Iranian Journal of Seed Research, 2024, 11(1): 1-20

Research Article

Effect of seed priming with vitamin U on seed germination and physiological and biochemical characteristics of sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings under salinity stress

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

Extended abstract

Introduction: Environmental stresses, including salinity, result in the overproduction of reactive oxygen species, which, at high levels, can cause oxidative damage, impair membrane lipid functions, inactivate enzymes, and impede the metabolic activities of the plant. Salinity affects seedling growth through osmotic stress, ionic toxicity, lack of absorption of essential nutrients and water, production of free radicals, cell membrane destruction, and reduction of cell division. Seed priming is a quick, easy, low-cost, and effective strategy for improving germination. It is a seed treatment before planting in which seeds are fully immersed in special solutions and dried until further use. Seed priming assists the germinating seed in mitigating salt stress by neutralizing ionic toxicity or promoting defense mechanisms. This study aimed to assess the effect of seed priming with vitamin U (S-Methylmethionine) on germination and the physiological and biochemical characteristics of sunflower seedlings under salinity stress.

Materials and Methods: This experiment was conducted in 2023 as a factorial based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM) and three levels of vitamin U (0, 2, and 4 mM).

Results: The results showed that salinity reduced germination and growth indicators, including germination rate (GR), germination percentage (GP), mean daily germination (MDG), seedling length (SL), seedling dry weight (SDW), seedling length vigor index (SLVI), and seedling weight vigor index (SWVI); but seed pretreatment with different levels of vitamin U, especially the level of 4 mM, improved these traits. Daily germination rate (DGR) was higher by about 25% compared with the salt-free control treatment and, in priming with vitamin U compared with the control (distilled water), it showed a decrease of about 32%. Compared with the control (distilled water), the catalase, peroxidase, superoxide dismutase activities, and proline content of seedlings obtained from primed seeds increased respectively by 9%, 8%, 32%, and 47% after vitamin U treatment. Increased salinity levels reduced total seed protein content, so that the lowest total seed protein content was observed at 150 mM salinity (0.384 mg g^{-1} FW). Mean germination time (MGT) and malondialdehyde content of seedlings in the priming with a concentration of 4 mM vitamin U and without salinity showed a decrease of about 73% and 21%, respectively, compared with the control (distilled water) and 150 mM salinity.

Conclusions: The results of this research showed that sunflower seed priming with vitamin U at a concentration of 4 mM is the most effective method to improve the germination and biochemical characteristics of seedlings, and can reduce the harmful effects of salinity on some traits in sunflower seedlings and improve seedling growth by stimulating antioxidant enzymes .

***Keywords:** Antioxidant Enzymes, Priming, Sodium Chloride, Sunflower, Vitamin U*

***Highlights*:**

1. Seed priming using vitamin U improved germination indices of sunflower seed under salinity.
2. Seed priming with vitamin U decreased the content of malondialdehyde and increased the amount of proline and protein of seedling.
3. The concentration of 4 mM seed priming with vitamin U showed a better effect on germination indices and biochemical characteristics.

[1] Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.
[2] Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabili, Iran.

*Corresponding author, E-mail: t.saadat2020@gmail.com

DOI: 10.61186/yujs.11.1.1

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

Received: 25.1.2024; Revised: 28.2.2024;
Accepted: 5.3.2024; Online Published: 21.9.2024

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

مقاله پژوهشی

تأثیر پرایمینگ بذر با ویتامین U روی جوانه‌زنی بذر و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) تحت تنش شوری

هانیه سعادت[1*]، محمد صدقی[2]

چکیده مبسوط

مقدمه: تنش‌های محیطی از جمله شوری منجر به تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که در سطوح بالا می‌تواند باعث آسیب اکسیداتیو، اختلال در عملکرد غشای لیپیدی، غیرفعال کردن آنزیم‌ها و مانع از فعالیت‌های متابولیک گیاه شود. شوری از طریق تنش اسمزی، سمیت یونی، کمبود جذب عناصر ضروری و آب، تولید رادیکال‌های آزاد، تخریب غشای سلولی و کاهش تقسیم سلولی رشد گیاهچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پرایمینگ بذر روشی سریع، آسان، کم‌هزینه و مؤثر برای بهبود جوانه‌زنی است. پرایمینگ، تیمار بذر قبل از کاشت است که در آن بذرها به طور کامل درون محلول‌های ویژه غوطه‌ور می‌شوند و تا زمان استفاده بعدی خشک می‌شوند. پرایمینگ بذر به جوانه‌زنی کمک کند تا تنش شوری را با خنثی کردن سمیت یونی یا با ارتقای سازوکارهای دفاعی کاهش دهد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با ویتامین U (S- متیل متیونین) روی جوانه‌زنی و خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه آفتابگردان تحت تنش شوری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلریدسدیم) و سه سطح ویتامین U (صفر (آب مقطر)، ۲ و ۴ میلی‌مولار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شوری شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد شامل سرعت و درصد جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه، طول گیاهچه، وزن خشک گیاهچه و شاخص طولی و وزنی گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با سطوح مختلف ویتامین U به‌ویژه سطح ۴ میلی‌مولار این صفات را بهبود بخشید. سرعت جوانه‌زنی روزانه حدود ۲۵ درصد نسبت به شاهد شوری بیشتر بود و در پرایمینگ با ویتامین U نسبت به شاهد (آب مقطر) حدود ۳۲ درصد کاهش نشان داد. فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسمیوتاز و محتوای پرولین گیاهچه حاصل از بذرهای پرایمینگ یافته با ویتامین U نسبت به شاهد (آب مقطر) به ترتیب ۹، ۸، ۳۲ و ۴۷ درصد افزایش یافت. سطوح شوری محتوای کل پروتئین بذر را کاهش داد، به‌طوری‌که، کمترین محتوای کل پروتئین (۰/۳۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. میانگین مدت جوانه‌زنی و محتوی مالون دی‌آلدئید گیاهچه در پرایمینگ با غلظت ۴ میلی‌مولار ویتامین U بدون شوری به ترتیب در حدود ۷۳ و ۲۱ درصد نسبت به شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذر آفتابگردان با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار مؤثرترین روش برای بهبود جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی می‌باشد و با تحریک آنزیم‌های پاداکسیدانی، اثرات مضر شوری بر برخی صفات در گیاهچه آفتابگردان را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، آنزیم‌های پاداکسیدانت، پرایمینگ، کلرید سدیم، ویتامین U

جنبه‌های نوآوری:

۱- پرایمینگ بذر با استفاده از ویتامین U سبب بهبود برخی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر آفتابگردان تحت شرایط شوری گردید.
۲- پرایمینگ بذر با ویتامین U محتوای مالون دی‌آلدئید گیاهچه را کاهش و مقدار پرولین و پروتئین آن را افزایش داد.
۳- غلظت ۴ میلی‌مولار پرایمینگ بذر با ویتامین U تأثیر بهتری بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و صفات بیوشیمیایی گیاهچه نشان داد.

[1] دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
[2] استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول: t.saadat2020@gmail.com

DOI: 10.61186/yujs.11.1.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۵؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۶/۳۱

شاپا: ۲۳۸۳-۱۴۸۰ (برخط)؛۲۳۸۳-۱۲۵۱ (چاپی)

مقدمه

در میان محصولات دانه‌های روغنی، آفتابگردان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان است. این گیاه پس از سویا، کلزا، پنبه و بادام زمینی به عنوان منبع مهم تولید روغن خوراکی بوده و دارای کاربردهای زراعی گسترده می‌باشد (سیموس[1]و همکاران، ۲۰۲۰؛ فیصل[2]و همکاران، ۲۰۲۰). روغن آفتابگردان از اجزای حیاتی مانند کلسیم و ویتامین‌های متعددی از جمله A، D و E تشکیل شده است (دیوویسالوی[3]و همکاران، ۲۰۱۸؛ پریمو[4]و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از عوامل محدودکننده تولید آفتابگردان تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری است (لی[5]و همکاران، ۲۰۲۱b). با این حال، آفتابگردان یک گیاه نسبتاً مقاوم به تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی می‌باشد (میلادینوویچ[6] و همکاران، ۲۰۱۹).

