

Research Article

Effect of sodium nitroprusside priming on seed germination indices and seedling biochemical traits in rice (*Oryza sativa*) under salinity stressHaniyeh Saadat ^{1,*}, Mohammad Sedghi ²**Extended abstract**

Introduction: Salinity is the most significant environmental stress that limits plant productivity by affecting morphology, physiology, and biochemistry of plants, especially in semi-arid and arid regions. Salinity disrupts and eventually delays seedling growth by delaying seed germination and reducing the germination rate. Seed priming stands out as a quick, easy, low-cost, and effective strategy for improving germination, seedling growth parameters, and overall plant defense against abiotic stresses in many crops. It is defined as the pre-sowing seed treatment during which seeds are immersed in water or chemical solutions and are dry until further use. The aim of this study was to assess the effect of priming with sodium nitroprusside on germination indices and biochemical traits in rice seedlings under salinity stress.

Materials and Methods: This experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with three replications at the University of Mohaghegh Ardabili in 2023. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 mM) and three levels of sodium nitroprusside (0, 40, and 80 μ M).

Results: The results showed that salinity reduced germination and growth indicators including mean daily germination (MDG), germination coefficient (GC), allometric coefficient (AC), radicle length (RL), pedicel length (PL) and seedling length (SL), as well as radicle and pedicel fresh and dry weight (RFW, PFW, RDW and PDW), but seed pretreatment with different levels of sodium nitroprusside, especially the level of 80 μ M, improved these traits. Salinity reduced the seedling moisture percentage (SMP), so that the highest SMP (70.13%) was observed in the control treatment. The highest daily germination rate (DGR) and malondialdehyde content (MDA) were observed at a salinity of 150 mM. Priming decreased DGS and MDA, so that the lowest DGS (0.08) and MDA (0.159 mM g⁻¹ FW) were obtained in priming with 80 μ M sodium nitroprusside. Also, salinity decreased the activity of the α -amylase enzyme, so the lowest α -amylase activity (7.93 mg g⁻¹ FW seed) was obtained in the control (distilled water) and at a salinity of 150 mM.

Conclusions: The results showed that seed treatment with sodium nitroprusside at 80 μ M is the most effective method to improve rice germination and biochemical traits under salinity stress. It can reduce the harmful effects of salinity on some traits in rice seedlings and improve seedling growth.

Keywords: *α -Amylase, Hydropriming, Malondialdehyde, Seedling moisture percentage, Sodium chloride*

Highlights:

1. Seed priming using sodium nitroprusside improved the germination indices of rice seeds under salinity.
2. Priming with sodium nitroprusside decreased MDA content and increased α -amylase activity.
3. The concentration of 80 μ M sodium nitroprusside showed a better effect on germination indices and biochemical characteristics.

¹ Ph. D Graduated, 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

Received: 17.1.2024; Revised: 9.4.2024;
Accepted: 14.4.2024; Online Published: 21.9.2024

DOI: [10.61186/yujrs.11.1.183](https://doi.org/10.61186/yujrs.11.1.183)



CrossMark

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



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 با سدیم نیتروپروساید بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه
برنج (*Oryza sativa*) تحت تنش شوریهانیه سعادت^{۱*}، محمد صدقی^۲

