancing salinity tolerance in plants: An overview of the progress and achievements. *Stress Biology, 9*, Article 100186. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100186

Bittencourt, M. L. C., Dias, D. C. F. S., Dias, L. A. S., & Araújo, E. F. (2004). Effect of priming on asparagus seed germination and vigor under water and temperature stress. *Seed Science and Technology, 32*, 607–616. https://doi.org/10.15258/sst.2004.32.2.29

Bradford, M. 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*, 248–254. https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousefi, A. R., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of soil–seed interaction on the growth of seedlings. *Soil Systems, 6*(2), Article 37. https://doi.org/10.3390/soilsystems6020037

Chakraborty, A., & Bordolui, S. K. (2021). Impact of seed priming with Ag-nanoparticle and GA_3 on germination and vigour in green gram. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 10*(3), 941–950. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1003.119

Chellapa, L. R., Shanmugam, R., Indiran, M. A., & Samuel, S. R. (2020). Biogenic nanoselenium synthesis, its antimicrobial, antioxidant activity and toxicity. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials, 9*, 184–189. https://doi.org/10.1680/jbibn.19.00054

Cirka, M., Kaya, A. R., & Eryigit, T. (2021). Influence of temperature and salinity stress on seed germination and seedling growth of soybean (*Glycine max* L.). *Legume Research, 44*(9), 1053–1059. https://doi.org/10.18805/LR-628

de los Ángeles Sariñana-Navarrete, M., Benavides-Mendoza, A., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., Preciado-Rangel, P., Sánchez-Chávez, E., Cadenas-Pliego, G., Antonio-Bautista, A., & Morelos-Moreno, Á. (2024). Selenium seed priming and biostimulation influence the seed germination and seedling morphology of jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Horticulturae, 10*(2), Article 119. https://doi.org/10.3390/horticulturae10020119

Debez, A., Ben Slimen, I. D., Bousselmi, S., Atia, A., Farhat, N., El Kahoui, S., & Abdelly, C. (2020). Comparative analysis of salt impact on sea barley from semi-arid habitats in Tunisia and cultivated barley with special emphasis on reserve mobilization and stress recovery aptitude. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science, 70*(6), 544–552. https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1651777

Dehghan, Z., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., & Salihi, A. (2018). Effect of salicylic acid on some physiological characteristics of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) under NaCl stress. *Plant Processes and Function, 7*(23), 97–110. [In Persian]

do Espírito Santo Pereira, A., Oliveira, H. C., Fraceto, L. F., & Santaella, C. (2021). Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials, 11*(2), Article 267. https://doi.org/10.3390/nano11020267

Ebrahimi, O., Esmaili, M. M., Sabori, H., & Tahmasebi, A. (2013). Effects of salinity and drought stress on germination of two species (*Agropyron elongatum* and *Agropyron desertorum*). *Desert Ecosystem Engineering Journal, 1*, 31–38. [In Persian]

El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M., & Savouré, A. (2020). How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? *Frontiers in Plant Science, 11*, Article 1127. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127

Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). Seed physiology and seed quality in soybean. *Advances in Legume Science, 8*, 287–311.

Farooq, M., Basra, S. M. A., & Khan, M. B. (2007). Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Archives of Agronomy and Soil Science, 53*(3), 315–326. https://doi.org/10.1080/03650340701226166

García-Locascio, E., Valenzuela, E. I., & Cervantes-Avilés, P. (2024). Impact of seed priming with selenium nanoparticles on germination and seedling growth of tomato. *Scientific Reports, 14*, Article 6726. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57049-3

Garza-García, J. J. O., Hernández-Díaz, J. A., Zamudio-Ojeda, A., León-Morales, J. M., Guerrero-Guzmán, A., Sánchez-Chiprés, D. R., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2022). The role of selenium nanoparticles in agriculture and food technology. *Biological Trace Element Research, 200*, 2528–2548. https://doi.org/10.1007/s12011-021-02847-3

Ghazi, A. A., El-Nahrawy, S., El-Ramady, H., & Ling, W. (2022). Biosynthesis of nano-selenium and its impact on germination of wheat under salt stress for sustainable production. *Sustainability, 14*(3), Article 1784. https://doi.org/10.3390/su14031784