تنش شوری یکی از عوامل اصلی محیطی است که تولید محصولات کشاورزی را در دنیا کاهش می‌دهند (اگامبردیوا[7]و همکاران، ۲۰۱۹). از اثرات مخرب این تنش می‌توان به تنش اسمزی، سمیت یونی، تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن اشاره کرد (احمد[8]و همکاران، ۲۰۱۹). تنش شوری از طریق کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی، باعث استقرار نامناسب و کاهش تراکم گیاهچه‌ها شده و در نتیجه تولیدات محصولات در گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (جاوید[9]و همکاران، ۲۰۲۲). شوری از طرق محدود کردن قابلیت دسترسی به آب، تخریب ساختمان پروتئین‌ها و اختلال در استفاده از ذخایر غذایی ذخیره شده در بذر به فرآیند جوانه‌زنی آسیب وارد می‌کند (ژائو[10]و همکاران، ۲۰۲۰). جوانه‌زنی در آفتابگردان به دلیل کاهش جذب آب تحت تاثیر تنش شوری قرار می‌گیرد (لی و همکاران، ۲۰۲۱a). شوری بر جنبه‌های مختلف گیاهان، از جمله فرآیندهای ریخت‌شناسی، سازوکارهای فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی نیز اثر می‌گذارد (راقایی[11]و همکاران، ۲۰۲۲؛ زهرا[12]و همکاران، ۲۰۲۲؛ حبیب[13]و همکاران، ۲۰۲۱). در واقع، اغلب گیاهان زراعی در مرحله جوانه‌زنی بذرها و رشد گیاهچه از تنش‌های محیطی آسیب می‌بینند (لیی[14]و همکاران، ۲۰۲۱). تحقیقات نشان داده است که شوری سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و طول گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر را کاهش و میانگین مدت جوانه‌زنی در گیاهان مختلف را افزایش می‌دهد (فاضلی‌نسب[15]و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، شوری فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانتی از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز و صفات بیوشیمیایی مانند مالون‌دی‌آلدئید را افزایش و پروتئین را در گیاهان مختلف کاهش می‌دهد (سعادت[16]و همکاران، ۲۰۲۳a؛ ۲۰۲۳b؛ ۲۰۲۳c؛ مومنی[17]و همکاران، ۲۰۲۲b).

پرایمینگ یک فناوری ساده است که طی آن بذرها هیدراته شده و فعالیت‌های متابولیکی بذر آغاز می‌شود، اما ریشه‌چه ظهور نمی‌یابد (تانیا[18]و همکاران، ۲۰۲۰؛ رحمان[19]و همکاران، ۲۰۲۰). پرایمینگ با تغییرات متابولیکی جوانه‌زنی را تحریک کرده و سبب تسریع آن و استقرار یکنواخت گیاهچه می‌شود (ژو[20]و همکاران، ۲۰۲۱)، و از طریق تنظیم فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانتی، تعادل یونی تنش شوری را در گیاهان کاهش می‌دهد (رحمان و همکاران، ۲۰۲۱). پرایمینگ بذر باعث می‌شود تا بذرها در شرایط تنش‌های محیطی از جمله شوری بهتر عمل کنند (دویکا[21]و همکاران، ۲۰۲۱). از مزایای پرایمینگ بذر می‌توان به افزایش

[1]Simões
[2]Faisal
[3]Diovisalvi
[4]Primo
[5]Li
[6]Miladinović
[7]Egamberdieva
[8]Ahmad
[9]Javed
[10]Zhao

[11]Ragaey
[12]Zahra
[13]Habib
[14]Lei
[15] Fazeli-Nasab
[16]Saadat
[17]Momeni
[18]Tania
[19]Rhaman
[20]Zhu
[21]Devika

تعداد میتوکندری‌ها، بهبود تنفس بذر، افزایش سنتز آنزیم‌های تجزیه کننده، ترمیم بخش‌های آسیب دیده بذر، افزایش سنتز DNA، افزایش رونویسی و ترجمه mRNA اشاره کرد (پیری[1]و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به این موارد و بهبود جوانه‌زنی، رشد و استقرار یکنواخت گیاهچه، این امر سبب بهبود شرایط اکوفیزیولوژیکی گیاه می‌شود (پاگانو[2]و همکاران، ۲۰۲۳).

ویتامین U (S- متیل متیونین) یک مشتق طبیعی از اسید آمینه متیونین است که توسط نهاندانگان‌ها تولید می‌شود. منابع اصلی آن برگ‌های کاملاً توسعه یافته هستند. اگرچه ثابت نشده است که مانند سایر ویتامین‌ها برای انسان ضروری است و نشان دهنده یک نیاز غذایی است، متیونین یک ترکیب طبیعی فعال زیستی با اثرات متابولیکی مفید است. به همین دلیل است که در قیاس با سایر ویتامین‌ها، می توان آن را ویتامین U نیز در نظر گرفت (مک‌روری[3]و همکاران، ۱۹۵۴; میریت و مونی-بوسچ[4]، ۲۰۱۴). پرایمینگ با ویتامین U می‌تواند اثرات سوء ناشی از تنش‌های غیرزنده محیطی از جمله شوری را به‌طور مؤثر کاهش دهد و موجب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مختلف شود (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲a؛ ۲۰۲۲b؛ فودورپاتاکی[5]و همکاران، ۲۰۱۹).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه آفتابگردان در واکنش به تنش شوری و نقش پرایمینگ بذر با ویتامین U در رفتار جوانه‌زنی بذر آفتابگردان بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با ویتامین U (S- متیل متیونین) روی خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه آفتابگردان تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ با ۳ تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و سه سطح ویتامین U (شاهد (آب مقطر)، ۲و ۴ میلی‌مولار) انجام شد. ابتدا بذرها (تهیه شده از آذربایجان غربی شهر خوی تولید سال ۱۴۰۰) درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. 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[6]، ۲۰۱۳) و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) با سطوح مختلف به مقدار ۶ میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به‌مدت نه روز قرار داده شد. برای خشک کردن گیاهچه‌ها از آون با دمای ۷۲ درجه‌ی سلسیوس استفاده شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاهچه از ترازو با دقت یک‌هزارم، و اندازه‌گیری طول گیاهچه از خط‌کش با واحد سانتی‌متر استفاده شد.

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ (امیدی[7] و همکاران، ۲۰۱۴)، سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ (الیس و روبرتس[8]، ۱۹۸۰)، میانگین مدت جوانه‌زنی از رابطه ۳ (امیدی و همکاران، ۲۰۱۴)، میانگین جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۴ (هوگن‌بوم و پترسون[9]، ۱۹۸۷)، سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۵ (ماگویر[10]، ۱۹۶۲)، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه از رابطه‌های ۶ و ۷ (ابراهیمی[11]و همکاران، ۲۰۱۳) استفاده شد.

رابطه ۱: $GP^{12} = \frac{(N \times 100)}{M}$

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذرها

رابطه ۲: $GR^{13} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{ni}{Di}\right)$

[1] Piri
[2]Pagano
[3]McRorie
[4]Miret and Munne-Bosch
[5]Fodorpataki

[6]ISTA
[7]Omidi
[8]Ellis and Roberts
[9]Hoogenboom and Peterson
[10]Maguire
[11]Ebrahimi
[12]Germination Percentage
[13]Germination Rate

Si: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز، Di: تعداد روز تا شمارش nام

رابطه ۳: $MGT^{1} = \frac{\Sigma ni*ti}{\Sigma ni}$

t: زمان به روز، n: تعداد بذور جوانه‌زنی در روز iام

رابطه ۴: $MDG^{2} = \frac{GP}{Tx}$

PG: درصد جوانه‌زنی، Tx: تعدادروزهای آزمایش (طول دوره اجرای آزمایش)

رابطه ۵: $DGR^{3} = \frac{1}{MDG}$

MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه

رابطه ۶: $SLVI^{4} = SL\ (mm) \times GP\ /100$

GP: درصد جوانه‌زنی، SL: طول گیاه‌چه

رابطه ۷: $SWVI^{5} = SDW\ (g) \times GP/100$

GP: درصد جوانه‌زنی، SDW: وزن خشک گیاهچه

جهت تعیین فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت در آفتابگردان، گیاهچه‌ها در دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در داخل پتری درون ژرمیناتور به مدت ۹ روز رشد داده شدند و پس از باز شدن برگ‌های اولیه از هر تیمار پنج گیاهچه به تصادف 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 وزن شده 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 و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس در ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفوژ شدند. تمامی مراحل در روند تهیه عصاره آنزیمی در دمای ۴-۱ درجه‌ی سلسیوس انجام گرفت. جهت پیشگیری از انجماد و ذوب متوالی نمونه‌ها، سوپرناتانت حاصل به سه قسمت تقسیم شد و تا زمان اندازه‌گیری آنزیم‌های پاداکسیدانت در دمای ۲۰- درجه‌ی سلسیوس نگهداری شدند (سایرام[6] و همکاران، ۲۰۰۲).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز طبق روش (ابی[7]، ۱۹۸۴). اندازه‌گیری گردید. مواد شیمیایی مورد نیاز شامل ۰/۵ میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۷/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷) و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود که حجم نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به ۳ میلی‌لیتر رسانده شد. با افزودن پراکسید هیدروژن واکنش شروع گردید و تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر در مدت یک دقیقه ثبت شد. محلول جذب زمینه برای دستگاه شامل تمام موارد استفاده شده به جز عصاره آنزیمی استخراج شده بود. میزان پراکسید هیدروژن تجزیه شده با استفاده از ضریب خاموشی (ε= 39/4 $\mu M^{-1}c^{-1}m$) محاسبه و فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میکرومول پراکسید هیدروژن تجزیه شده در دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین بیان گردید.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز: سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز طبق روش (همدا و کلاین[8]، ۱۹۹۰) انجام شد. مخلوط واکنش شامل۲۵۰ میکرولیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۵۰ میکرولیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار محلول در آب دوبار تقطیر شده، ۳۴ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۷۰ میلی‌مولار محلول در فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۴۶۷ میکرولیتر آب دو بار تقطیر سترون شده و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم پراکسیداز بر حسب واحد میلی گرم بر پروتئین در دقیقه گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز: فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز بر اساس روش (جیانوپولیتیس و ریز[9]، ۱۹۷۷). مورد سنجش قرار گرفت. مخلوط واکنش شامل بافر ۰/۱ مول در لیتر فسفات (pH=۷/۸) به میزان ۳ میلی‌لیتر که حاوی ۱/۳ میکرومول در لیتر ریبوفلاوین، متیونین

[1]Mean Germination Time
[2]Mean Daily Germination
[3]Daily Germination Rate
[4]Seedling Length Vigor Index
[5]Seedling Weight Vigor Index
[6] Sairam

[7] Aebi
[8] Hemeda and Klein
[9]Giannopolitis and Ries

به میزان ۱۳ میلی‌مول در لیتر، نیتروبلوتترازولیوم به میزان ۶۳ میکرومولار و عصاره آنزیمی به میزان ۰/۱ میلی‌لیتر بود. نمونه بلانک در تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و نمونه‌های شاهد و عصاره آنزیمی در محفظه نوری با دو لامپ فلورسنت ۲۰W به مدت ۱۵ دقیقه و ۱۰۰ دور در دقیقه روی شیکر گذاشته شد. سپس، جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز بر حسب واحد میلی گرم بر پروتئین در دقیقه گزارش شد.

اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول: برای استخراج پروتئین محلول از ساقه‌چه از روش برادفورد[1] (۱۹۷۶) 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 ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد همراه با ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی مخلوط شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. عدد حاصل براساس میلی‌گرم برگرم وزن نمونه بذری محاسبه گردید.

سنجش میزان پرولین: سنجش میزان پرولین براساس روش باتیس[2] و همکاران (۱۹۷۳) انجام شد. در این روش ۰/۰۵ گرم از ریشه‌چه با ۵ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک له گردید. پس از صاف کردن با صافی از مخلوط همگن حاصل، ۲ میلی‌لیتر برداشته شد و بعد از اضافه کردن ۲ میلی‌لیتر معرف 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 به دست آمد.

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید: سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید براساس روش مک‌کوئی و شتی[3] (۲۰۰۲) انجام شد. در این روش، ۲۰۰ میلی‌لیتر از بافت هموژن با ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش مخلوط شد. سپس، ۵۰۰ میلی‌لیتر از تری‌کلرواستیک اسید۲۰ درصد با ۱ میلی‌لیتر از تیوباربیتوریک اسید ۱۰ میلی‌مولار مخلوط شد. لوله‌های آزمایش به انکوباتور ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت زمان ۳۰ دقیقه منتقل شدند. سپس، به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد و مقدار جذب روشناور در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت مالون دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل $155\ mM^{-1}cm^{-1}$ و معادله زیر استفاده شد، که در آن A جذب خوانده شد، ε ضریب خاموشی، Bعرض کووت و C غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میلی‌مولار بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$A = \varepsilon BC$$

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

نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی: در این تحقیق، بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۶/۶۷ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۷۱۸ بذر در روز) مربوط به غلظت ۴ میلی‌مولار ویتامین U بود و کم‌ترین مقدار درصد جوانه‌زنی (۶۵/۴۲ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۳۶۶ بذر در روز) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۱). البته تأثیر غلظت ۲ میلی‌مولار ویتامین U نیز روی درصد و سرعت جوانه‌زنی موثر بود (جدول ۱). با افزایش شوری درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۸۴/۲۲ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۶۷۸ بذر در روز) مربوط به شاهد و کم‌ترین درصد جوانه‌زنی

[1] Bradford
[2] Bates
[3] McCue and Shetty

(۶۴/۸۹ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۰/۳۷۲ بذر در روز) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۲). پرایمینگ با ویتامین U می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان مختلف شود (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲a؛ ۲۰۲۲b؛ فودورپاتاکی و همکاران، ۲۰۱۹).

توقف در شروع فرآیند جوانه‌زنی، جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد، ولی پرایمینگ به دلیل ترمیم آسیب‌های غشای سلولی و آغاز فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت درون بذر پس از شروع جذب آب به فرآیند جوانه‌زنی کمک می‌کند (موری و عیسوند[1]، ۲۰۱۹). تنش خشکی فیزیولوژیک حاصل از افزایش غلظت کلرید سدیم سرعت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. تنش شوری با کاهش جذب آب، پتانسیل آبی را کاهش داده و با کاهش جذب آب توسط بذر درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (رجبی دهنوی[2]و همکاران، ۲۰۲۰). در این تحقیق، پرایمینگ با افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانت سبب کاهش پراکسیداسیون لیپید طی جوانه‌زنی شده و درصد جوانه‌زنی را افزایش داد. همچنین، افزایش درصد جوانه‌زنی طی پرایمینگ تحت تنش شوری می‌تواند به دلیل فعال شدن آنزیم‌های آمیلاز و پروتئاز در طول دوره جوانه‌زنی باشد (زید[3]و همکاران، ۲۰۱۴). در طول پرایمینگ افزایش فعالیت‌های تنفسی، تولید ATP، تحریک فعالیت RNA و سنتز پروتئین تحت شرایط تنش سرعت و درصد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (چوژنوفسکی و کوما[4]، ۱۹۹۷). در واقع، پرایمینگ بذر می‌تواند درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را با فعال کردن برخی آنزیم‌ها در بذر افزایش دهد و دسترسی به مواد مغذی را در مرحله جوانه‌زنی آسان‌تر کند. بذرهای پرایم شده سریع‌تر جوانه‌زده و در شرایط تنش تحمل بیشتری دارند (بهراسمانی[5] و همکاران، ۲۰۲۴). از مهم‌ترین دلایل بهبود بذرهای پرایم شده در مقایسه با بذرهای غیر پرایم شده می‌توان به ترمیم سریع‌تر DNA، تولید RNA، فعال شدن آنزیم، گسترش سلولی، بیوسنتز پروتئین، حذف گونه‌های اکسیژن فعال و پیشرفت بیشتر در مراحل جوانه‌زنی اشاره کرد (ناسیمنتو و وست[6]، ۱۹۹۹). پرایمینگ بذر تنش متوسطی بر بذرها وارد می‌کند که باعث ایجاد یک واکنش تنش خاص در بذرها شده و به تحمل تنش در آینده کمک می‌کند. این امر تا قبل از جوانه‌زنی، متابولیسم بذر، تولید RNA، پاداکسیدان‌ها و سنتز پروتئین را فعال در نتیجه جوانه‌زنی و رشد مناسب بذر را تضمین می‌کند (فقه‌نبی[7] و همکاران، ۲۰۲۰). در این تحقیق، پرایمینگ بذر با ویتامین U با افزایش میزان فعالیت پاداکسیدانت‌ها از تأثیرات تنش شوری کاسته و باعث افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی شد. در واقع، پرایمینگ با افزایش پاداکسیدان‌های غیرآنزیمی نظیر گلوتاتیون و آسکوربات در بذر و ترمیم سلول‌های صدمه دیده، افزایش ساخت پروتئین‌ها، کاهش موانع رشد جنین و ایجاد دمایی مناسب برای جوانه‌زنی درصد و سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (اشرف[8]و همکاران، ۲۰۰۸؛ مددی[9]و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاتاد[10]و همکاران، ۲۰۰۹). در تحقیقی، پرایمینگ با ویتامین U تحت تنش شوری باعث افزایش سرعت و درصد جوانه‌زنی در گیاهچه سویا شد (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲a). شوری به دلیل اختلال در جذب آب باعث کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاه آفتابگردان می‌شود (شجیرات[11] و همکاران، ۲۰۲۱). در این صورت صورت بذر به دلیل کمبود رطوبت با خشکی فیزیولوژیکی مواجه می‌شود. گزارش‌ها نشان داده است که پرایمینگ صفات فیزیولوژیکی مانند درصد و سرعت جوانه‌زنی در آفتابگردان را افزایش می‌دهد (قوش و دوتا[12]، ۲۰۲۲).

[1] Moori and Eisvand
[2]Rajabi Dehnavi
[3]Zeid
[4]Chojnowski and Come
[5]Bahrasemani
[6]Nascimento and West
[7]Feghhenabi
[8]Ashraf
[9]Madady
[10]Patade
[11]Shajirat
[12]Ghosh and Dutta

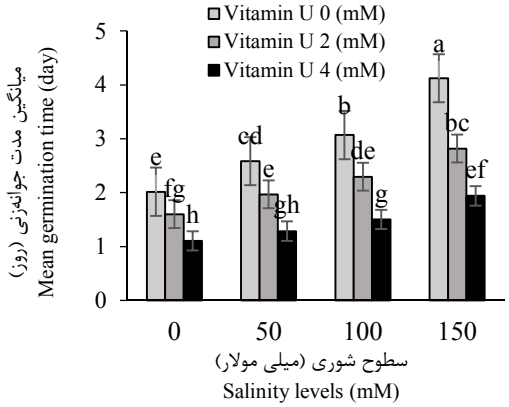
جدول ۱. مقایسه میانگین تأثیر ویتامین U و شوری روی شاخص‌های جوانه‌زنی در آفتابگردان

Table 1. Mean comparison for the effect of vitamin U and salinity on germination characteristics in sunflower