چکیده مبسوط

مقدمه: شوری مهمترین تنش محیطی است که با تأثیر بر ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و مشخصات بیوشیمیایی گیاهان به ویژه در مناطق نیمه خشک و خشک، بهره‌وری گیاه را محدود می‌کند. شوری با به تأخیر انداختن جوانه‌زنی بذر و کاهش سرعت جوانه‌زنی، رشد گیاهچه را مختل می‌کند و در نهایت رشد بهینه گیاهچه را به تأخیر می‌اندازد. پرایمینگ بذر به عنوان یک روش سریع، آسان و موثر برای بهبود جوانه‌زنی، ویژگی‌های رشد گیاهچه و دفاع کلی گیاه در برابر تنش‌های غیرزیستی در بسیاری از محصولات زراعی برجسته است. پرایمینگ به عنوان تیمار بذر قبل از کاشت تعریف می‌شود که در آن بذرها به طور کامل در آب یا انواع محلول‌های شیمیایی غوطه‌ور می‌شوند و تا زمان استفاده بعدی خشک می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه برنج تحت تنش شوری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً 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 کلرید سدیم) و سه سطح سدیم نیتروپروساید (صفر، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شوری شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد شامل میانگین جوانه‌زنی روزانه، ضریب جوانه‌زنی، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، طول ساقه‌چه و گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید به‌ویژه سطح ۸۰ میکرومولار این صفات را بهبود بخشید. شوری درصد رطوبت گیاهچه را کاهش داد، به‌طوری بیش‌ترین درصد رطوبت گیاهچه (۷۰/۱۳ درصد) در شاهد بود. بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه و محتوای مالون دی‌آلدئید در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده گردید. پرایمینگ سرعت جوانه‌زنی روزانه و مقدار مالون دی‌آلدئید را کاهش داد، به‌طوری که کم‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۸) و محتوای مالون دی‌آلدئید (۰/۱۵۹ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار حاصل شد. همچنین، شوری فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز را نیز کاهش داد. به‌طوری که، کم‌ترین فعالیت آلfa آمیلاز (۷/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که تیمار بذر با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار مؤثرترین روش برای بهبود جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی بذر برنج تحت تنش شوری محسوب می‌شود و می‌تواند اثرات مضر شوری بر برخی صفات در گیاهچه برنج را کاهش داده و رشد گیاهچه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: آلfa آمیلاز، درصد رطوبت گیاهچه، کلرید سدیم، مالون دی‌آلدئید، هیدروپرایمینگ

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- پرایمینگ بذر با استفاده از سدیم نیتروپروساید سبب بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی بذر برنج تحت شرایط شوری گردید.
- ۲- پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید محتوای مالون دی‌آلدئید را کاهش و فعالیت آلfa آمیلاز را افزایش داد.
- ۳- غلظت ۸۰ میکرومولار سدیم نیتروپروساید تأثیر بهتری بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی نشان داد.

DOI: 10.61186/yuj.11.1.183



CrossMark

^۱ دانش آموخته‌ی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران.

^۲ استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی،

اردبیل، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: t.saadat2020@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۶؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۳/۶/۳۱

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) از خانواده غلات و یکی از محصولات غذایی اصلی در سطح جهان می‌باشد (کاسوت^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ علی^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). این گیاه در محیط‌های گرمسیری و نیمه گرمسیری کشت می‌شود (سان^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). در آسیا، برنج ۵۰ درصد از کالری مورد نیاز حدود ۵۲۰ میلیون نفر را برآورده می‌کند. علاوه بر این، یکی از مهم‌ترین و مغذی‌ترین غلات در سراسر جهان و منبع مهم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، سلولز، مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد فعال زیستی است (پینپارکادی و یواموتو^۴، ۲۰۱۹). بنابراین، تلفات ناشی از تنش‌های غیرزیستی بر محصول برنج می‌تواند عواقب فوق‌العاده‌ای برای امنیت غذایی داشته باشد.

شوری یک مشکل اصلی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان بوده و رشد و نمو گیاهان را محدود می‌کند (عزیزی^۵ و همکاران، ۲۰۲۰). تنش شوری موجب اختلال در عمل جوانه‌زنی از طریق تنش اسمزی و تجمع یون‌ها شده و متابولیسم جنین در حال رشد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (مرادی و پیری^۶، احمدی^۷ و همکاران، ۲۰۱۸). جوانه‌زنی بذر شامل تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در داخل بذر است که سبب فعال شدن جنین می‌شود (سالک معراجی^۸ و همکاران، ۲۰۱۹) و یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیکی در چرخه زندگی گیاهان است (چایچی^۹ و همکاران، ۲۰۲۲؛ گونگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲). شوری می‌تواند جوانه‌زنی بذر را مهار کند، زمان جوانه‌زنی را به تاخیر انداخته و درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش دهد (یوکارلی^{۱۱}، ۲۰۲۰؛ مالیک^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۲).

