Iranian Journal of Seed Research

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

Yasouj University

Effect of Selenium on Germination Indicators and Activity of Antioxidant Enzymes in Wheat (*Triticum aestivum*) Seedlings under Salinity Stress

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

1. Corresponding author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: t.saadat@uma.ac.ir
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: m_sedghi@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Short Research Article

Article history:
Received 26 May 2024
Received in revised form 16 December 2024
Accepted 21 December 2024
Available online 22 September 2025

Keywords:
Antioxidant Enzymes
Priming
Selenium
Sodium Chloride

ABSTRACT

Objective: This study aimed to evaluate the effect of selenium on germination indicators and the activity of antioxidant enzymes in wheat seedlings under salinity stress.

Method: The experiment was conducted as a factorial arrangement based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2022. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM) and four selenium priming levels (0, 25, 50, and 75 µM)

Results: The results showed that salinity stress decreased mean daily germination (MDG) and seedling length (SL) but increased daily germination rate (DGR) and allometric coefficient (AC). Seed priming with selenium increased MDG and SL. The comparison of means showed significant differences among selenium levels, with the highest values obtained from the 75 µM selenium treatment and the lowest from the control (without selenium). The lowest germination coefficient (GC) was observed under the 150 mM salinity treatment. The activities of peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase increased by 49%, 71%, and 70%, respectively, in the 75 µM selenium treatment under 150 mM salinity compared to the control. Selenium also increased catalase enzyme activity, with the highest catalase activity (0.469 U mg^{-1} protein min^{-1}) observed in the 75 µM selenium treatment.

Conclusions: The results showed that seed priming with selenium, by stimulating antioxidant enzymes and neutralizing free radicals, can reduce the harmful effects of salinity on certain traits in wheat seedlings and improve seedling growth.

Cite this article: Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). Effect of selenium on germination indicators and activity of antioxidant enzymes in wheat (*Triticum aestivum*) seedlings under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *12*(1), 207-227. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.207

© The Author(s).

Publisher: Yasouj University.

DOI: http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.207

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

Highlights

- Seed priming with 75 µM selenium improved germination indices of wheat seeds under salinity.
- Seed priming with 75 µM selenium increased the activity of catalase, peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase enzymes.

Introduction

Wheat is a major diet component for humans in daily life and a major source of starch and energy. In addition, wheat provides substantial amounts of several components that are essential for human health (Farooq et al., 2020). Salinity is a severe problem for crop cultivation, including wheat, causing plant growth damages by imposing deleterious effects both through the osmotic effect of decreasing water uptake and through the specific ion effect causing nutritional imbalance and toxicity (Munns & Gilliham, 2015; Hasanuzzaman et al., 2021). Wheat has lower salt tolerance at the seed germination stage (Nawaz et al., 2022). In Iran, almost 40% of agricultural land has a high concentration of salinity (MoniriFar & Barghi, 2009). Thus, salinity is considered a serious threat in many regions of Iran, especially in the northwest of the country. Selenium is an essential trace element for humans, animals, and microorganisms (Hasanuzzaman et al., 2020a). Seed priming has been shown to be a viable technique to improve germination, the growth of the radicle and plumule, and the seedling vigor index of wheat, which gives rise to seedlings with higher quality and tolerance to environmental growing conditions (Parera & Cantliffe, 1991; do Espirito Santo Pereira et al., 2021). Selenium plays a key role in enhancing antioxidant enzyme activities and reducing oxidative damage caused by salinity stress in various crops, including wheat (Lanza & Dos Reis, 2021; Moulick et al., 2024). Previous studies have reported that selenium seed priming improves germination indices and increases the activity of catalase, peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase under saline conditions (Nemat Alla et al., 2020; Ghazi et al., 2022; Zafar et al., 2024). This study aimed to evaluate the effect of selenium on germination indicators and the activity of antioxidant enzymes in wheat seedlings under salinity stress.

Method

This study was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2022. Treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM NaCl) and four selenium priming levels (0, 25, 50, and 75 µM sodium selenite). Wheat seeds (*Triticum aestivum* cv. Saein) were surface-sterilized, primed for 6 hours at 25°C, and then germinated in Petri dishes under salinity stress for eight days. Germination indices including mean daily germination (MDG), daily germination rate (DGR), germination coefficient (GC), and allometric coefficient (AC) were calculated. After nine days, antioxidant enzyme activities (catalase, peroxidase,

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase) were assayed spectrophotometrically. Data were analyzed using SAS 9.1, and means were compared by Duncan's test at $P \leq 0.05$.

Results

The application of selenium priming significantly improved most germination indices under salinity stress. Mean daily germination (MDG) and seedling length (SL) increased with increasing selenium concentration, reaching their highest values at 75 µM selenium (11.69 and 23.88 cm, respectively), while the lowest values were recorded in the non-primed control (7.88 and 10.44 cm, respectively). In contrast, daily germination rate (DGR) decreased with selenium priming, with the lowest DGR (0.082) observed in the 75 µM selenium treatment under non-saline conditions. The germination coefficient (GC) was highest (478.67) in the combination of 75 µM selenium with no salinity and lowest (86.67) under 150 mM salinity without priming. The allometric coefficient (AC) was significantly affected only by selenium, with the highest value (1.350) at 25 µM selenium. All antioxidant enzyme activities were enhanced by both salinity and selenium priming. Compared to the control, the combined treatment of 75 µM selenium and 150 mM salinity increased peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), and ascorbate peroxidase (APX) activities by 49%, 71%, and 70%, respectively. Catalase (CAT) activity also increased with selenium, reaching a maximum of 0.469 U mg^{-1} protein min^{-1} at 75 µM selenium, which was 2.5 times higher than the non-primed control (0.186 U mg^{-1} protein min^{-1}). Statistical analysis confirmed significant interactions between selenium and salinity for DGR, GC, POD, SOD, and APX ($P \leq 0.01$), whereas MDG and SL were independently affected by each factor.

Conclusions

Seed priming with 75 µM selenium significantly alleviated salinity-induced damage in wheat seedlings by enhancing the activity of catalase, peroxidase, superoxide dismutase, and ascorbate peroxidase, thereby reducing oxidative stress. These findings support the use of selenium priming as an effective, low-cost pre-sowing strategy to improve wheat germination and seedling growth under saline conditions, particularly in salt-affected agricultural regions such as northwest Iran.

Author Contributions

Investigation, H.S.; resources, H.S.; data curation, H.S. and M.S; writing-original draft preparation, H.S.; writing-review and editing, H.S.; supervision, M.S.; project administration, H.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

Acknowledgements

The authors are highly indebted to the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili for providing research facilities and technical assistance during the research work.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

Funding

This article was conducted with the financial support of the Vice Chancellor for Research of the University of Mohaghegh Ardabili.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

پژوهش‌های بذر ایران

Homepage: https://yujs.yu.ac.ir/jisr

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)

تأثیر سلنیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گندم (*Triticum aestivum*) تحت تنش شوری

هانیه سعادت[1]✉، و محمد صدقی[2]

۱. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: t.saadat@uma.ac.ir

۲. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m_sedghi@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کوتاه پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
آنزیم‌های پاداکساینده
پرایمینگ
سلنیوم
کلرید سدیم

چکیده

هدف: این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سلنیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گندم تحت تنش شوری اجرا گردید.