ویتامین U (میلی‌مولار) Vitamin U (mM)	سرعت جوانه‌زنی Germination rate (seed/day)	درصد جوانه‌زنی Germination percentage (%)	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	طول گیاهچه Seedling length(cm)
0	0.366 c	65.417 c	7.276 c	0.139 a	6.949 c
2	0.483 b	73.833 b	8.208 b	0.124 b	11.043 b
4	0.718 a	87.667 a	9.746 a	0.104 c	15.689 a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)					
0	0.678 a	84.222 a	9.379 a	0.108 c	14.086 a
50	0.561 b	79.000 b	8.778 b	0.116 bc	12.344 b
100	0.478 c	74.444 c	8.272 c	0.123 b	10.464 c
150	0.372 d	64.889 d	7.209 d	0.142 a	8.012 d

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

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل ویتامین U و شوری روی میانگین مدت جوانه‌زنی در آفتابگردان. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 1. Mean comparison for the interaction effect of vitamin U and salinity on mean germination time in sunflower; The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

میانگین مدت جوانه‌زنی: بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۴/۱۲۰ روز) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار آن (۱/۱۰۵ روز) در پرایمینگ با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار و سطح شاهد بود. البته غلظت ۲ میلی‌مولار ویتامین U در میانگین مدت جوانه‌زنی تأثیر گذاشت، اما تأثیر ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار بیشتر بود (شکل ۱). اثرات سوء تنش شوری بر نفوذپذیری غشا، تقسیم سلولی، سنتز پروتئین و فعالیت‌های آنزیمی، باعث افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی می‌شود (مرادی[1] و همکاران ۲۰۱۸؛ هاردگر و امریش[2]، ۱۹۹۰). پرایمینگ با ویتامین U میانگین مدت جوانه‌زنی را کاهش داد و این امر می‌تواند ناشی از افزایش سرعت تقسیم سلولی در بذرهای پرایم شده باشد. که در اثر ساخت DNA، RNA و پروتئین در طول پرایمینگ بذر بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی در جوانه‌زنی کامل شده و بذر جوانه می‌زند (فوتی[3] و همکاران، ۲۰۰۸؛ برانکالیون[4] و همکاران، ۲۰۰۸). طی پرایمینگ، تغییرات متابولیک و بیوشیمیایی به نفع جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد. برای نمونه، در این بذرهای پرایم شده، پروتئین‌ها و قندها بر اثر آنزیم‌ها و واکنش‌های هیدرولیزکننده شکسته شده و در فرآیند جوانه‌زنی استفاده می‌شوند. این امر سبب کاهش در میانگین مدت جوانه‌زنی می‌شود (بیتنکورت[5] و همکاران، ۲۰۰۵). تحقیقات نشان داده است که میانگین مدت جوانه‌زنی تحت تنش شوری به وسیله پرایمینگ در گیاهچه برنج افزایش می‌یابد (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c).

میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی روزانه: نتایج نشان داد بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۹/۷۴۶) مربوط به تیمار با ویتامین U با غلظت

[1]Moradi
[2]Hardegree and Emmerich
[3] Foti
[4] Brancalion
[5] Bittencourt

۴ میلی‌مولار و سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۳۹) مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) بود و کم‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۷/۲۷۶) در شاهد (آب مقطر) و سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۰۴) در پرایمینگ با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۱). غلظت ۲ میلی‌مولار ویتامین U نیز در میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی روزانه تأثیر داشت، اما تأثیر ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۱). با افزایش شوری میانگین جوانه‌زنی روزانه کاهش و سرعت جوانه‌زنی روزانه افزایش یافت. به طوری که بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۹/۳۷۹) مربوط به عدم استفاده از شوری و سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۴۲) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۱). سرعت جوانه‌زنی روزانه عکس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، با افزایش در میانگین جوانه‌زنی روزانه، سرعت جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ با ویتامین U 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، ۲۰۲۳d). میانگین جوانه‌زنی روزانه در طول پرایمینگ با ویتامین U افزایش یافت و از آنجایی که میانگین جوانه‌زنی روزانه از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره اجرای آزمایش به‌دست آید. پس افزایش درصد جوانه‌زنی طی پرایمینگ با ویتامین U منجر به افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه خواهد شد. در واقع، میانگین جوانه‌زنی روزانه بیان‌کننده مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر است. هر چه‌قدر میزان سرعت جوانه‌زنی روزانه بیشتر باشد به همان مقدار میانگین جوانه‌زنی روزانه و به تبع آن درصد جوانه‌زنی پایین خواهد بود (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳d).

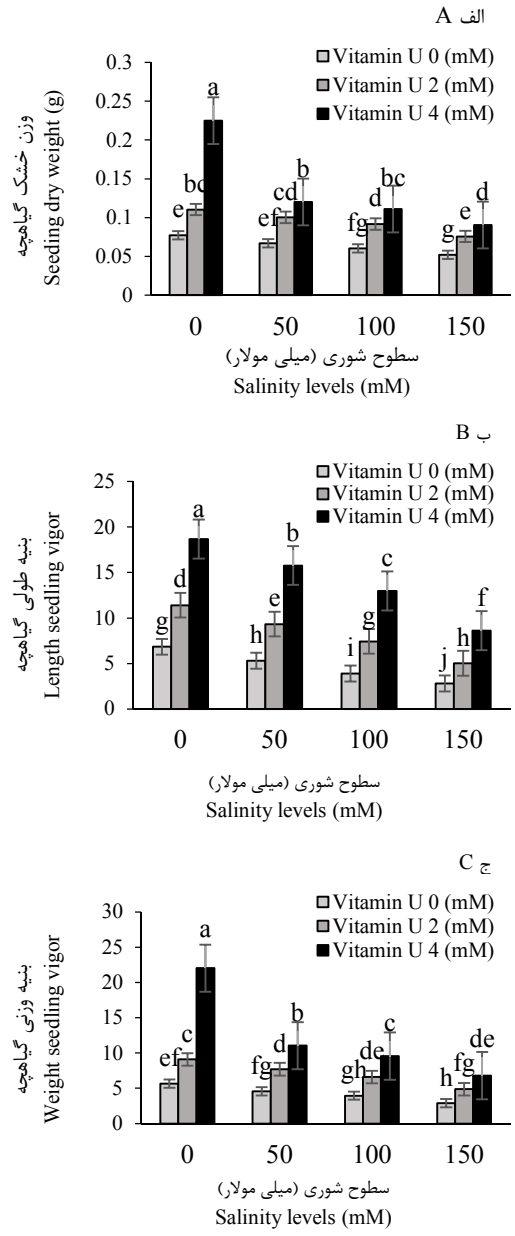
طول گیاهچه: براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین طول گیاهچه (۱۵/۶۸۹ سانتی‌متر) در تیمار با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۶/۹۴۹ سانتی‌متر) مربوط به تیمار شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۱). کاربرد ویتامین U با غلظت ۲ میلی‌مولار توانست طول گیاهچه را افزایش دهد. اما تأثیر ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۱). با افزایش شوری طول گیاهچه کاهش یافت، به طوری که بیش‌ترین طول گیاهچه (۱۴/۰۸۶ سانتی‌متر) مربوط به عدم استفاده از شوری و کم‌ترین آن (۸/۰۱۲ سانتی‌متر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۱). تنش شوری با کاهش جذب آب و عناصر غذایی رشد گیاهچه را کاهش می‌دهد (سیرکا[1] و همکاران، ۲۰۲۱). کاهش معنی‌دار طول گیاهچه گویای تأثیر منفی تنش شوری بر این صفت در آفتابگردان است. کاهش طول گیاهچه آفتابگردان تحت تنش شوری به نظر می‌رسد به علت سمیت یون‌ها و اثرات سوء آن‌ها بر غشای سلولی، فرایندهای متابولیکی و مسیرهای سیگنال‌دهی باشد به‌طوریکه شرایط را برای رشد گیاهچه محدود می‌کند (مفتحی‌زاده و رحمتی[2]، ۲۰۲۱). افزایش طول گیاهچه طی پرایمینگ به علت افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در جوانه‌زنی است و افزایش میزان مواد ذخیره‌ای بذر و طویل شدن گیاهچه بر اثر افزایش انرژی در بذرهای پرایم شده ارتباط دارد (کائور[3]و همکاران، ۲۰۰۶). طبق گزارش‌ها پرایمینگ با ویتامین U باعث افزایش طول گیاهچه سویا شد (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲a). تحقیقات نشان داده است که طی پرایمینگ طول گیاهچه در آفتابگردان افزایش می‌یابد (قوش و دوتا، ۲۰۲۲).