Gupta, A. K., Agrawal, Y., Yadav, H., Mishra, G., Gupta, R., Singh, A., Katiyar, D., Singh, P., & Srivastava, A. (2024). Drought stress and its tolerance mechanism in wheat. *International Journal of Environment and Climate Change, 14*(1), 529–544. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i13866

Hajlaoui, F., Hajlaoui, H., & Krouma, A. (2023). Physio-biochemical response to exogenous selenium application of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cultivated in the field under saline irrigation. *Russian Journal of Plant Physiology, 70*, Article 143. https://doi.org/10.1134/S1021443723601593

Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T. I., & Masud, A. A. C. (2021). Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells, 10*(10), Article 2537. https://doi.org/10.3390/cells10102537

Hossain, A., Skalicky, M., Brestic, M., Maitra, S., Sarkar, S., Ahmad, Z., Vemuri, H., Garai, S., Mondal, M., Bhatt, R., Kumar, P., Banerjee, P., Saha, S., Islam, T., & Laing, A. M. (2021). Selenium biofortification: Roles, mechanisms, responses and prospects. *Molecules, 26*(4), Article 881. https://doi.org/10.3390/molecules26040881

Hossen, M. S., Karim, M. F., Fujita, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., & Masud, A. A. C. (2022). Comparative physiology of indica and japonica rice under salinity and drought stress: An intrinsic study on osmotic adjustment, oxidative stress, antioxidant defense and methylglyoxal detoxification. *Stresses, 2*, 156–178. https://doi.org/10.3390/stresses2020012

Hu, J., Hu, X., Duan, H., Zhang, H., & Yu, Q. (2021). Na^+ and K^+ homeostasis is important for salinity and drought tolerance of Calligonum mongolicum. *Pakistan Journal of Botany, 53*, 1927–1934. https://doi.org/10.30848/PJB2021-6(13

Hussain, S., Hussain, S., Khaliq, A., Ali, S., & Khan, I. (2019). Physiological, biochemical, and molecular aspects of seed priming. In M. Hasanuzzaman & V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and pretreatment of seeds and seedlings* (pp. 43–62). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_3

Ibrahim, H. M. (2014). Selenium pretreatment regulates the antioxidant defense system and reduces oxidative stress in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Asian Journal of Plant Sciences, 13*(3), 120–128. https://doi.org/10.3923/ajps.2014.120.128

Jamil, M., & Rha, E. S. (2007). Gibberellic acid (GA_3) enhances seed water uptake, germination, and early seedling growth in sugar beet under salt stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 10*(4), 654–658. https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.654.658

Jespersen, D. (2020). Heat shock-induced stress tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of acquired tolerance. In M. Hasanuzzaman (Ed.), *Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants* (pp. 161–174). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817892-8.00010-6

Kamran, M., Parveen, A., Ahmar, S., Malik, Z., Hussain, S., Chattha, M. S., Saleem, M. H., Adil, M., Heidari, P., & Chen, J. T. (2020). An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International Journal of Molecular Sciences, 21*(1), Article 148. https://doi.org/10.3390/ijms21010148

Karimian, Z., & Samiei, L. (2021). Mitigation of salt stress by mycorrhizal inoculation on *Nitraria schoberi* as a native landscape plant in arid regions. *Desert, 26*(1), 16–27. https://doi.org/10.22059/JDESERT.2020.284473.1006735

Kasote, D. M., Lee, J. H., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2021). Manganese oxide nanoparticles as a safer seed-priming agent to improve chlorophyll and antioxidant profiles in watermelon seedlings. *Nanomaterials, 11*, Article 1016. https://doi.org/10.3390/nano11041016

Kaur, H., Kaur, H., Kaur, H., & Srivastava, S. (2023). The beneficial roles of trace and ultratrace elements in plants. *Plant Growth Regulation, 100*(2), 219–236. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00837-6

Kaur, H., Manna, M., Thakur, T., Gautam, V., & Salvi, P. (2021). Imperative role of sugar signaling and transport during drought stress responses in plants. *Physiologia Plantarum, 171*(4), 833–848. https://doi.org/10.1111/ppl.13364

Kazemi-Shahandashti, S. S., & Maali-Amiri, R. (2018). Global insights into protein responses to cold stress in plants: Signaling, defense, and degradation. *Journal of Plant Physiology, 226*, 123–135. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.03.022

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*, 779–789. https://doi.org/10.30848/PJB2021-3(12