روش پژوهش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و چهار سطح پرایمینگ سلنیوم (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که که تنش شوری موجب کاهش میانگین جوانه‌زنی روزانه و طول گیاهچه و باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی روزانه و ضریب آلومتری گردید. پرایمینگ بذر با سلنیوم سبب افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه و طول گیاهچه شد. مقایسه میانگین‌ها نشان بود که بین سطوح سلنیوم اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به نحوی‌که بیشترین مقدار صفات از کاربرد سلنیوم ۷۵ میکرومولار و کمترین آن از عدم کاربرد سلنیوم حاصل گردید. کمترین ضریب جوانه‌زنی در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد. فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسیددیسمیوتاز و آسکوربات پراکسیداز در تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد به ترتیب ۴۹، ۷۱ و ۷۰ درصد افزایش نشان دادند. سلنیوم فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. به‌طوری که، بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۴۶۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار حاصل گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذر با سلنیوم با تحریک آنزیم‌های پاداکساینده و خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌تواند اثرات منفی تنش شوری بر برخی صفات در گیاهچه گندم را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

جنبه‌های نوآوری:

- پرایمینگ بذر با استفاده از ۷۵ میکرومولار سلنیوم سبب بهبود برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر گندم تحت شرایط شوری گردید.
- پرایمینگ بذر با ۷۵ میکرومولار سلنیوم، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسیددیسمیوتاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش داد.

استناد: سعادت، هانیه؛ و صدقی، محمد (۱۴۰۴). تأثیر سلنیوم بر شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گندم (*Triticum aestivum*) تحت تنش شوری. *پژوهش‌های بذر ایران*، ۱۲(۱)، ۲۲۷-۲۰۷. http://doi.org/10.61882/yujs.12.1.207

ناشر: دانشگاه یاسوج.

© نویسندگان.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

مقدمه

امنیت غذایی به دلیل افزایش جمعیت و تغییر شرایط آب و هوایی و تنش به یکی از مهم‌ترین مسائل جهانی تبدیل شده است (لسک[1] و همکاران، ۲۰۱۶). تحقیقات نشان داده است که جمعیت جهان سالانه ۸۰ میلیون نفر افزایش می‌یابد و پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۸/۰ میلیارد و تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۷ میلیارد نفر برسد (کوپیتک[2] و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین با افزایش جمعیت جهان، افزایش شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه گندم به عنوان یک گیاه راهبردی جهت نیل به امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد. گندم (*Triticum aestivum* L.) یک محصول غذایی مهم است که در سراسر جهان رشد کرده و به عنوان غذای اصلی در بسیاری از کشورها استفاده می‌شود (فاروق[3] و همکاران، ۲۰۲۰). در حال حاضر، سطح زیر کشت گندم در دنیا بیش از ۲۲۰ میلیون هکتار و تولید کل آن در جهان بیش از ۷۶۷ میلیون تن است. سطح زیر کشت گندم در ایران در سال ۲۰۲۰ حدود ۶ میلیون هکتار بوده که نسبت به سطح زیر کشت ۵/۵۸ میلیون هکتار سال قبل کمی افزایش داشته است. این گیاه می‌تواند در آب و هوای مختلف رشد کند (ابوزیاد[4] و همکاران، ۲۰۲۱).

تنش شوری یکی از تنش‌های غیرزیستی است که رشد و بهره‌وری محصول را به شدت کاهش می‌دهد (وانگ و هوانگ[5]، ۲۰۱۹). نزدیک ۱۴ درصد از زمین‌های کشت شده و ۴۰ درصد از زمین‌های آبیاری شده جهان تحت تاثیر شوری قرار گرفته است که تاثیر منفی بر کمیت و کیفیت محصولات زراعی و توزیع جغرافیایی گیاهان دارد و این امر در رابطه با نیاز روزافزون بشر به مواد غذایی حائز اهمیت است (مونس و گیلیهام[6]، ۲۰۱۵). در ایران تقریبا ۴۰ درصد از مناطق کشاورزی با غلظت بالای شوری مواجه هستند. به این صورت، شوری منابع آب و خاک یک تهدید جدی در بسیاری از مناطق ایران به‌ویژه شمال‌غرب کشور محسوب می‌شود (منیری‌فر و برقی[7]، ۲۰۰۹). افزایش سطح شوری در محیط‌های رشد گیاه منجر به افزایش محتوای درون‌زای سدیم و کلر می‌شود، هر دو این یون‌ها می‌توانند شرایط تهدیدکننده زندگی را برای گیاهان ایجاد کنند، اما بین آن‌ها، کلر خطرناک‌تر است (حسنوزمان[8] و همکاران، ۲۰۱۳). تنش اسمزی ناشی از شوری، تنش یونی و عدم تعادل مواد مغذی و همچنین اثرات ثانویه آن‌ها در مجموع منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (حسنوزمان و همکاران، ۲۰۲۱). گونه‌های فعال اکسیژن به دلیل ماهیت واکنش پذیری بسیار بالایی که دارند، آسیب‌های مختلفی به مولکول‌ها و ساختارهای سلولی، از جمله DNA، پروتئین‌ها، لیپیدها و غشای سلولی وارد می‌کند (ساچدف[9] و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع، سازوکارهای آسیب ناشی از شوری در گیاهان به خوبی مستند شده است، از جمله تنش اسمزی، پراکسیداسیون لیپید و سمیت یونی، این اثرات مضر در نهایت منجر به کاهش جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان می‌شود (عاریف[10] و همکاران، ۲۰۲۰). جوانه‌زنی بذر آسیب‌پذیرترین مرحله در چرخه زندگی گیاه در نظر گرفته شده است، زیرا تنش شوری می‌تواند به شدت مانع جوانه‌زنی و متعاقب آن استقرار گیاهچه شود (بیسواس[11] و همکاران، ۲۰۲۳).

پرایمینگ بذر روشی است که با هدف افزایش سرعت و یکنواختی سبزشدن در بسیاری از گونه‌های گیاهی با اهمیت اقتصادی استفاده می‌شود، زیرا این امر بر کیفیت و عملکرد محصولات زراعی تأثیر می‌گذارد (پارا و کانتلیف[12]، ۱۹۹۴). استفاده از پرایمینگ، منجر به تحریک رشد و بهبود قابل توجه خصوصیات مورفولوژیکی و متابولیک می‌شود (دو اسپریتو سانتو پریرا[13] و همکاران، ۲۰۲۱). به گفته سینگ[14] و همکاران (۲۰۲۳) سلنیوم دارای خواص مشابه با برخی از آنزیم‌های پاداکساینده هستند و به گیاهان برای کاهش تنش شوری کمک

[1] Lesk
[2] Kopittke
[3] Farooq
[4] Abou-Zeid
[5] Wang and Huang
[6] Munns and Gilliham
[7] Monirifar and Barghi
[8] Hasanuzzaman
[9] Sachdev
[10] Arif
[11] Biswas
[12] Parera and Cantliffe
[13] do Espirito Santo Pereira
[14] Singh