وزن خشک گیاهچه: نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه (۰/۲۲۵۰ گرم) مربوط به تیمار با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار و سطح بدون شوری و کم‌ترین مقدار این صفت (۰/۰۵۲۰ گرم) در تیمار شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. البته تأثیر غلظت ۲ میلی‌مولار ویتامین U نیز در وزن خشک گیاهچه موثر بود (شکل ۲الف). به نظر می‌رسد که کاهش وزن گیاهچه تحت تنش شوری به دلیل کاهش سنتز و فعالیت آنزیم‌های مؤثر در رشد و نمو بذر باشد چرا که شوری بیش از حد، سنتز و فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده ذخایر بذر

[1]Cirka
[2] Meftahizade and Rahmati
[3] Kaur

را متوقف می‌کند و بدین ترتیب بر وزن خشک گیاهچه اثر سوء خواهد گذاشت (کائور و همکاران، ۲۰۲۲). پرایمینگ بذر باعث ترمیم میتوکندری، سنتز آنزیم‌های هیدرولیز کننده، تنظیم پروتئین‌های تنشی، افزایش سامانه‌های دفاعی پاداکسیدانی، و اصلاح تجمع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (حسین[1] و همکاران ۲۰۱۹؛ ژنگ[2] و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاپرلا[3] و همکاران ۲۰۱۵؛ چن[4] و همکاران ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد که استفاده از ویتامین U در غلظت‌های مختلف با اثرات مضر ناشی از تنش شوری مقابله کرده و در نتیجه جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را بهبود می‌دهد، در نتیجه به تبع آن وزن خشک گیاهچه نیز افزایش خواهد یافت. افزایش وزن خشک گیاهچه طی پرایمینگ به دلیل افزایش ساخت آنزیم‌های هیدرولیتیک و افزایش میزان پویایی ذخایر بذر است (امیدی و همکاران، ۲۰۰۵؛ سیوریتپ[5] و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش وزن خشک گیاهچه تحت تنش شوری در این تحقیق، با نتایج مطالعه اثر پرایمینگ با ویتامین U بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه سویا تحت تنش شوری مطابقت داشت (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲a). گزارش شده است که هیدرو پرایمینگ، هالو پرایمینگ و پرایمینگ اسمزی وزن خشک گیاهچه را در آفتابگردان افزایش می‌دهد (قوش و دوتا، ۲۰۲۲).

شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه: پرایمینگ با ویتامین U با غلظت ۲ میلی‌مولار توانست روی شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه تأثیر بگذارد، اما تأثیر غلظت ۴ میلی‌مولار ویتامین U بیشتر بود. به طوری‌که بیش‌ترین شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه (به ترتیب ۱۸/۶۶۷ و ۲۲/۰۲۴) مربوط به تیمار با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار و بدون شوری کم‌ترین مقدار شاخص طولی بنیه گیاهچه (۲/۸۰۲) و شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۲/۸۷۹) در تیمار با ویتامین U ۴ میلی‌مولار و سطح بدون شوری به‌دست آمد (شکل ۲ ب، ج).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل ویتامین U و شوری روی وزن خشک گیاهچه (الف)، بنیه طولی گیاهچه (ب)، و بنیه وزنی گیاهچه (ج) در آفتابگردان. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 2. Mean comparison for the interaction effect of vitamin u and salinity on seedling dry weight (A), length seedling vigor (B), and weight seedling vigor (C) in sunflower; The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

[1] Hussain
[2] Zheng
[3] Paparella
[4] Chen
[5] Sivritepe

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر ویتامین U و شوری روی صفات بیوشیمیایی گیاهچه آفتابگردان

Table 2. Mean comparison for the effect of vitamin U and salinity on biochemical traits in sunflower seedling

ویتامین U (میلی‌مولار) Vitamin U (mM)	کاتالاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Catalase (units mg^{-1} protein)	پراکسیداز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Peroxidase (units mg^{-1} protein)	سوپراکسید دیسمیوتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Superoxide dismutase (units mg^{-1} protein)	پروتئین (میلی‌گرم برگرم وزن تر) Protein (mg/g FW)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) Proline ($\mu mol\ g^{-1}$ FW)
0	0.865 c	0.606 a	0.601 c	0.389 c	3.273 c
2	0.971 b	0.440 b	0.678 b	0.432 b	4.751 b
4	1.026 a	0.607 a	0.776 a	0.481a	6.121a
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)					
0	0.919 c	0.655 c	0.446 a	0.477 a	3.849 b
50	0.927 bc	0.680 b	0.459 a	0.453 b	4.348 b
100	0.961 b	0.694 ab	0.472 a	0.421 c	5.036 a
150	1.008 a	0.710 a	0.486 a	0.384 d	5.625 a

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

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

افزایش شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه در پرایمینگ با ویتامین U، به دلیل افزایش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه است که سبب افزایش تعداد کل بذرهای جوانه‌زده و طول گیاهچه می‌شود. شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه، حاصل‌ضرب درصد جوانه‌زنی با طول و وزن خشک گیاهچه است. بنابراین، افزایش در این صفات موجب افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه می‌گردد. در واقع، علت اصلی افزایش شاخص‌های بنیه گیاهچه تحت پرایمینگ با ویتامین U می‌تواند ناشی از تحرک ذخایر غذایی، سنتز و فعالیت آنزیم‌ها، ترمیم RNA و DNA، ساخت پروتئین و تقسیم سلول‌های جنینی و از بین بردن عوامل محدود کننده جوانه‌زنی در طول پرایمینگ است (بسرا[1] و همکاران، ۲۰۰۳؛ ونتورا[2] و همکاران، ۲۰۱۲). تحقیقات نشان داده است که تیمار با ویتامین U به‌دلیل تأثیر هم‌افزایی روی پرکسید هیدروژن، سرعت انتقال پروتئین‌های ذخیره‌ای به جنین در حال رشد شده را افزایش داده و سبب افزایش بنیه گیاهچه می‌شود (کیاو[3] و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش شاخص‌های بنیه گیاهچه طی پرایمینگ تحت تنش شوری در گیاه توسط سعادت و همکاران نیز گزارش شده است (۲۰۲۳a؛ ۲۰۲۳b).

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز: نتایج نشان داد که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز (به ترتیب، ۱/۰۲۶، ۰/۶۰۷ و ۰/۷۷۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) در پرایمینگ با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار این صفات به ترتیب، ۰/۸۶۵، ۰/۶۰۶ و ۰/۶۰۱ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۲). البته کاربرد ویتامین U با غلظت ۲ میلی‌مولار توانست فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت را افزایش دهد. اما تأثیر ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۲). افزایش شوری فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت را افزایش داد، به طوری که بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت به ترتیب، ۱/۰۰۸، ۰/۷۱۰، ۰/۴۸۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۲). آنزیم‌های پاداکسیدانت از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز از اجزای اصلی آنزیمی برای کاهش تنش اکسیداتیو هستند. در مطالعه حاضر، آنزیم‌های پاداکسیدانت به دلیل پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای مهار اکسیداسیون خودبخود تحت

[1]Basra
[2]Ventura
[3]Qiao

تنش شوری افزایش می‌یابند. آنزیم سوپراکسید دیسمیوتاز در درجه اول رادیکال سوپراکسید درون سلولی (O^{-}_{2}) را به پراکسید هیدروژن (H_2O_2) تبدیل می‌کند و پراکسید هیدروژن تولید شده از سم‌زدایی توسط کاتالاز به مولکول آب تجزیه می‌شود (کالیتا[1] و همکاران، ۲۰۱۸). فعالیت آنزیم کاتالاز در جهت فعالیت آنزیم پراکسیداز است. کاتالاز از مهم‌ترین آنزیم‌های جاروب کننده پراکسید هیدروژن در شرایط تنش شوری به حساب می‌آیند (گومز[2] و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانت تحت تنش به‌طور قابل توجهی به افزایش تحمل تنش در گیاه کمک می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۱۵). در این مطالعه، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز نشان داد که ویتامین U در برابر گونه‌های فعال اکسیژن مؤثر است و به گیاهان در به حداقل رساندن آسیب اکسیداتیو تحت شرایط شوری کمک می‌کند (رشیدی‌فرد[3] و همکاران، ۲۰۲۱). پرایمینگ در بهبود بیوسنتز آنزیم‌های پاداکسیدانت کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز به عنوان عاملی حیاتی در حفاظت از ساختار غشا عمل می‌کند و در نهایت بقای گیاهان در شرایط تنش افزایش می‌دهد (یاسر[4] و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانت در اثر تنش شوری در گیاهان مختلف نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳b؛ c ۲۰۲۳). مطالعات نشان داده است که پرایمینگ فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت را برای از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن تسریع می‌کند و توانایی تحمل تنش در گیاهچه‌ها را افزایش می دهد (سن و پوتور[5]، ۲۰۲۰). افزایش آنزیم‌های پاداکسیدانت از جمله کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسمیوتاز در پرایمینگ با ویتامین U تحت تنش شوری در گیاهچه سویا گزارش شده است (مومنی و همکاران، ۲۰۲۲b). در تحقیق دیگر پرایمینگ فعالیت آنزیم پاداکسیدانت از جمله پراکسیداز را در آفتابگردان افزایش داد (قوش و دوتا، ۲۰۲۲)، که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