تنش شوری با سمیت یونی و اثرات اسمزی ناشی از کاهش جذب آب و اختلال در جذب مواد مغذی، جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را محدود می‌کند (محمد^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۰؛ ممتاز^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۱) و تنش اکسیداتیو ناشی از آن به ساختارهای سلولی آسیب رسانده و باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و متابولیکی می‌شود (علی و همکاران، ۲۰۲۰؛ کونگ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۱). تنش شوری به دلیل افزایش یون سدیم همراه با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن سبب اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و دفاع پاداکسیدانی ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن همراه با تغییرات غشای سلولی و پراکسیداسیون لیپیدی شده در نتیجه روی جوانه‌زنی بذر تأثیر منفی می‌گذارد (اپل و هیرت^{۱۶}، ۲۰۰۴). مطالعات روی گیاهان مختلف نشان داده است که سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی، ضریب آلومتری، طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه، وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر طی تنش شوری کاهش و سرعت جوانه‌زنی روزانه و میانگین مدت جوانه‌زنی افزایش یافت (سعادت^{۱۷} و همکاران، ۲۰۲۳c؛ ۲۰۲۳d).

پرایمینگ بذر یک روش کارآمد، عملی و ساده برای افزایش سبز شدن سریع و یکنواخت، بنیه گیاهچه بالا، ظهور و استقرار گیاهچه‌ها و عملکرد در بسیاری از محصولات زراعی تحت شرایط محیطی نامطلوب است (لیو^{۱۸} و همکاران، ۲۰۲۲؛ موهاپاترا^{۱۹} و همکاران، ۲۰۲۲؛ گیو^{۲۰} و همکاران، ۲۰۲۲). پرایمینگ بذر روشی است که می‌تواند به طور موثری اثر عوامل محدود کننده جوانه‌زنی و سرعت رشد را تحت تنش شوری تعدیل کند (انجوم^{۲۱} و همکاران، ۲۰۲۰). پرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی در شرایط تنش می‌شود (حسینی‌فرد^{۲۲} و

¹³ Mohamed¹⁴ Mumtaz¹⁵ Kong¹⁶ Apel and Hirt¹⁷ Saadat¹⁸ Liu¹⁹ Mohapatra²⁰ Guo²¹ Anjum²² Hosseini-fard¹ Kasote² Ali³ Sun⁴ Peanparkdee and Iwamoto⁵ Azizi⁶ Moradi and Piri⁷ Ahmadi⁸ Salek Mearaji⁹ Chaichi¹⁰ Gong¹¹ Uçarlı¹² Malik

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۲ در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی به منظور مطالعه تأثیر پرایمینگ بذر با سدیم نیتروپروساید بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه برنج تحت تنش شوری به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و سه سطح سدیم نیتروپروساید (صفر (آب مقطر)، ۴۰ و ۸۰ میکرومولار) بود. ابتدا بذرهای درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به مدت ۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. بعد از پرایمینگ، بذرهای به وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. پس از اعمال پرایمینگ، تعداد ۲۵ بذر درون هر پتری جهت کشت قرار گرفت (ایستا^{۱۲}، ۲۰۱۳) و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) ۵ میلی‌لیتر اضافه شد. سپس پتری‌ها، به داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه‌ی سلسیوس منتقل شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه و به مدت ۷ روز انجام گردید. برای خشک کردن گیاهچه‌ها از آون استفاده شد. به این صورت که نمونه‌ها در آون با دمای ۷۲ درجه‌ی سلسیوس قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه از ترازو با دقت یک‌هزارم، و اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و گیاهچه از خط‌کش با واحد میلی‌متر استفاده شد.

برای محاسبه میانگین مدت جوانه‌زنی رابطه ۱ (امیدی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۴)، میانگین جوانه‌زنی روزانه رابطه ۲ (هوگن‌بوم و پترسون^{۱۴}، ۱۹۸۷)، سرعت جوانه‌زنی روزانه رابطه ۳ (ماگویر^{۱۵}، ۱۹۶۲)، ضریب جوانه‌زنی رابطه ۴ (فتحی امیرخیز^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۵)، ضریب آلومتری رابطه ۵ (ابراهیمی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۳)

همکاران، ۲۰۲۲؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۸). هیدروپرایمینگ به علت مهیا نمودن آب کافی برای بذر، جوانه‌زنی، خروج یکنواخت و سریع گیاهچه را در شرایط تنش‌های محیطی افزایش می‌دهد (تانیا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).