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

می‌کنند. تحقیقات متعدد نشان داد که افزودن سلنیوم می‌تواند با کاهش گونه‌های فعال اکسیژن و بهبود فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده به محافظت از گیاهان در برابر شوری کمک کند. سلنیوم به عنوان یک ماده مغذی حیاتی برای انسان، حیوانات و گیاهان و همچنین یک سمزیست محیطی توصیف شده است (هوانگ[1] و همکاران، همکاران، ۲۰۲۳). آستانه سمیت و کمبود سلنیوم ناچیز است و به عواملی مانند ترکیب شیمیایی، غلظت و شرایط مختلف محیطی بستگی دارد (حسنوزمان و همکاران، ۲۰۲۰b). سلنیوم یک ریز مغذی مفید است که به عنوان یک ضد پیری و پاداکساینده عمل می‌کند و در دفاع فعال گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری نقش دارد (حسنوزمان و همکاران، ۲۰۲۰a؛ مولیک[2] و همکاران، همکاران، ۲۰۲۰). سلنیوم عملکرد آنزیم‌های پاداکساینده را ارتقا داده و به گیاهان کمک می‌کند تا بر آسیب‌های اکسیداتیو ناشی از تنش شوری در محصولاتی مانند گندم غلبه کند (لانزا و دوس‌رایس[3]، ۲۰۲۱؛ مولیک و همکاران، ۲۰۲۱). نعمت الله[4] و همکاران (۲۰۲۰) رشد و سامانه دفاع پاداکساینده گندم را در شرایط شور مورد مطالعه قرار دادند. به گفته آن‌ها، شوری بالا به‌طور قابل توجهی باعث کاهش رشد شد. با این حال، پرایمینگ با سلنیوم با کاهش سدیم، پراکسیدهای لیپیدی، پراکسید هیدروژن و افزایش کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز اثرات تنش شوری را کاهش می‌دهد. تحقیقات نشان داده است که استفاده از سلنیوم در غلظت‌های مناسب موجب افزایش در محتوای پاداکساینده گیاهان از طریق فعال کردن آنزیم‌های پاداکساینده مانند سوپر اکسید دیسموتاز و کاتالاز می‌شود (یائو[5] و همکاران، ۲۰۱۱). گزارش شده است که تیمار بذر با سلنیوم بطور مستقیم سنتز آنـزیم‌های پاداکساینده از جمله سوپر اکسید یسمیوتاز، کاتالاز و پراکسیداز را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (کلینگ[6] و همکاران، ۲۰۱۳). پرایمینگ بذر با سلنیوم باعث کاهش اثر شوری در گیاه می‌شود (عقیقی‌شاهوردی[7] و همکاران، ۲۰۱۷). هدف اصلی این تحقیق، تأثیر پرایمینگ بذر مقادیر مختلف سلنیوم روی شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده گیاهچه گندم در شرایط تنش شوری است.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با ۳ تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و چهار سطح پرایمینگ بذر با سلنیوم (شاهد (آب مقطر)، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکرومولار) انجام شد. منبع استفاده از سلنیوم، سلنیت سدیم (Na_2O_3Se) تهیه شده از مرک آلمان بود. 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 (خیاط[8] و همکاران، ۲۰۱۱). ابتدا بذرها درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به‌مدت ۶ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند (جهت هوادهی از شیکر استفاده شد). بعد از پرایمینگ، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. سپس، ۲۵ عدد بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت (ایستا[9]، ۲۰۱۳) و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) با سطوح مختلف به مقدار ۶ میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس، دهانه پتری با پارافیلم برای کاهش میزان تبخیر درزگیری شد. پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به‌مدت ۸ روز قرار داده شد. معیار جوانه‌زنی یک بذر، خروج ریشه‌چه به میزان حداقل دو میلی‌متر از پوسته بذر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری طول گیاهچه از خط‌کش با واحد سانتی‌متر استفاده شد.

[1] Huang
[2] Moulick
[3] Lanza and Dos Reis
[4] Nemat Alla
[5] Yao
[6] Keling
[7] Aghighi Shahverd
[8] Khayat
[9] ISTA

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

درصد جوانه‌زنی: جهت محاسبه میانگین درصدجوانه‌زنی از رابطه ۱ استفاده گردید (امیدی و همکاران[1]، ۲۰۱۴).

رابطه ۱ $GP^{2} = (n \times 100) / N$

n: تعداد بذر جوانه‌زده N: تعداد کل بذرها

میانگین جوانه‌زنی روزانه: جهت محاسبه میانگین جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۲ استفاده گردید (هوگنبوم و پیترسون[3]، ۱۹۸۷).

رابطه ۲ $MDG^{4} = GP/Tx$

GP: درصدجوانه‌زنی Tx: تعداد روزهای آزمایش (طول دوره اجرای آزمایش)

سرعت جوانه‌زنی روزانه: جهت محاسبه سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۳ استفاده گردید (ماگیر[5]، ۱۹۶۲).

رابطه ۳ $DGR^{6}=1/MDG$

MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه

ضریب جوانه‌زنی: جهت محاسبه ضریب جوانه‌زنی از رابطه ۴ استفاده گردید (فتحی امیرخیز[7] و همکاران، ۲۰۱۲).

رابطه ۴ $GC^{8} = 1/MGT \times 100$

MGT: میانگین مدت جوانه‌زنی

ضریب آلومتری: جهت محاسبه ضریب آلومتری از رابطه ۵ استفاده گردید (ابراهیمی[9] و همکاران، ۲۰۱۳).

رابطه ۵ $CA^{10} = LS/LR$

LS: طول ساقه‌چه، LR: طول ریشه‌چه

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده در گندم، گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در داخل پتری درون ژرمیناتور به مدت ۹ روز رشد داده شدند. پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار ۵ گیاهچه به تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل آلومینیومی، به فریزر با دمای ۷۲- درجه سلسیوس منتقل گردیدند. به‌منظور استخراج عصاره آنزیمی، ۰/۵ گرم نمونه از هر تیمار توزین و در داخل هاون چینی (که از قبل در یخچال نگهداری شده بود) با استفاده از نیتروژن مایع هموژن گردید و بعد از آن ۵ میلی‌لیتر از بافر فسفات سرد (pH=۷/۵) حاوی ۰/۵ میلی‌مولار EDTA به هاون افزوده شد. سپس، هموژن‌ها به اپندورف‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای ۴ درجه سلسیوس با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای ۴-۱ درجه سلسیوس انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های پاداکساینده در دمای ۲۰- درجه سلسیوس نگهداری شدند (سایرام[11] و همکاران، ۲۰۰۲).

برای اندازه‌گیری سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش ابی[12] (۱۹۸۴)، تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش همدا و کلین [13] (۱۹۹۰)، تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسمیوتاز به روش جیانو پلیتیس و ریز[14] (۱۹۹۷)، تغییرات جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت گردید. سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز به روش ناکائو و آسادا[15] (۱۹۸۱)، تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر ثبت گردید و در نهایت فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده بر حسب واحد بر میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. دیگر محاسبات و رسم شکل‌ها نیز با استفاده از نرم افزار Excel 2018 بود.