Khan, Z., Thounaojam, T. C., Chowdhury, D., & Upadhyaya, H. (2023). The role of selenium and nano-selenium in plant physiological responses: A review. *Plant Growth Regulation, 100*, 409–433. https://doi.org/10.1007/s10725-023-00988-0

Khayat, M., Marashi, S., Gharineh, M. H., & Sajedi, N. A. (2011). Effects of different concentrations of sodium hypochlorite and disinfection durations on seed germination of Chamran wheat cultivar. *New Findings in Agriculture, 5*(4), 367–376. [In Persian]

Kishor, P. B. K., Sangama, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., & Rao, K. S. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake, and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science, 88*, 424–438.

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by the phenol–sulfuric acid method. In J. A. Hellebust & J. S. Craigie (Eds.), *Handbook of phycological methods: Physiological and biochemical methods* (pp. 95–97). Cambridge University Press.

Kravchik, M., & Bernstein, N. (2013). Effects of salinity on the transcriptome of growing maize leaf cells point to cell-age specificity in the involvement of the antioxidative response in cell growth restriction. *BMC Genomics, 14*, Article 24. https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-24

Landi, S., Capasso, G., Ben Azaiez, F. E., & Jallouli, S. (2019). Different roles of heat shock proteins (70 kDa) during abiotic stresses in barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Plants, 8*(8), Article 248. https://doi.org/10.3390/plants8080248

Matias, J. R., Torres, S. B., Leal, C. C. P., Leite, M. S., & Carvalho, S. M. C. (2018). Hydropriming as an inducer of salinity tolerance in sunflower seeds. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 22*(4), 255–260. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n4p255-260

Meftahizadeh, H., & Rahmati, Z. (2021). Evaluation of germination and growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under salinity stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology, 10*(2), 97–109. https://doi.org/10.22034/ijsst.2020.342298.1332 [In Persian]

Mwando, E., Angessa Tolera, T., Han, Y., Zhou, G., & Chengdao, L. (2021). Quantitative trait loci mapping for vigor and survival traits of barley seedlings after germination under salinity stress. *Agronomy, 11*(1), Article 103. https://doi.org/10.3390/agronomy11010103

Naseer, M. N., Rahman, F. U., Hussain, Z., Khan, I. A., Aslam, M. M., Aslam, A., Waheed, H., Khan, A. U., & Iqbal, S. (2022). Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake, and chlorophyll content of three Cucurbitaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology, 65*, 1–10. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210213

Nasibi, F., Aminian, F., Mohammadinejad, G., & Hassanshahian, M. (2022). Seed priming with selenium nanoparticle and plant growth promoting rhizobacteria improve seedling development of foxtail millet (*Setaria italica*) under salinity stress. *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1809244/v1

Nawaz, M., Hassan, M. U., Chattha, M. U., Mahmood, A., Shah, A. N., Hashem, M., Alamri, S., Batool, M., Rasheed, A., Thabit, M. A., Alhaithloul, H. A. S., & Qari, S. H. (2022). Trehalose: A promising osmoprotectant against salinity stress—physiological and molecular mechanisms and future prospects. *Molecular Biology Reports, 49*(12), 11255–11271. https://doi.org/10.1007/s11033-022-07681-x

Naz, T., Akhtar, J., Mazhar Iqbal, M., Anwar-Ul-Haq, M., Murtaza, G., & Khan Niazi, N. (2019). Assessment of gas exchange attributes, chlorophyll contents, ionic composition, and antioxidant enzymes of bread wheat genotypes in boron-toxic, saline, and boron-toxic saline soils. *International Journal of Agriculture and Biology, 21*, 1271–1278. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1021

Naz, T., Mazhar Iqbal, M., Tahir, M., Hassan, M. M., Rehmani, M. I. A., & Zafar, M. I. (2021). Foliar application of potassium mitigates salinity stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) through reducing NaCl toxicity and enhancing antioxidant enzyme activity. *Horticulturae, 7*, Article 566. https://doi.org/10.3390/horticulturae7120566

Omara, A. E. D., Hafez, E. M., Osman, H. S., Rashwan, E., El-Said, M. A. A., & Alharbi, K. (2022). Collaborative impact of compost and beneficial rhizobacteria on soil properties, physiological attributes, and productivity of wheat subjected to deficit irrigation in salt-affected soil. *Plants, 11*, Article 877. https://doi.org/10.3390/plants11070877

Omidi, H., Jafarzadeh, L., & Naghdibadi, H. (2014). *Seeds of medicinal plants and crops*. Shahed University Press. [In Persian]

Omidi, H., Sorushzadeh, A., Salehi, A., & Ghezeli, F. (2005). Evaluation of priming pretreatments on rapeseed germination. *Agricultural Science and Technology, 19*(2), 1–10.