میزان پروتئین و پرولین: همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار پروتئین (۰/۴۸۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و پرولین (۶/۱۲۱ میکرومول بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار با ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار است و کم‌ترین میزان پروتئین (۰/۳۸۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و پرولین (۳/۲۷۳ میکرومول بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) به‌دست آمد (جدول ۲). پرایمینگ با ویتامین U با غلظت ۲ میلی‌مولار نیز توانست روی میزان پروتئین و پرولین تاثیر بگذارد، اما تأثیر غلظت ۴ میلی‌مولار ویتامین U بیشتر بود (جدول ۲). با افزایش شوری میزان پروتئین کاهش و پرولین افزایش یافت. به‌طوری که بیش‌ترین میزان پروتئین (۰/۴۷۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به عدم استفاده از شوری و مقدار پرولین (۵/۶۲۵ میکرومول بر گرم وزن تر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۲). تنش اکسیداتیو ناشی از شوری از طریق تولید و تشدید گونه‌های فعال اکسیژن به مولکول‌های اصلی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، آنزیم‌ها و DNA آسیب می‌رساند (ساچدف[6] و همکاران، ۲۰۲۱؛ هوک[7] و همکاران، ۲۰۲۲). طی شوری، یون‌هایی نظیر کلر و سدیم به درون لایه‌های هیدراسیونی پروتئین‌ها نفوذ کرده و در سنتز پروتئین‌ها اختلال ایجاد می‌کنند (تمام[8] و همکاران، ۲۰۰۸). در واقع، دناتوره شدن و آسیب‌های بازگشت ناپذیر به ساختار پروتئین‌ها در حمله رادیکال‌های آزاد در طول تنش میزان پروتئین را کاهش می‌دهد (کاپور[9] و همکاران، ۲۰۱۰). کاهش در محتوای پروتئین تحت تنش می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌هایی نظیر نیترات ردکتاز و گلوتامین سنتتاز باشد. افزایش پروتئین در تیمار با ویتامین U می‌تواند به دلیل ساخت پروتئین‌هایی مانند دهیدرین‌ها، پروتئین‌های شوک حرارتی و آنزیم‌های پاداکسیدانت باشد و احتمالا ویتامین U از تخریب

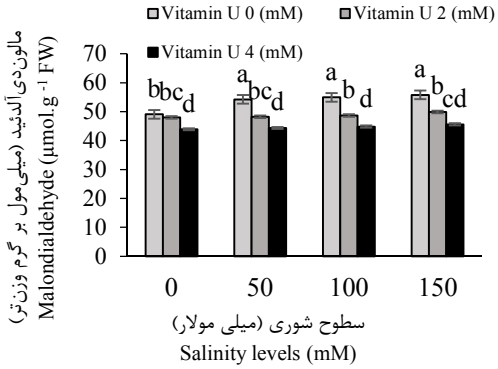
[1] Kalita
[2] Gomes
[3] Rashidifard
[4] Yasir
[5] Sen and Puthur
[6] Sachdev
[7] Hoque
[8] Tammam
[9] Kapoor

پروتئین‌ها به‌وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده و در نهایت میزان پروتئین را افزایش می‌دهد (لندی[1]و همکاران، ۲۰۱۹). پرایمینگ بذر تحت تنش با افزایش تولید پروتئین‌های شوک حرارتی از دناتوره شدن پروتئین جلوگیری می‌کند (چاکرابورتی و بوردولوئی[2]، ۲۰۲۱). گزارش شده است که تحت تنش شوری پرایمینگ باعث افزایش محتوای کل پروتئین در لوبیا و آفتابگردان گردید (قوش و دوتا، ۲۰۲۲; سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a).

یکی از سازوکارهای تحمل شوری در گیاه، تجمع اسمولیت‌هایی از جمله پرولین آزاد است (صدیقی[3]و همکاران، ۲۰۱۷). پرولین نقش پاداکسیدانی در سلول‌های تحت تنش دارد و با تجمع در سیتوپلاسم سلول‌ها با کاهش پتانسیل اسمزی درون سلولی از تجمع نمک را در واکوئل جلوگیری می‌کند (اخخا[4]و همکاران، ۲۰۱۱). گیاهان در معرض تنش شوری، پرولین را به عنوان پاک کننده گونه‌های فعال اکسیژن و تنظیم کننده اسمزی تجمع می‌دهند (چون[5] و همکاران، ۲۰۱۸). تنش شوری به دلیل بیوسنتز پرولین، کاهش در اکسیداسیون یا مصرف آن در ساخت پروتئین‌ها، محتوای پرولین را افزایش می‌دهد (خان[6] و همکاران، ۲۰۱۰). در واقع، افزایش این صفت تحت تنش شوری ناشی از فعال شدن آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحت تنش شوری و سنتز پرولین است. زیرا شوری ژن‌های سنتزکننده این آنزیم‌ها را تحریک می‌کند (دهقان[7]و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش پرولین طی پرایمینگ با ویتامین U می‌تواند به علت کاهش اکسیداسیون پرولین به گلوتامات، القای بیوسنتز پرولین و یا کاهش بیوسنتز پروتئین باشد (هیدانگمایوم[8]و همکاران، ۲۰۱۹). از لحاظ ژنتیکی افزایش پرولین طی پرایمینگ با ویتامین U ممکن است مرتبط به تنظیم بالادست، ژن‌های بیوسنتز پرولین نظیر گلوتامیل کیناز و گلوتامات -۵- سمی آلدئید دهیدروژناز باشد که سبب ساخت پرولین از گلوتامات می‌شود (علی[9]و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش غلظت پرولین با کاهش پتانسیل آب، تنظیم اسمزی و تحریک آمیلاز، آسیب تنش به سلول‌های گیاهی را کاهش می‌دهد (حسین و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، افزایش محتوای پرولین و فعالیت پاداکسیدانتی تحت تنش با سم زدایی گونه‌های اکسیژن فعال تولید شده در شرایط تنش موجب کاهش تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (رشیدی‌فرد و همکاران، ۲۰۲۱). تحقیقات سعادت و همکاران (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳b) نشان داده است که پرولین تحت تنش شوری افزایش می‌یابد.

مقدار مالون دی‌آلدئید: براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین مالون دی‌آلدئید (۵۵/۸۰۶ میلی‌مولار بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۴۳/۸۹۳ میلی‌مولار بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار ویتامین U ۴ میلی‌مولار و سطح بدون شوری مشاهده شد. غلظت ۲ میلی‌مولار ویتامین U نیز در مالون دی‌آلدئید اثر گذاشت، اما تأثیر ویتامین U با غلظت ۴ میلی‌مولار بیشتر بود (شکل ۳). مالون دی‌آلدئید یک نشانگر زیستی پراکسیداسیون لیپیدی است و آسیب غشای ناشی تنش اکسیداتیو را مشخص می‌کند. تنش، میزان مالون دی‌آلدئید را از طریق تولید رادیکال‌های آزاد افزایش داده و موجب آسیب به لیپیدها، پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (ساچدف و همکاران، ۲۰۲۱). طی تنش شوری، چندین مشکل سلولی مانند آسیب غشاء و کاهش شاخص پایداری غشا رخ می‌دهد (علی و حسین، ۲۰۱۸). در این تحقیق، ویتامین U محتوای مالون دی‌آلدئید را در بذر آفتابگردان که در معرض سطوح مختلف شوری بودند کاهش داد. در مطالعه حاضر، کاهش میزان مالون دی‌آلدئید طی پرایمینگ می‌تواند به دلیل توانایی ویتامین U در جلوگیری از تولید رادیکال‌های آزاد باشد، زیرا این رادیکال‌های آزاد با ایجاد پراکسیداسیون لیپیدها، سنتز ماکرومولکول‌های غشای سلولی و

[1] Landi
[2] Chakraborty and Bordolui
[3] Siddiqui
[4] Akhkha
[5] Chun
[6] Khan
[7] Dehghan
[8] Hidangmayum
[9] Ali



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ویتامین U و شوری روی مالون دی‌آلدئید در آفتابگردان. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 3. Mean comparison for the interaction effect of vitamin u and salinity on malondialdehyde in sunflower; The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level.

سیتوپلاسم را تغییر می‌دهند. افزایش مالون دی‌آلدئید طی تنش شوری و کاهش آن طی پرایمینگ در تحقیق روی گیاه لوبیا گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳b).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد و کیفیت گیاهچه‌های آفتابگردان شد و با افزایش شدت تنش شوری، رشد گیاهچه و محتوای کل پروتئین کاهش و محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم پاداکسیدانت افزایش یافت. پرایمینگ با سطوح مختلف ویتامین U به‌ویژه سطح ۴ میلی مولار در افزایش قابلیت جوانه‌زنی و همچنین مقابله با تنش شوری، در صفات میانگین مدت جوانه‌زنی، وزن خشک گیاهچه و شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه موثرتر از هیدرو پرایمینگ عمل کرده و اثرات مخرب حاصل از تنش شوری را کاهش داد. همچنین، پرایمینگ بذر آفتابگردان با ویتامین U روند افزایشی محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های پاداکسیدانت را در پی داشت. بنابراین، اعمال پرایمینگ با ویتامین U برای مقابله و کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری در برخی صفات جوانه‌زنی بذر آفتابگردان قابل توصیه است.

منابع

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods in Enzymology, 105: 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3

Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M.A., Khalid, M.F., Saqib, M., Zakir, I., Hassan, A., Fahad, S. and Ahmad, S. 2019. Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress. In: Hasanuzzaman, M., Hakeem, K., Nahar, K. and Alharby, H. (eds.). Springer Press, Plant Abiotic Stress Tolerance Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches, pp. 191-205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_8

Akhkha, A., Boutra, T. and Alhejely, A. 2011. The rates of photosynthesis, chlorophyll content, dark respiration, proline and abscisic acid (ABA) in wheat (*Triticum durum*) under water deficit conditions. International Journal of Agriculture and Biology, 13(2): 15-221.