[1] Omidi
[2] Germination percentage
[3] Hoogenboom and Peterson
[4] Mean daily germination
[5] Maguire
[6] Daily germination rate
[7] Fathi Amirkhiz
[8] Germination coefficient
[9] Ebrahimi
[10] Allometry coefficient
[11] Sairam
[12] Aebi
[13] Hemeda and Klein
[14] Giannopolitis and Ries
[15] Nakano and Asada

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سلنیوم و شوری روی درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. به طوری‌که، بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۷/۶۷ درصد) مربوط به شاهد و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی (۷۲/۲۵ درصد) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۳). کاربرد سطوح مختلف سلنیوم توانست درصد جوانه‌زنی را افزایش دهد. بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۳/۵ درصد) مربوط به تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار بود و کم‌ترین مقدار درصد جوانه‌زنی (۷۱/۹۲ درصد) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۳). تنش شوری با کاهش جذب آب، پتانسیل آبی را کاهش داده و افزایش تجمع بالای سدیم و کلر باعث کاهش درصد جوانه‌زنی می‌شود (نواز[1] و همکاران، ۲۰۲۲). ۲۰۲۲). یون‌های سدیم و کلر اضافی جذب شده با جذب آب می‌تواند باعث سمیت یونی شود و بر فرآیندهای متابولیک در بذرهای در حال جوانه‌زنی از طریق فعالیت آنزیمی مانند تنفس و هیدرولیز مواد مغذی تأثیر منفی بگذارد (موانڈو[2] و همکاران، ۲۰۲۱). پرایمینگ باعث سنتز سنتز پروتئین و فعال‌سازی آنزیم‌ها به‌ویژه هیدرولایز و آلفا آمیلاز در جنین و علاوه بر اینکه موجب افزایش آنزیم‌های پاداکساینده مانند گلوتاتیون و آسکوربات در بذر می‌شود این آنزیم‌ها فعالیت پراکسیداسیون لیپیدها طی سرعت جوانه‌زنی را کاهش داده و موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شوند (فاروق و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات نشان داده است که پرایمینگ در شرایط تنش شوری با نرم کردن پوسته بذر باعث خروج سریع‌تر ریشه‌چه و افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (عبدالهی‌پور و حقیقی[3]، ۲۰۱۹). در واقع، پرایمینگ بذر با فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر درصد جوانه‌زنی را افزایش داده و دسترسی به مواد مغذی را آسان‌تر می‌کند. در نتیجه بذرهای پرایم شده زودتر جوانه زده و تنش را بیشتر تحمل می‌کنند (بهراسمانی[4] و همکاران، ۲۰۲۴). پژوهش‌ها نشان داده است که پرایمینگ تحت تنش شوری باعث افزایش درصد جوانه‌زنی در گندم می‌شود (البابجی و مرعشی[5]، ۲۰۲۴). طبق گزارش‌ها پرایمینگ با سلنیوم ضمن کاهش اثرات ناشی از تنش شوری، صفات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را در گیاه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (قاضی[6] و همکاران، ۲۰۲۲).

میانگین جوانه‌زنی روزانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر پرایمینگ سلنیوم روی میانگین جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال یک درصد و اثر شوری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش شوری، میانگین جوانه‌زنی روزانه کاهش یافت. به‌طوری که، بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۰/۹۵۸) در شاهد (شوری صفر) به‌دست آمد (جدول ۳). بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۱/۶۸۸) در پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکرومولار مشاهده شد. البته سطوح سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ روی میانگین جوانه‌زنی روزانه مؤثر بود (جدول ۳) و کم‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۷/۸۷۹) در شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۳). شوری بر جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و رشد رویشی تأثیر می‌گذارد (سلیمان[7] و همکاران، ۲۰۲۰)، این به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی است که جذب آب توسط بذر را کاهش می‌دهد. همچنین، یون‌های سدیم و کلر جذب شده موجب سمیت یونی شده و بر فرآیندهای متابولیک در بذرهای جوانه‌زده از طریق تنفس، هیدرولیز مواد مغذی و تولید انرژی تأثیر سوء می‌گذارد (نصیر[8] و همکاران، ۲۰۲۲). در این پژوهش، پرایمینگ با سطوح مختلف سلنیوم میانگین جوانه‌زنی روزانه را افزایش داد. از آنجایی‌که، میانگین جوانه‌زنی روزانه از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره آزمایشی به‌دست می‌آید، بنابراین، افزایش درصد جوانه‌زنی طی پرایمینگ با سلنیوم در طول دوره آزمایشی منجر به افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه

[1] Nawaz
[2] Mwando
[3] Abdolahipour and Haghighi
[4] Bahrasemani
[5] Albaji and Marashi
[6] Ghazi
[7] Seleiman
[8] Naseer

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سلنیوم و شوری روی شاخص‌های جوانه‌زنی گیاهچه گندم

Tabel 1. Analysis of variance for the effect of selenium and salinity germination indices in wheat seedling

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of square				
		درصد جوانه‌زنی Germination percentage	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	ضریب جوانه‌زنی Germination coefficient	ضریب آلومتری Allometry coefficient
سلنیوم Selenium (Se)	3	1264.520**	29.979**	0.00205686**	188140.06**	0.087340**
شوری Salinity (S)	3	525.576**	7.644*	0.00100484**	28604.14**	0.010152 ns
سلنیوم و شوری Se×S	9	7.243ns	1.711ns	0.00004283*	3015.11**	0.012189 ns
خطا Error (E)	32	7.594	1.794	0.00001949	893.18	0.011548
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.418	13.542	4.36084	14.36	8.415

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر سلنیوم و شوری روی آنزیم‌های آنتی اکسیدانت گیاهچه گندم

Tabel 2. Analysis of variance for the effect of selenium and salinity on antioxidant enzymes in wheat seedling

منابع تغییر S.O.V.	درجه‌ی آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of square				
		طول گیاهچه Seedling length	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	سوپراکسید دیسمیوتاز Superoxide dismutase	آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase
سلنیوم Selenium (Se)	3	397.271**	0.178335**	0.13760**	1.515**	20.434**
شوری Salinity (S)	3	44.159**	0.017391**	0.06776**	0.207**	1.109**
سلنیوم و شوری Se×S	9	2.274 ns	0.001618ns	0.01213*	0.0358*	0.271**
خطا Error (E)	32	3.215	0.003218	0.00555	0.015	0.077
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		9.911	16.616	8.216	12.500	8.461

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** indicating not significant, the significant differences at 5 and 1 percent probability levels.

خواهد شد. در کل، میانگین جوانه‌زنی روزانه، مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر را نشان می‌دهد. هر چه‌قدر میزان سرعت جوانه‌زنی روزانه کمتر باشد به همان مقدار میانگین جوانه‌زنی روزانه و به تبع آن درصد جوانه‌زنی بالاتر خواهد بود (سعادت[1] و همکاران، ۲۰۲۳c). کاهش میانگین جوانه‌زنی روزانه تحت شرایط تنش شوری در مطالعه دیگری نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c).

سرعت جوانه‌زنی روزانه و ضریب جوانه‌زنی

در این تحقیق، تأثیر ساده سلنیوم و شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر سرعت جوانه‌زنی روزانه و ضریب جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۳۳) در هیدرو پرایمینگ و شوری

[1] Saadat

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

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

شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling Length(cm)	کاتالاز (واحد بر میلی‌گرم بر پروتئین بر دقیقه) Catalase (units mg^{-1} protein min^{-1})
0	87.67[a]	10.958[a]	1.251[a]	20.596[a]	0.296[c]
50	83.58[b]	9.713[b]	1.256[a]	18.163[b]	0.324[bc]
100	78.92[c]	9.865[ab]	1.287[a]	17.650[b]	0.369[ab]
150	72.25[d]	9.031[b]	1.314[a]	15.952[c]	0.376[a]
سلنیوم (میکرومولار) Selenium (µM)					
0	71.92[d]	7.879[c]	1.349[a]	10.439[d]	0.186[d]
25	77.50[c]	9.688[b]	1.350[a]	17.364[c]	0.320[c]
50	82.50[b]	10.313[b]	1.186[b]	20.677[b]	0.393[b]
75	93.50[a]	11.688[a]	1.223[b]	23.883[a]	0.469[a]

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

The different letters in each column indicate a significant difference at 5% probability level based on duncan's test.

۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۰/۰۸۲) در تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری بود (شکل 1a). همچنین، بیش‌ترین ضریب جوانه‌زنی (۴۷۸/۶۷) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و بدون شوری و کم‌ترین آن (۸۶/۶۷) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل 1b). سرعت جوانه‌زنی روزانه معکوس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، پس با افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ با سلنیوم کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش سطوح شوری سرعت جوانه‌زنی روزانه را کاهش داد که مطابق نتیجه به‌دست آمده در سایر پژوهش‌ها بود (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a). ضریب جوانه‌زنی عکس میانگین مدت جوانه‌زنی است، کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی طی پرایمینگ با سلنیوم باعث افزایش ضریب جوانه‌زنی خواهد شد. نتایج این تحقیق با نتایج سعادت و همکاران (۲۰۲۳a) در راستای افزایش ضریب جوانه‌زنی تحت تنش شوری در گیاه لوبیا طی پرایمینگ تطابق داشت. شاخص‌های جوانه‌زنی با افزایش در مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده جهت خنثی نمودن گونه‌های فعال اکسیژن و تنش اسمزی در بذر تیمار شده بهبود می‌یابند (گونزلیز[1] و همکاران، ۲۰۱۵).

ضریب آلومتری

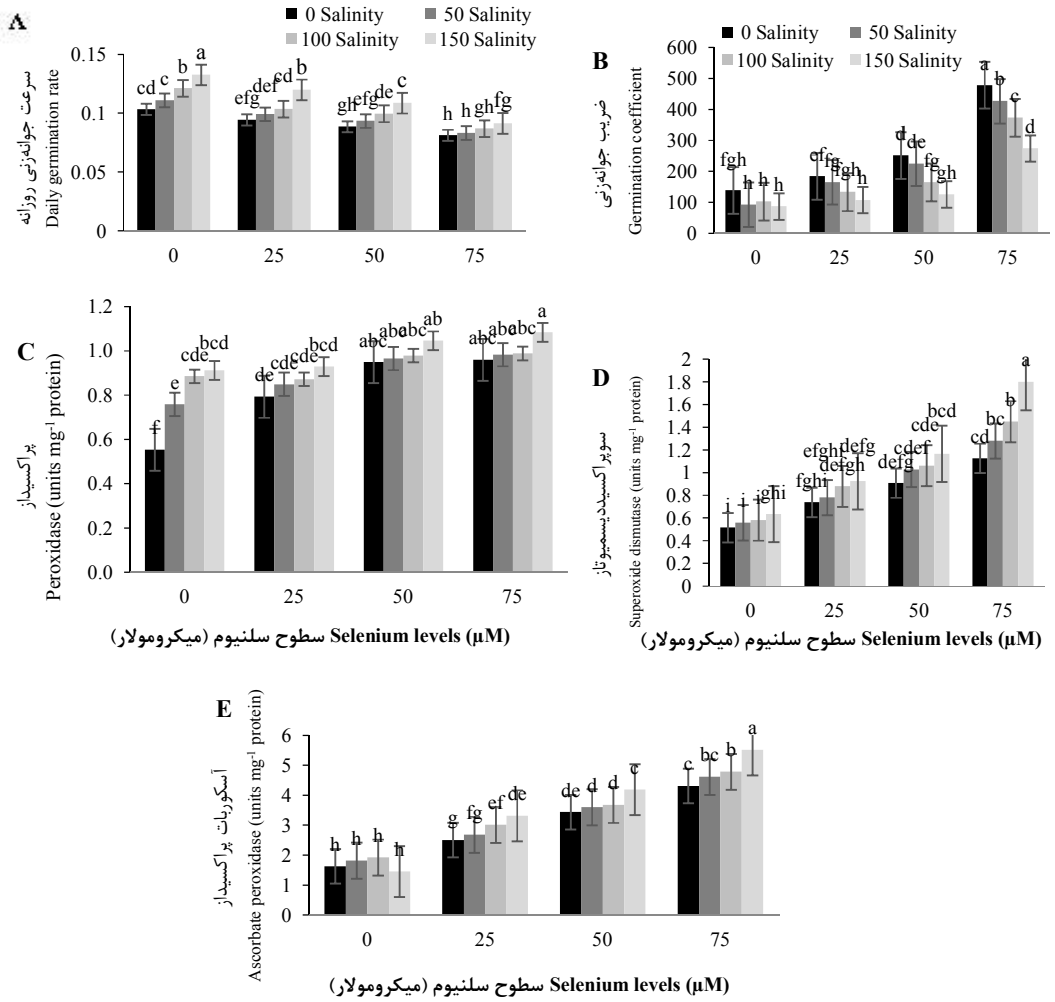
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر ساده سلنیوم روی ضریب آلومتری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). اما تأثیر پرایمینگ سلنیوم ۲۵ میکرومولار بیشتر از پرایمینگ با سلنیوم ۵۰ و ۷۵ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ بود. بیش‌ترین ضریب آلومتری (۱/۳۵۰) در پرایمینگ با سلنیوم ۲۵ میکرومولار بود که با شاهد (آب مقطر) تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین آن (۱/۱۸۶) در پرایمینگ با سلنیوم ۵۰ میکرومولار مشاهده شد که با ۷۵ میکرومولار اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری ضریب آلومتری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین ضریب آلومتری (۱/۳۱۴) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود، هر چند بین سطوح مختلف شوری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). کاهش جذب آب توسط بذر تحت شرایط تنش شوری که، موجب کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های مانند آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز شده و سبب اختلال در ساقه‌چه می‌گردد و بر نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه اثر می‌گذارد (پناهی[2] و همکاران، ۲۰۱۲). تنش‌های محیطی ضریب آلومتری را تحت تاثیر قرار می‌دهند (نوریانی[3]، ۲۰۱۹). ضریب آلومتری از نسبت طول ساقه‌چه به طول ریشه‌چه به‌دست می‌آید، که

[1] Gonzalez

[2] Panahi

[3] Nouriyani

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۱. مقایسه میانگین برهم‌کنش سلنیوم و شوری برای سرعت جوانه‌زنی روزانه (A)، ضریب جوانه‌زنی (B)، پراکسیداز (C)، سوپراکسیددیسمیوتاز (D)، و آسکوربات پراکسیداز (E) در گندم. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد براساس آزمون دانکن است.

Fig. 1. Mean comparison of the interaction of selenium and salinity for daily germination rate (A), germination coefficient (B), peroxidase (C), superoxide dismutase (D) and ascorbate peroxidase (E) in wheat; The different letters indicate significant differences at 5% probability level based on duncan's test.

مقاومت به شرایط تنش شوری را نشان می‌دهد. پس افزایش طول ساقه‌چه نسبت به طول ریشه‌چه طی پرایمینگ با سلنیوم موجب افزایش ضریب آلومتری می‌شود. این امر نشان می‌دهد که میزان افزایش طول ریشه‌چه در مقایسه با طول ساقه‌چه کمتر است و به بیانی دیگر طول ریشه‌چه کمتر تحت تأثیر تیمارهای آماده سازی بذر با آب مقطر و سطوح مختلف سلنیوم قرارگرفته است. افزایش ضریب آلومتری تحت شرایط تنش شوری در مطالعه دیگری نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c).