سدیم نیتروپروساید یک مولکول پیام‌دهنده برای پرایمینگ است (اولیویرا^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). این مولکول به طور عمده به عنوان دهنده نیتریک اکسید (NO) عمل می‌کند و مولکولی است که با افزایش جذب درشت مواد مغذی، محرک‌های آنزیمی بالایی را القا می‌کند (ساداک^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ یوچیدا^۴ و همکاران، ۲۰۰۲). تحقیقات مختلف روی گیاهان نشان داده است که سدیم نیتروپروساید قادر به کاهش اثرات نامطلوب تنش‌های غیر زنده از جمله شوری است (راقی^۵ و همکاران، ۲۰۲۲؛ بادم^۶ و همکاران، ۲۰۲۲؛ یاسیر^۷ و همکاران، ۲۰۲۱؛ شانگ^۸ و همکاران، ۲۰۲۲؛ فاطیما^۹ و همکاران، ۲۰۲۲) و به عنوان یک پاداکسیدان، می‌تواند آسیب اکسیداتیو را با سم‌زدایی گونه‌های اکسیژن فعال بیش از حد تولید شده، را کاهش دهد (یاسیر و همکاران، ۲۰۲۱؛ حبیب^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۰؛ ۲۰۲۱). استفاده از سدیم نیتروپروساید باعث می‌شود که بذر برنج در طول جوانه‌زنی شوری را تحمل کند (یای^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۲).

هدف از انجام این تحقیق، بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات بیوشیمیایی گیاهچه برنج در واکنش به تنش شوری و نقش پرایمینگ بذر با سدیم نیتروپروساید بر رفتار جوانه‌زنی برنج بود.

- ¹ Tania
- ² Oliveira
- ³ Sadak
- ⁴ Uchida
- ⁵ Ragaey
- ⁶ Badem
- ⁷ Yasir
- ⁸ Shang
- ⁹ Fatima
- ¹⁰ Habib
- ¹¹ Yi

¹² ISTA

¹³ Omid

¹⁴ Hoogenboom and Peterson

¹⁵ Maguire

¹⁶ Fathi Amirkhizi

¹⁷ Ebrahimi

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید: سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید براساس روش مک‌کوئی و شتی^۹ (۲۰۰۲) انجام شد. در این سنجش، ۲۰۰ میلی‌لیتر از بافت هموژن با ۸۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایش مخلوط شد. سپس، ۵۰۰ میلی‌لیتر از تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد با ۱ میلی‌لیتر از تیوباریتوریک 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 روشن‌آور در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت مالون‌دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ۱۵۵ و معادله زیر استفاده شد، که در آن A جذب خوانده شد، E ضریب خاموشی، B عرض کووت و C غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میلی‌مول بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$A = E \cdot BC$$

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اجرا گردید. برای ترسیم اشکال و نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2018 استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین مدت جوانه‌زنی، میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی روزانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سدیم نیتروپروساید و شوری روی میانگین جوانه‌زنی روزانه و سرعت جوانه‌زنی روزانه و اثر متقابل آن‌ها روی میانگین مدت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۲/۶۴) در پرایمینگ با سدیم نیترو پروساید ۸۰ میکرومولار و کم‌ترین آن (۱۱/۷۳) در شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۲). با افزایش شوری، کاهشی در میانگین جوانه‌زنی روزانه مشاهده شد. به‌طوری که، بیش‌ترین میانگین

و درصد رطوبت گیاهچه رابطه ۶ (تسونوف^۱ و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده شد.

$$\text{رابطه ۱: } \text{MGT}^2 = \Sigma (\text{Ni}) / \Sigma \text{N}$$

N: تعداد دفعات شمارش، Ni: تعداد بذر جوانه زده در روز

$$\text{رابطه ۲: } \text{MDG}^3 = \text{GP} / \text{Tx}$$

GP: درصد جوانه‌زنی، Tx: تعداد روزهای آزمایش (طول دوره اجرای آزمایش)

$$\text{رابطه ۳: } \text{DGR}^4 = 1 / \text{MDG}$$

MDG: میانگین جوانه‌زنی روزانه

$$\text{رابطه ۴: } \text{GC}^5 = 1 / \text{MGT} \times 100$$

MGT: میانگین مدت زمان جوانه‌زنی

$$\text{رابطه ۵: } \text{CA}^6 = \text{LR} / \text{LS}$$

LS: طول ساقه‌چه، LR: طول ریشه‌چه

$$\text{رابطه ۶: } \text{SMP}^7 = \text{SFW} - \text{SDW} / \text{SFW} \times 100$$