Ali, E.F. and Hassan, F.A.S. 2018. β-Aminobutyric acid raises salt tolerance and reorganises some physiological characters in *Calendula officinalis* L. plant. Annual Research & Review in Biology, 30(5): 1-16. https://doi.org/10.9734/arrb/2018/v30i530027

Ali, M., Afzal, S., Parveen, A., Kamran, M., Javed, M.R., Abbasi, G.H., Malik, Z., Riaz, M., Ahmad, S. and Chattha, M.S. 2021. Silicon mediated improvement in the growth and ion homeostasis by decreasing Na+ uptake in maize (*Zea mays* L.) cultivars exposed to salinity stress. Plant Physiology and Biochemistry, 158: 208-218. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.040

Ashraf, M., Athar, H.R., Harris P.J.C. and Kwon, T.R. 2008. Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. Advances in Agronomy, 97: 45-110. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)00002-8

Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S.H. and 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.

Basra, S.M.A., Pannu, I.A. and Afzal, I. 2003. Evaluation of seed vigor of hydro and matriprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. International Journal of Agricultural Biology, 5(2): 121- 123.

Bates, L.S., Waldern, R.P. and Tear, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Bittencourt, M.L.C., Dias, D.C., Dias, L.A. and Araújo, E.F. 2005. Germination and vigour of primed Asparagus seeds. Scientia Agricola, 62(4): 319-324. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400003

Bradford, M.M. 1976. Rapid A 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

Brancalion, P.H.S., Novembre, D.L.C., Rodrigues, R.R. and Tay, D. 2008. Priming of Mimosa bimucronata seeds: A tropical tree species from Brazil. Acta Horticulturae, 82: 163-168. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.782.18

Chakraborty, A. and Bordolui, S.K. 2021. Impact of seed priming with Ag-nanoparticle and GA3 on germination and vigour in green gram. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 10(3): 941-950.

Chen. K., Fessehaie, A. and Arora, R. 2013. Aquaporin expression during seed osmopriming and post-priming germination in spinach. Plant Biology, 57: 193-198. https://doi.org/10.1007/s10535-012-0266-0

Chojnowski, F.C. and Come, D. 1997. Physiological and biochemical changes induced in sunflower seeds by osmopriming and subsequent drying, storage and aging. Seed Science Research, 7: 323-331. https://doi.org/10.1017/S096025850000372X

Chun, S.C., Paramasivan, M. and Chandrasekaran, M. 2018. Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. Journal of Frontiers in Microbiology, 9: 2525. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02525

Cirka, M., Kaya, A.R., and 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

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

Devika, O.S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J. and Rakshit, A. 2021. Seed priming: a potential supplement in integrated resource management under fragile intensive ecosystems. Frontiers in Sustainable Food Systems, 5: 654001. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.654001

Diovisalvi, N., Calvo, N.R., Izquierdo, N., Echeverria, H., Divito, G.A. and Garcia, F. 2018. Effects of genotype and nitrogen availability on grain yield and quality in sunflower. Agronomy Journal, 110: 1532-1543. https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0435

Ebrahimi, O., Esmaili, M.M., Sabori, H. and 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].

Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J. and Arora, N.K. 2019. Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. Frontiers in Microbiology, 10: 2791. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02791

Ellis, R.H. and Roberts, E.H. 1980. Seed physiology and seed quality in soybean. Advances in Legume Science, 287-311.

Faisal, F., Muhamamd Aamir, I., Aydemir, S.K., Hamid, A., Rahim, N., El Sabagh, A., Khaliq, A. and Siddiqui, M.H. 2020. Exogenously foliage applied micronutrients efficacious impact on achene yield of sunflower under temperate conditions. Pakistan Journal of Botany, 52(4): 1215-1221. https://doi.org/10.30848/PJB2020-4(33)

Fazeli-Nasab, B., Khajeh, H., Piri, R. and Moradian, Z. 2023. Effect of humic acid on germination characteristics of *Lallemantia royleana* and *Cyamopsis tetragonoloba* under salinity stress. Iranian Journal of Seed Research, 9(2): 51-62. [In Persian]. https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.51

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H. and Van Genuchten, M.T. 2020. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Water Management, 231: 106022. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106022

Fodorpataki, L., Molnar, K., Tompa, B. and Plugaru, S.R. 2019. Priming with vitamin U enhances cold tolerance of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 47(3): 592-598. https://doi.org/10.15835/nbha47311433

Foti, R., Abureni, K., Tigere, A., Gotosa, J. and Gere, J. 2008. The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays* L.) caryopses. Journal of Arid Environments, 72: 1127-1130. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.11.008

Ghosh, P.K. and Dutta, A. 2022. Pattern of seed development in sunflower (*Helianthus annuus* L.) as influenced by seed priming. The Pharma Innovation, 11(7): 322-326.

Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. Journal of Plant Physiology, 59: 309-314. https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309

Gomes, D.G., Pelegrino, M.T., Ferreira, A.S., Bazzo, H.B., Zucareli, C., B Seabra, A.B. and 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

Habib, N., Ali, Q., Ali, S., Haider, M.Z., Javed, M.T., Khalid, M., Perveen, R., Alsahli, A.A. and Alyemeni, M.N. 2021. Seed priming with sodium nitroprusside and H_2O_2 confers better yield in wheat under salinity: Water relations, antioxidative defense mechanism and ion homeostasis. Journal of Plant Growth Regulation, 40: 2433-2453. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10378-3

Hardegree, S.P. and Emmerich, W.E. 1990. Partitioning water potential and specific salt effects on seed germination of four grasses. Annals of Botany, 66(5): 587-595. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088068

Hemeda, H.M. and 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

Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D. and Hemantaranjan, A. 2019. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. Physiology and Molecular Biology of Plants, 25: 313-326. https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1

Hoogenboom, G. and 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;

Hoque, M.N., Imran, S., Hannan, A., Paul, N.C., Mahamud, M.A., Chakrobortty, J. and Rhaman, M .S. 2022. Organic amendments for mitigation of salinity stress in plants: A review. Life, 12: 1632. https://doi.org/10.3390/life12101632

Hussain, S., Hussain, S., Khaliq, A., Ali, S. and Khan, I .2019. Physiological, biochemical, and molecular aspects of seed priming. Priming and pretreatment of seeds and seedlings. Springer Press, Singapore, pp. 43-62. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8625-1_3

Hussain, S., Khan, F., Hussain, H.A. and Nie, L. 2016. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. Frontiers in Plant Science, 7: 116. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00116

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

Javed, S. A., Shahzad, S. M., Ashraf, M., Kausar, R., Arif, M. S., Albasher, G., Rizwana, H. and Shakoor, A. 2022. Interactive effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis and seed quality of maize. Chemosphere, 291: 132678. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132678

Kalita, J., Pradhan, A.K., Shandilya, Z.M., Tanti, B. 2018. Arsenic stress responses and tolerance in rice: physiological, cellular and molecular approaches. Rice Science, 25: 235-249. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.06.007

Kapoor, N., Aria, A., Siddiqui, M.A., Amir, A. and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. Asian Journal of Plant Sciences, 9: 158-162. https://doi.org/10.3923/ajps.2010.158.162

Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2006. Effect of hydro and osmopriming of chickpea (*Cicer arientinum* 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

Kaur, S., Suhalia, A., Sarlach, R.S., Mohd, S., Pritpal, S., Gomti, G., Anureet, B. and Achla, S. 2022. Uncovering the Iranian wheat landraces for salinity stress tolerance at early stages of plant growth. Cereal Research Communications, 56: 6-13.

Khan, M.U., Shirazi, M.A., Khan, S.M. and Mujtaba, E. 2010. Role of proline, K/Na ratio and chlorophyll content in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum*). Pakistan Journal of Botany, 41(2): 633-638.

Landi. S., Capasso, G., Ben Azaiez, F.E. and Jallouli, S. 2019. Different roles of heat shock proteins (70 kDa) during abiotic stresses in barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. Plants, 8(8): 248-267. https://doi.org/10.3390/plants8080248

Lei, C., Bagavathiannan, M., Wang, H., Sharpe, S.M., Meng, W. and Yu, J. 2021. Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: A Review. Agronomy, 11(11): 2194. https://doi.org/10.3390/agronomy11112194

Li, J., Liu, A., Najeeb, U., Zhou, W., Liu, H., Yan, G. and Xu, L. 2021a. Genome-wide investigation and expression analysis of membrane-bound fatty acid desaturase genes under different biotic and abiotic stresses in sunflower (*Helianthus annuus* L.). International Journal of Biological Macromolecules, 175: 188-198. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.013

Li, S., Tan, H.Y., Wang, N., Zhang, Z.J. and Lao, L. 2015. The role of oxidative stress and antioxidants in liver diseases. International Journal of Molecular Sciences, 16(11): 26087-26124. https://doi.org/10.3390/ijms161125942

Li, W., Zeng, Y., Yin, F., Wei, R. and Mao, X. 2021b. Genome-wide identification and comprehensive analysis of the NAC transcription factor family in sunflower during salt and drought stress. Scientific Reports, 11(1): 19865. https://doi.org/10.1038/s41598-021-98107-4

Madady, M., Khomari, S., Javadi, A. and Sofalian, A. 2016. The effect of priming with calcium nitrate and zinc oxide on seed germination and seedling growth of corn cockle under salinity stress. Journal of Plant Process and Function, 5(15): 169-179. [In Persian].