طول گیاهچه

در این پژوهش، اثر سلنیوم و شوری بر طول گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش شوری طول گیاهچه کاهش یافت، به طوری که بیش‌ترین طول گیاهچه (۲۰/۵۹۶ سانتی‌متر) مربوط به عدم استفاده از شوری و کم‌ترین آن (۱۵/۹۵۲ سانتی‌متر)

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین طول گیاهچه (۲۳/۸۸۳ سانتی‌متر) در تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و کم‌ترین آن (۱۰/۴۳۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۳). البته کـاربرد سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار نیز توانست طول گیاهچه را افزایش دهد. همچنین، کاهش طول گیاهچه گندم تحت تنش شوری به دلیل سمیت یون‌ها و اثرات منفی آن‌ها بر غشای سلولی، فرآیندهای متابولیکی و مسیرهای پیام‌رسانی است (مفتاح‌زاده و رحمتی[1]، ۲۰۲۱). شوری با کاهش جذب آب و عناصر غذایی، طول گیاهچه را کاهش می‌دهد (سیرکا[2] و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش طول گیاهچه طی پرایمینگ با سلنیوم به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی و افزایش میزان مواد ذخیره‌ای بذر و طویل شدن گیاهچه بر اثر افزایش انرژی در بذرهای پرایم شده است (کائور[3] و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین، به دلیل تأثیر عوامل پرایمینگ بر روند انبساط و طویل شدن سلولی، از طریق تعدیل مسیرهای پیام‌رسانی هورمون و جذب مواد مغذی و پویایی جذب آب می‌باشد (یاداو[4] و همکاران، ۲۰۲۳). در تحقیقی مشاهده شد که پرایمینگ با سلنیوم و پراکسید هیدروژن تحت تنش شوری باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گندم می‌شود (ساجدی[5]، ۲۰۱۶؛ الباجی و مرعشی، ۲۰۲۴).

فعالیت آنزیم کاتالاز

در این تحقیق، اثر سلنیوم و شوری بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). شوری فعالیت آنزیم کاتالاز را افزایش داد. به‌طوری‌که، بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۳۷۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه) مربوط به شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۴۶۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و کم‌ترین آن (۰/۱۸۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بر دقیقه) در شاهد (آب مقطر) مشاهده گردید (جدول ۳).

فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز

در این تحقیق، اثر ساده پرایمینگ و شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپر اکسید دیسمیوتاز معنی‌دار بود (جدول ۲). تاثیر سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از سطوح سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و بر فعالیت این دو آنزیم بود. به‌طوری‌که، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز (۱/۰۸۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و سوپر اکسید دیسمیوتاز (۱/۸۰۰ واحد میلی‌گرم پروتئین) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آنـزیم پراکسیداز (۰/۵۵۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و سوپر اکسید دیسمیوتاز (۰/۵۱۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (آب مقطر) بدون شوری مشاهده گردید (شکل ۱ c و d).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

در این تحقیق، اثر سلنیوم و شوری و برهم‌کنش آن‌ها بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح احتمال یک معنی‌دار بود (جدول ۲). تأثیر سلنیوم ۷۵ میکرومولار بیشتر از سطوح سلنیوم ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و هیدرو پرایمینگ بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۵/۵۱۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) از تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آنزیم پراکسیداز (۱/۶۳۰ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در شاهد (آب مقطر) بدون شوری مشاهده گردید (شکل 1e)

آنزیم‌های پاداکساینده برای حفظ تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب آن ضروری هستند (نورین[6] و همکاران، ۲۰۲۱). یافته‌های مطالعه ما نشان می‌دهد پرایمینگ بذر گندم با سلنیوم سطوح بالاتری از پاداکساینده‌ها را نشان می‌دهد. فعالیت‌های آنزیمی در مقایسه با بذرهای غیر پرایم شده هنگام قرار گرفتن در معرض تنش، نشان می‌دهد که پرایمینگ توانایی گیاهان را برای فعال کردن و حفظ فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده

[1] Meftahizade and Rahmati
[2] Cirka
[3] Kaur
[4] Yadav
[5] Sajedi
[6] Noreen

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

افزایش می‌دهد و در نتیجه دفاع مؤثری در برابر آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن در طول تنش شوری ایجاد می‌کند. نتایج ما اثرات مثبت پرایمینگ با سلنیوم در گیاهچه‌های گندم را از نظر تحمل تنش شوری نشان می‌دهد. در واقع، استفاده از سلنیوم در این تحقیق، توانست فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش دهد. این آنزیم‌ها از گیاهان در برابر پراکسیداسیون غشای پلاسمایی ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کنند (شارما[1] و همکاران، ۲۰۲۰). آنزیم کاتالاز از مهم‌ترین آنزیم‌های پاک‌کننده پراکسید هیدروژن در شرایط تنش شوری است (گومیس[2] و همکاران، ۲۰۲۱). سوپراکسید دیسمیوتاز و پراکسیداز نقش حیاتی در سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن دارند. سوپراکسید دیسمیوتاز، رادیکال‌های سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌کند. با کاهش سطح رادیکال‌های سوپراکسید، سوپراکسیددیسمیوتاز به کاهش آسیب‌های ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن کمک می‌کند. علاوه بر این، آنزیم پراکسیداز به‌طور موثری پراکسید هیدروژن را با استفاده از آن به عنوان یک عامل اکسید کننده در واکنش‌های مختلف سم‌زدایی می‌کند. پراکسیدازها با استفاده از قدرت کاهنده سوبستراها، پراکسید هیدروژن را به آب تبدیل می‌کنند و به‌طور موثر اثرات مضر آن را خنثی می‌کنند (ایکرام[3] و همکاران، ۲۰۲۲). یافته‌های تحقیق حاضر با مطالعات قبلی سازگار است که نشان می‌دهد سلنیوم باعث بهبود فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در بذرهای گیاه سویا تحت تنش شوری می‌شود (جابین[4] و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات نشان داده است که سلنیوم فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز را تحریک می‌کند تا گونه‌های فعال اکسیژن اضافی را از بین ببرد تا تنش اکسیداتیو گیاهی ناشی از شوری را کاهش دهد (مولیک و همکاران، ۲۰۲۴). در تحقیق دیگر نیز سلنیوم فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسیددیسموتاز را در گندم تحت تنش بهبود بخشید (ظفر[5] و همکاران، ۲۰۲۴). البدری[6] و همکاران (۲۰۲۲) مشاهده کردند که سلنیوم به‌طور برون‌زا بیان ژن‌های پاداکساینده پاسخ‌دهنده به تنش را برای کاهش تنش شوری در گیاه کلزا تنظیم می‌کند. افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسیددیسمیوتاز طی پرایمینگ با سلنیوم تحت تنش شوری در بالنگوی (موسوی و عقیقی‌شاهوردی[7]، ۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. حیدری و چایچی[8] (۲۰۲۳) (۲۰۲۳) گزارش کردند که پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را در گندم افزایش می‌دهد. نتایج پژوهش سعادت و همکاران (۲۰۲۳b؛ ۲۰۲۳a) نشان داد که تنش شوری باعث افزایش فعالیت کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در گیاه لوبیا و برنج شد.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که پرایمینگ بذر با سطوح مختلف سلنیوم باعث افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه و طول گیاهچه گندم گردید و با توجه به نتایج مقایسه میانگین می‌توان پرایمینگ با سلنیوم ۷۵ میکروکولار را تیمار مؤثری برای گیاهچه گندم در شرایط تنش شوری دانست و از آن برای کاهش اثرات مضر تنش شوری استفاده نمود. براساس یافته‌های این تحقیق فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده در نتیجه استفاده از سطوح مختلف سلنیوم تغییر یافت، اما بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌ها در تیمار با سلنیوم ۷۵ میکرومولار به‌دست آمد. پرایمینگ ابزاری امیدوارکننده برای ایجاد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و ویژگی‌های بهره‌وری مطلوب در محصولات است که کشاورزان می‌توانند برای بهبود رشد بذرهای گندم در زمانی که گیاهان به‌درستی آن‌طور که انتظار داشتند رشد نمی‌کنند، استفاده کنند.