Paravar, A., & Farahani, S. M. (2017). Effect of time and priming temperature on germination of coneflower (*Echinacea purpurea*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research, 4*(1), 25–35. https://doi.org/10.22124/jms.2017.2245 [In Persian]

Qiao, W., Li, C., & Fan, L. M. (2014). Cross-talk between nitric oxide and hydrogen peroxide in plant responses to abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany, 100*, 84–93. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.014

Rabieian, A., Jiriaie, M., & Aynaband, A. (2014). Evaluation of selenium's influence on diminishing the negative effects of salinity and low seed storage in rice germination. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 7*(1), 53–63. https://doi.org/10.22077/escs.2014.155

Raj, A. B., & Raj, S. K. (2019). Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science, 11*(1), 227–234. https://doi.org/10.31018/jans.v11i1.2010

Raza, M. A. S., Aslam, M. U., Valipour, M., Iqbal, R., Haider, I., Mustafa, A. E. M. A., Elshikh, M. S., Ali, I., Roy, R., & Elshamly, A. M. S. (2024). Seed priming with selenium improves growth and yield of quinoa plants suffering drought. *Scientific Reports, 14*(1), Article 886. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51371-6

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023a). The effect of priming with different levels of chitosan on physiological and biochemical traits of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. *Plant Production and Technology, 14*(2), 75–89. https://doi.org/10.22084/ppt.2023.26100.2075 [In Persian]

Saadat, H., Soltani, E., & Sedghi, M. (2023b). The effect of seed priming with chitosan on germination characteristics and antioxidant enzyme activity in rice seedlings (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Process and Function, 12*(54), 239–258. https://doi.org/10.22034/JPPF.2023.12.54 [In Persian]

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhbaglou, R. (2023c). Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris*) cv. Sedri seeds under salt stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 36*(2), 151–162. https://doi.org/10.22034/uajpr.2023.3134 [In Persian]

Sajedi, N. A., Madani, H., & Sajedi, A. (2016). The effects of seed priming using distilled water and different rates of selenium on germination, seedling growth traits, and seed yield of dryland wheat under laboratory and field conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology, 5*(1), 1–14. https://doi.org/10.22034/ijsst.2016.10651 [In Persian]

Shareef, H. J., Abdi, G., & Fahad, S. (2020). Changes in photosynthetic pigments of date palm offshoots under abiotic stress factors. *Folia Oecologica, 47*(1), 45–51. https://doi.org/10.2478/foecol-2020-0006

Sharma, I., Tyagi, B. S., Singh, G., Venkatesh, K., & Gupta, O. P. (2015). Enhancing wheat production: A global perspective. *Indian Journal of Agricultural Sciences, 85*(1), 3–13. https://doi.org/10.56093/ijas.v85i1.45935

Shereen, A., Asma, A., Shirazi, M. U., Khan, M. A., Ali, M., & Arif, M. (2022). Physio-biochemical analysis of salinity tolerance in sodium-contrasting rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Botany, 54*(3), 787–794. https://doi.org/10.30848/PJB2022-3(15

Shiyab, S. (2011). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro- and microelements and protein content of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment, 9*(2), 350–356.

Singh, R. P., & Jha, P. N. (2017). Analysis of fatty acid composition of PGPR Klebsiella sp. SBP-8 and its role in ameliorating salt stress in wheat. *Symbiosis, 73*(3), 213–222. https://doi.org/10.1007/s13199-017-0477-4

Sivritepe, N., Sivritepe, H. O., & Eris, A. (2003). The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae, 97*(3–4), 229–237. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00198-X

Soliman, M. H., Alnusairi, G. S. H., Khan, A. A., Alnusaire, T. S., Fakhr, M. A., Abdulmajeed, A., Aldesuquy, M. H. S., Yahya, M., & Najeeb, U. (2023). Biochar and selenium nanoparticles induce water transporter genes for sustaining carbon assimilation and grain production in salt-stressed wheat. *Journal of Plant Growth Regulation, 42*(3), 1522–1543. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03293-1