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

McCue, P. and Shetty, K. 2002. A biochemical analysis of mungbean (*Vigna radiata*) response to microbial polysaccharides and potential phenolic enhancing effects for nutraceutical applications. Food Biotech, 16: 57-79. https://doi.org/10.1081/FBT-120004201

McRorie, R.A., Sutherland, G.L., Lewis, G., Barton, M.S. and Glazener, M.R. 1954. Isolation and identification of a naturally occurring analog of methionine. Journal of the American Chemical Society, 76: 115-118. https://doi.org/10.1021/ja01630a032

Meftahizade, H. and Rahmati, 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].

Miladinović, D., Hladni, N., Radanović, A., Jocić, S. and Cvejić, S. 2019. Sunflower and climate change: possibilities of adaptation through breeding and genomic selection. Genomic Designing of Climate-Smart Oilseed Crops, 173-238. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93536-2_4

Miret, J.A. and Munne-Bosch, S. 2014. Plant amino acid-derived vitamins: biosynthesis and function. Amino Acids, 46: 809-824. https://doi.org/10.1007/s00726-013-1653-3

Momeni, S., Sedgi, M., Seyed Sharifi, R. and Saadat, H. 2022a. The effect of priming with vitamin U on germination and growth indicators of soybean seedlings under salt stress. P. 1-8. 6th National Conference on Innovation in Agriculture, 23 Feb. Animal Sciences and Veterinary Medicine, Tehran, Iran. [In Persian].

Momeni, S., Sedgi, M., Seyed Sharifi, R. and Saadat, H. 2022b. The effect of priming with vitamin U on the activity of antioxidant and hydrolytic enzymes of soybean seed under salt stress. P. 1-8. 6th National Conference on Innovation in Agriculture, 23 Feb. Animal Sciences and Veterinary Medicine, Tehran, Iran. [In Persian].

Moori, S. and Eisvand, H.R. 2019. The effect of priming with salicylic acid and ascorbic acid on germination indices and biochemical traits in wheat seed deterioration. Iranian Journal of Seed Sciences and Research, 6(3): 381-398. [In Persian].

Moradi, A., Hoseini-moghadam, M. and Piri, R. 2018. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobactria (PGPR) on some germination, biochemical indices and element contents of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 49(3): 151-165. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.247787.654420

Nascimento, W.M. and West, S.H. 1999. Muskmelon transplant production in response to seed priming. HortTechnology, 9: 35-55. https://doi.org/10.21273/HORTTECH.9.1.53

Omidi, H., Leyla, J. and Hasanali, N. 2014. Seeds of medicinal plants and crops. Natural Resources and Environment, 269-189.

Omidi, H., Sorushzadeh, A., Salehi, A. and Ghezeli, F. 2005. Evaluation of Priming pretreatments on germination rapeseed. Agricultural Science and Technology, 19(2): 1-10. [In Persian].

Pagano, A., Macovei, A. and Balestrazzi, A. 2023. Molecular dynamics of seed priming at the crossroads between basic and applied research. Plant Cell Reports, 42: 657-688. https://doi.org/10.1007/s00299-023-02988-w

Paparella, S., Araújo, S.S., Rossi, G, Wijayasinghe, M., Carbonera, D. and Balestrazzi, A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. Plant Cell Reports, 34: 1281-1293. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y

Patade, V.Y., Bhargava, S. and Suqruasanna. P. 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. Agricultural Ecology and Environment, 134: 24-28. https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.07.003

Piri, R., Moradi, A., Salehi, A. and Balouchi, H. R. 2021. Effect of seed biological pretreatments on germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 9(4): 11-26. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/ijsst.2019.109182.1054

Primo, D.C., Menezes, R.S.C., de Oliveir, F.F., Dubeux Júnior, J.C.B. and Sampaio, E.V.S. 2018. Timing and placement of cattle manure and/or gliricidia affects cotton and sunflower nutrient accumulation and biomass productivity. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 90(1): 415-423. https://doi.org/10.1590/0001-3765201820150841

Qiao, W., Li, C. and 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

Ragaey, M.M., Sadak, M.S., Dawood, M.F.A., Mousa, N.H.S., Hanafy, R.S. and Latef, A.A.H.A. 2022. Role of signaling molecules sodium nitroprusside and arginine in alleviating salt-induced oxidative stress in wheat. Plants, 11: 1786. https://doi.org/10.3390/plants11141786

Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M. and Ludwiczak, A. 2020. Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. Agronomy, 10(6): 859. https://doi.org/10.3390/agronomy10060859

Rashidifard, A., Chorom, M., Norozi Masir, M. and Roshanfekr, H. 2021. Effect of seed priming by humic acid and zinc on some morphophysiological traits of maize (*Zea mays* L.) seedlings under saline conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 14 (4): 115-1125. [In Persian].

Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y. and Hasanuzzaman, M. 2020. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. Plants, 10(37): 5772-5787. https://doi.org/10.3390/plants10010037

Rhaman, M.S., Rauf, F., Tania, S.S., Karim, M.M., Sagar, A., Robin, A.H.K. and Murata, Y. 2021. Seed priming and exogenous application of salicylic acid enhance growth and productivity of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) by regulating photosynthetic attributes. Journal of Experimental Agriculture International, 9: 759-769. https://doi.org/10.18006/2021.9(6).759.769

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023a. The effect of priming with different levels of chitosan on physiological and biochemical traits in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress. Plant Production Technology, 14(2):75-89. [In Persian]. https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.21

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R. and Farzaneh, S. 2023b. 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. [In Persian].

Saadat, H., Soltani, E. and Sedghi, M. 2023c. 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. and Farzaneh, S. 2023d. 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. and Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. Antioxidants, 10(2): 277-300. https://doi.org/10.3390/antiox10020277

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

Sen, A. and Puthur, J.T. 2020. Influence of different seed priming techniques on oxidative and antioxidative responses during the germination of *Oryza sativa* varieties. Physiology and Molecular Biology of Plants, 26 (3): 551-565. https://doi.org/10.1007/s12298-019-00750-9

Shajirat, A., Mahla, R., Maskerbashi, M. and Roshanfekr, H., 2021. The effect of hormonal priming on germination indices of sunflower (*Helianthus annuus* L) under salt stress, 7th National Congress and 3rd International Congress of Agricultural Sciences and Breeding Plants of Iran, 5-7 Feb, Kerman, Iran. [In Persian].

Siddiqui, M.N., Mostofa, M.G., Akter, M.M., Srivastava, A.K., Sayed, M.A., Hasan, M.S. and Tran, L.S.P. 2017. Impact of salt induced toxicity on growth and yield-potential of local wheat cultivars: Oxidative stress and ion toxicity are among the major determinant of salt-tolerant capacity. Chemosphere, 187: 385-394. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.078

Simões, W.L., Silva, J.S., Oliveira, A.R., Neto, A.R., Drumond, M.A., Limas, J.A. and Nascimento, B.R. 2020. Sunflower cultivation under different irrigation systems and planting spacings in the sub-iddle region of São Francisco Valley. Ciências Agrárias, 41(2): 2899-2910. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6Supl2p2899

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

Tammam, A.A., Alhamd, M.F.A. and Hemeda, M.M. 2008. Study of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar Banysoif. Australian Journal of Crop Science, 1: 115-125.

Tania, S.S., Rhaman, M.S. and Hossain, M.M. 2020. Hydro-priming and halopriming improve seed germination, yield and yield contributing characters of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Tropical Plant Research, 7(1): 86-93. https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i1.012

Ventura, L., Donà, M., Macovei, A., Carbonera, D., Buttafava, A., Mondoni, A., Rossi, G. and 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

Yasir, T.A., Muhammad Ateeq, M., Wasaya, A., Hussain, M., Sarwar, N., Khura Mubeen, K., Aziz, M., Iqbal, M.A., Ogbaga, C., Al-Ashkar, I., Md Atikur, R. and El Sabagh, A. 2023. Seed priming and foliar supplementation with β-aminobutyric acid alleviates drought stress through mitigation of oxidative stress and enhancement of antioxidant defense in linseed (*Linum usitatissimum* L.). Phyton, 92(11): 3114-3131. https://doi.org/10.32604/phyton.2023.029502

Zahra, N., Sulaiman, M., Hinai, A., Hafeez, M.B., Rehman, A., Wahid, A., Siddique, K.H.M. and Farooq, M. 2022. Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. Plant Physiology and Biochemistry, 178: 55-69. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003

Zeid, I.M. 2004. Responses of been (*Phaseolus vulgaris*) to exogenous putrescine treatment under salinity stress. Pakistan Journal of Biological Sciences, 7: 219-225. https://doi.org/10.3923/pjbs.2004.219.225

Zhao, C., Zhang, H., Song, H., Zhu, J.K. and Shabala, S. 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. The Innovation, 1(1): 1100017. https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017

Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K. and 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: 167-178. https://doi.org/10.1007/s10725-015-0083-5

Zhu, Z.H., Sami, A., Xu, Q.Q., Wu, L.L., Zheng, W.Y., Chen, Z.P. and Zhou, K.J. 2021. Effects of seed priming treatments on the germination and development of two rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties under the coinfluence of low temperature and drought. Plos One, 16(9): 236-260. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257236