[1] Sharma
[2] Gomes
[3] Ikram
[4] Jabeen
[5] Zafar
[6] El-Badri
[7] Mousavi and Aqiqi Shahvardi
[8] Heydari and Chaichi

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: هانیه سعادت، محمد صدقی تهیه گزارش پژوهش: هانیه سعادت تحلیل داده‌ها: هانیه سعادت

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر حمایت مالی/ حمایت معنوی/ همکاری در اجرای پژوهش حاضر تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

References

Abdolahipour, B., & Haghighi, M. (2019). The effect of pine wood vinegar on germination, growth and physiological characteristics, and uptake of elements in Basil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *10*(2), 11–24. [In Persian] http://dx.doi.org/10.29252/ejgcst.10.2.11

Abou-Zeid, H. M., Ismail, G. S. M., & Abdel-Latif, S. A. (2021). Influence of seed priming with ZnO nanoparticles on the salt-induced damages in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Journal of Plant Nutrition*, *44*(5), 629–643. https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849288

Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, *105*, 121–126. https://doi.org/10.1016/s0076-6879(84)05016-3

Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H., & Tabatabaei, S. J. (2017). Determination of optimum duration and concentration of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) seed priming with boric acid (H_3BO_3). *Turkish Journal of Agriculture Research*, *4*(1), 24–30. https://doi.org/10.19159/tutad.300701

Albaji, Z., & Marashi, S. K. (2024). Effect of seed priming with hydrogen peroxide on germination indices and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *12*(4), 57–67. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2023.361399.1476

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.2020.08.042

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S. H., & Jowkar, M. (2024). The seed priming using putrescine improves, germination indices and seedlings morphobiochemical responses of indigo (*Indigofera tinctoria*) under salinity stress. *Journal of Medicinal Plants and By-products*, *13*(1), 179–188. [In Persian] https://doi.org/10.22034/jmpb.2023.128870

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. *Plant Stress*, *9*, 100186. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100186

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

do Espirito Santo Pereira, A., Caixeta Oliveira, H., Fernandes Fraceto, L., & Santaella, C. (2021). Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials*, *11*(2), 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 two spices of (*Agropyron elongatum*, *Agropyron desertrum*). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, *1*(1), 31–38. [In Persian]

El-Badri, A. M., Batool, M., Mohamed, I. A. A., Wang, Z., Wang, C., Tabl, K. M., Khatab, A., Kuai, J., Wang, J., Wang, B., & Zhou, G. (2022). Mitigation of the salinity stress in rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity by exogenous applications of bio-selenium nanoparticles during the early seedling stage. *Environmental Pollution*, *310*(2), 119815. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119815

Farooq, M., Basra, S. M. A., Rehman, H., & Saleem, B. A. (2008). Seed priming enhance the performance late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *194*(1), 55–60. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00287.x

Farooq, M., Hussain, M., Habib, M. M., Khan, M. S., Ahmad, I., Farooq, S., & Siddique, K. H. 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*(8), 725–738. https://doi.org/10.1071/CP20065

Fathi Amirkhiz, K., Omidi, H., Heshmati, S., & Jafarzadeh, L. (2012). Study of black cumin (*Nigella sativa* L.) germination attributes and seed vigour under salinity stress by osmopriming accelerators pretreatment. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(2), 299–310. [In Persian] https://doi.org/10.22067/gsc.v10i2.16170

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), 1784. https://doi.org/10.3390/su14031784

Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *59*(2), 309–314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

Gomes, D. G., Pelegrino, M. T., Ferreira, A. S., Bazzo, H. B., Zucareli, C., B Seabra, A. B., & Oliveira, H. C. (2021). Seed priming with copper-loaded chitosan nanoparticles promotes early growth and enzymatic antioxidant defense of maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Chemical Technology and Biotechnology*, *96*(8), 2176–2184. https://doi.org/10.1002/jctb.6738

Gonzalez, L. M., Guerrero, Y. R., Rodriguez, A. F., & Vazquez, N. M. (2015). Effect of seed treatment with chitosan on the growth of rice (*Oryza sativa*) seedlings cv. incalp-5 in saline medium. *Cultivos Tropicales*, *36*(1), 136–142.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, B., Raza, A., Hawrylak-ak, B., Matraszek-Gawron, R., Nahar, K., & Fujita, M. (2020a). Selenium toxicity in plants and environment: biogeochemistry and remediation possibilities. *Plants*, *9*(12), 1711. https://doi.org/10.3390/plants9121711

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Al Mahmud, J., Nahar, K., & Fujita, M. (2020b). Selenium in plants: Boon or bane? *Environmental and Experimental Botany*, *178*, 104170. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104170

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In *Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress*, *6879*(84), 05016-3. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747-4_2

Hasanuzzaman, M., Raihan, M., Hossain, R., Masud, A. A., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(17), 9326. https://doi.org/10.3390/ijms22179326

Hemeda, H. M., & Klein, B. P. (1990). Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*, *55*, 184–185. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06048.x

Heydari, M., & Chaichi, M. (2023). Investigating the effect of seed priming on different indicators of emergence and yield of different wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. *Journal of Crops Improvement*, *25*(2), 437–449. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jci.2023.350066.2750

Hoogenboom, G., & Peterson, C. M. (1987). Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agronomy Journal*, *79*(4), 598–607. https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900040004x

Huang, S., Gill, S., Ramzan, M., Ahmad, M. Z., Danish, S., & Huang, P. (2023). Uncovering the impact of AM fungi on wheat nutrient uptake, ion homeostasis, oxidative stress, and antioxidant defense under salinity stress. *Scientific Reports*, *13*, 8249. https://doi.org/10.1038/s41598-023-35148-x

Ikram, M., Raja, N. I., Mashwani, Z.-U.-R., Omar, A. A., Mohamed, A. H., Satti, S. H., & Zohra, E. (2022). Phytogenic selenium nanoparticles elicited the physiological, biochemical, and antioxidant defense system amelioration of Huanglongbing-infected 'Kinnow' Mandarin plants. *Nanomaterials*, *12*(3), 356. https://doi.org/10.3390/nano12030356

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

ISTA. (2013). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association.