Šoln, K., & Koče, J. D. (2022). Oxidative stress in roots: Detection of lipid peroxidation and total antioxidative capacity. *Methods in Molecular Biology, 2447*, 221–231. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2079-3_18

Song, J., Yu, S., Yang, R., Xiao, J., & Liu, J. (2023). Opportunities for the use of selenium nanoparticles in agriculture. *NanoImpact, 31*, Article 100478. https://doi.org/10.1016/j.impact.2023.100478

Taqdees, Z., Khan, J., Khan, W. D., Kausar, S., Afzaal, M., & Akhtar, I. (2022). Silicon- and zinc-nanoparticle-enriched miscanthus biochar enhanced seed germination, antioxidant defense systems, and nutrient status of radish under NaCl stress. *Crop and Pasture Science, 73*(5), 556–572. https://doi.org/10.1071/CP21342

Titov, A. F., Kaznin, N. M., Karapetyan, T. A., Dorshakova, N. V., & Tarasova, V. N. (2022). Role of selenium in plants, animals, and humans. *Biology Bulletin Reviews, 12*(3), 189–200. https://doi.org/10.1134/S2079086422020104

Tsonev, T. D., Lazova, G. N., Stoinova, Z. G., & Popova, L. P. (1998). A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedlings to salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 17*(3), 153–159. https://doi.org/10.1007/PL00007029

Ventura, L., Donà, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G., & Balestrazzi, A. (2012). Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. *Plant Physiology and Biochemistry, 60*, 196–206. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.031

Vijayalakshmi, D., & Vivitha, P. (2016). High-temperature stress: Physiological, biochemical, and molecular impacts and tolerance mechanisms. In *Plant stress tolerance: Physiological and molecular strategies* (pp. 107–127). Springer.

Vijayalakshmi, D., Vivitha, P., Jagadish, S. K., Way, D. A., & Sharkey, T. D. (2021). Plant heat stress: Concepts directing future research. *Plant, Cell & Environment, 44*(6), 1992–2005. https://doi.org/10.1111/pce.14050

White, P. J. (2016). Selenium accumulation by plants. *Annals of Botany, 117*(2), 217–235. https://doi.org/10.1093/aob/mcv180

Xue, Z. Y., Zhi, D. Y., Xue, G. P., Zhang, H., Zhao, Y. X., & Xia, G. M. (2004). Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (Triticum aestivum L.) expressing a vacuolar Na^+/H^+ antiporter gene, with improved yields in saline soils and reduced leaf Na^+ accumulation. *Plant Science, 167*(4), 849–859. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.05.034

Yadav, M. R., Choudhary, M., Singh, J., Lal, M. K., Jha, P. K., Udawat, P., Gupta, N. K., Rajput, V. D., Garg, N. K., & Maheshwari, C. (2022). Impacts, tolerance, adaptation, and mitigation of heat stress in wheat under changing climates. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(5), Article 2838. https://doi.org/10.3390/ijms23052838

Yadav, S. P. S., Adhikari, R., Paudel, P., Shah, B., Pokhrel, S., Puri, S., Adhikari, R., & Bhujel, S. (2023). Effect of different chemical priming agents on physiological and morphological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.). *Heliyon, 9*(11), Article e22389. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22389

Zhang, Q., & Dai, W. (2019). Plant response to salinity stress. In *Stress physiology of woody plants* (pp. 155–173). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429190476-7

Zhang, X., Zhang, Z., Guo, J., Ma, J., Xie, S., & Zhao, Y. (2021). Combination of multiple computational methods revealing specific sub-sectional recognition and hydrogen-bond-dependent transportation of CKII peptide fragment in O-GlcNAc transferase. *Computational and Structural Biotechnology Journal, 19*, 2045–2056. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2021.04.009

Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2016). Seed priming in dry direct-seeded rice: Consequences for emergence, seedling growth, and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regulation, 78*(2), 167–178. https://doi.org/10.1007/s10725-015-0083-5

Zulfiqar, F., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2020). Osmoprotection in plants under abiotic stresses: New insights into a classical phenomenon. *Planta, 251*(1), Article 3. https://doi.org/10.1007/s00425-019-03293-1