Jabeen, Z., Fayyaz, H. A., Irshad, F., Hussain, N., Hassan, M. N., & Li, J. (2021). Sodium nitroprusside application improves morphological and physiological attributes of soybean (*Glycine max* L.) under salinity stress. *PLos One*, *16*(4), e0248207. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248207

Kaur, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2006). Effect of hydro and osmo priming of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds on enzymes of sucrose and nitrogen metabolism in nodules. *Plant Growth Regulation*, *49*, 177–182. https://doi.org/10.1007/s10725-006-9103-9

Keling, H., Ling, Z., Jitao, W., & Yang, Y. (2013). Influence of selenium on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in melon (*Cucumis melo* L.) seedlings under salt stress. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, *82*, 193–197. https://doi.org/10.5586/asbp.2013.023

Khayat, M., Shirin, M., Gharineh, M. H., & Sajedi, N. A. (2011). Effectives of different concentrations of sodium hypochlorite and different times of disinfestations on wheat chamran variety. *New Finding in Agricultural*, *5*(4), 367–376. [In Persian]

Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078

Lanza, M. G. D. B., & Dos Reis, A. R. (2021). Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses againstiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, *164*, 27–43. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.026

Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, *529*, 84–87. https://doi.org/10.1038/nature16467

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination - aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science*, *2*, 176–177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Meftahizade, H. and Rahmati Ahmadabad, Z. (2021). Evaluation of germination and growth characteristics of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes under salinity stress condition. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *10*(2), 97–109. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijsst.2020.342298.1332

Monirifar, T., & Barghi, M. (2009). Identification and Selection for salt tolerance in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes via physiological traits. *Notulae Scientia Biologicae*, *1*(1), 63–66. https://doi.org/10.15835/nsb113498

Moulick, D., Mukherjee, K., Das, A., Roy, A., Majumdar, A., Dhar, A., Pattanaik, B. K., Chowardhara, B., Ghosh, D., Upadhyay, M. K., Yadav, P., Hazra, S., Sarkar, S., Mahanta, S., Santra, S. C., Choudhury, S., Maitra, S., Mishra, U. M., Bhutia, K., Milan Skalicky, M., Obročník, O., Viliam Barek, V., Brestic, M., & Hossain, A. (2024). Selenium – An environmentally friendly micronutrient in agroecosystem in the modern era: An overview of 50-

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

year findings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *270*, 115832. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115832

Moulick, D., Samanta, S., Saha, B., Mazumder, M. K., Dogra, S., Panigrahi, K. C., Banerjee, S., Ghosh, D., & Santra, S. C. (2020). Salinity stress responses in three popular field crops belonging to fabaceae family: current status and future prospect. *Plant Fam.aceae: Biological and Physiological Responses in Environmental Stress*, 519–541. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_20

Moulick, D., Samanta, S., Sarkar, S., Mukherjee, A., Pattnaik, B. K., Saha, S., Awasthi, J. P., Bhowmick, S., Ghosh, D., & Samal, A. C. (2021). Arsenic contamination, impact and mitigation strategies in rice agro-environment: an inclusive insight. *Science of the Total Environment*, *800*, 149477. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149477

Mousavi, S. I., & Aqiqi Shahvardi, M. (2020). The effect of seed nutripriming with selenium on germination and physiological indicators urban shrimp (*Lamellia ibrica* L.) under salt stress. *Journal of Seed Research*, *10*(2), 65–76. [In Persian]

Munns, R., & Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops - what is the cost? *New Phytologist*, *208*(3), 668–673. https://doi.org/10.1111/nph.13519

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

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxides in Spanish chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*, 867–880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232

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 contents of three Cucurbitaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *65*, 1–10. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210213

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

Nemat Alla, M. M., Badran, E. G., Mohammed, F. A., Hassan, N. M., & Abdelhamid, M. A. (2020). Overexpression of Na^+-manipulating genes in wheat by selenium is associated with antioxidant enforcement for enhancement of salinity tolerance. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, *31*, 177–187. https://doi.org/10.1007/s12210-019-00868-8

Noreen, S., Sultan, M., Akhter, M. S., Shah, K. H., Ummara, U., Manzoor, H., Ulfat, M., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2021). Foliar fertigation of ascorbic acid and zinc improves growth, antioxidant enzyme activity and harvest index in barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under salt

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *158*, 244–254. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.007

Nouriyani, H. (2019). Effect of seed priming on germination characteristics, biochemical changes and early seedling growth of sesame (*Sesamum indicum*). *Iranian Journal of Seed Research*, *5*(2), 43–58. [In Persian] https://doi.org/10.29252/yujs.5.2.43

Omidi, H., Jafarzadeh, L., & Hasanali, N. (2014). Seeds of Medicinal Plants and Crops. Publisher Shahed University, 460p. [In Persian]

Panahi, M., Akbari, G. A., Roustakhiz, J., & Golbashi, M. (2012). Response of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity stress via germination and early seedling growth. *Iranian Journal of Science and Technology*, *1*(2), 211–222. [In Persian]

Parera, C. A., & Cantliffe, D. J. (1994). Pre-Sowing Seed Priming. J. Janick (Ed.). *Horticultural Reviews*, *16*, 109–142. https://doi.org/10.1002/9780470650561.ch4

Saadat, H Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023a). Expression of gibberellin synthesis genes and antioxidant capacity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadri) seeds induced by chitosan under salinity. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *13*(4), 4715–4728. https://doi.org/10.30495/ijpp.2023.1978837.1460

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

Saadat, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023c). Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris*) (cv. Sedri) seeds under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *9*(2), 151–162. [In Persian] https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.151

Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, *10*(2), 277. https://doi.org/10.3390/antiox10020277

Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, *163*, 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9

Sajedi, N. A. (2016). Effect of seed priming and foliar application of selenium on physiological traits and Stink bug injury percentage of rainfed wheat Azar 2 cultivar. *Journal of Plant Ecophysiology*, *10*(2), 12–15. [In Persian]

Seleiman, M. F., Semida, W. M., Rady, M. M., Mohamed, G. F., Hemida, K. A., Alhammad, B. A., Hassan, M. M., & Shami, A. (2020). Sequential application of antioxidants rectifies ion imbalance and strengthens antioxidant systems in saltressed cucumber. *Plants*, *9*, 1783. https://doi.org/10.3390/plants9121783

Sharma, A., Soares, C., Sousa, B., Martins, M., Kumar, V., & Shahzad, B. (2020). Nitric oxide-mediated regulation of oxidative stress in plants under metal stress: a review on molecular and biochemical aspects. *Physiologia Plantarum*, *168*(2), 318–344. https://doi.org/10.1111/ppl.13004

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]

Singh, A., Rajput, D. V., Sharma, R., Ghazaryan, K., & Minkina, T. (2023). Salinity stress and nanoparticles: insights into antioxidative enzymatic resistance, signaling, and defense mechanisms. *Environmental Research*, *235*, 116585. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116585

Wang, J., & Huang, R. (2019). Modulation of ethylene and ascorbic acid on reactive oxygen species scavenging in plant salt response. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 319. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00319

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), e22389. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22389

Yao, X., Chu, J., He, X., & Ba, C. J. (2011). Protective role of selenium in wheat seedlings subjected to enhanced UV-B radiation. *Russian Journal of Plant Physiology*, *58*, 283–289. https://doi.org/10.1134/S1021443711020257

Zafar, S., Hasnain, Z., Danish, S., Battaglia, M. L., Fahad, S., Ansari, M. J., & Alharbi, S. A. (2024). Modulations of wheat growth by selenium nanoparticles under salinity stress. *BMC Plant Biology*, *24*, 35. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04720-6

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-04-20]