SFW: وزن تر گیاهچه، SDW: وزن خشک گیاهچه

سنجش فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز: چهار روز پس

از جوانه‌زنی نمونه‌گیری برای تعیین فعالیت آمیلاز انجام شد. بذرها در بافر فسفات ۶۰ میلی‌مولار (pH=۶/۸) هموژنیزه شدند و سپس با سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰g و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. فعالیت آنزیم در محیط واکنش که حاوی ۶۰ میلی‌مولار بافر فسفات (pH=۶/۸)، ۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر کلرید کلسیم و ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر نشاسته بود، مشخص شد. عصاره آنزیم (یک میلی‌لیتر) پس از ۲۰ دقیقه انکوباسیون در حمام آب گرم به محیط آزمایش اضافه شد. فعالیت آنزیم آلfa آمیلاز با استفاده از نشاسته و با طول موج ۶۲۰ نانومتر به‌صورت میلی‌گرم مالتوز بر گرم بذر مواد تازه مشخص شد (دومان^۸، ۲۰۰۶).

¹ Tsonev

² Mean germination time

³ Mean Daily Germination

⁴ Daily Germination Rate

⁵ Germination Coefficient

⁶ Allometric Coefficient

⁷ Seedling Moisture Percentage

⁸ Duman

¹⁴ McCue and Shetty

جوانه‌زنی روزانه (۱۳/۶۳) در شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن (۱۰/۴۱) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌دست آمد (جدول ۳).

همچنین، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۸۶) در شاهد (آب مقطر) و کم‌ترین آن (۰/۰۸۰) در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار بود (جدول ۳)، با افزایش سطوح شوری سرعت جوانه‌زنی روزانه افزایش یافت. به‌طوری‌که، بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۰۹۶) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳).

همچنین، بیش‌ترین میانگین مدت جوانه‌زنی (۰/۳۷ روز) در پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید ۴۰ میکرو مولار و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین آن (۰/۱۰۱ روز) در پیش‌ تیمار با نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و شاهد حاصل گردید (شکل ۱A).

تنش شوری بر عملکرد گیاه در تمام مراحل رشد مانند جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه، رشد رویشی و عملکرد تأثیر می‌گذارد (ما^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سلیمان^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). این امر می‌تواند به دلیل کاهش پتانسیل اسمزی باشد که جذب آب توسط بذر را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، یون‌های سدیم و کلر اضافی جذب شده با جذب آب می‌تواند باعث سمیت یونی شده و می‌تواند بر فرآیندهای متابولیک در بذرهای جوانه‌زده از طریق فعالیت آنزیمی مانند تنفس، هیدرولیز مواد مغذی و تولید انرژی تأثیر منفی بگذارد (مواندو^۳ و همکاران، ۲۰۲۰؛ نصیر^۴ و همکاران، ۲۰۲۲).

در این پژوهش، میانگین جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید افزایش یافت. سرعت جوانه‌زنی روزانه عکس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، بنابراین، افزایش در میانگین جوانه‌زنی روزانه منجر به کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه شد. کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ و افزایش این صفت تحت شرایط تنش شوری در تحقیق دیگر نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳d). محققان دلیل این امر را بروز اختلالات رشدی و کوچک شدن

غیرطبیعی سلول در مرحله جوانه‌زنی حاصل از تنش شوری ذکر کرده‌اند (قنبری و کرمنیا^۵، ۲۰۱۶). شوری بر کارایی غشای سلولی و پایداری غشای پلاسمایی از طریق نفوذ یون‌های خارجی و نشت محلول‌های سیتوسولی و مواد الکترولیت از سلول‌های گیاهی اثر مخرب گذاشته و از این طریق میانگین جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد (عیسوند و مداح عارفی^۶، ۲۰۰۷).

پرایمینگ با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید میانگین جوانه‌زنی روزانه را افزایش داد. این صفت از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره اجرای آزمایش به‌دست می‌آید، در نتیجه افزایش درصد جوانه‌زنی در طول پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید منجر به افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه خواهد شد. افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ و کاهش این صفت تحت شرایط تنش شوری در مطالعه دیگری نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳d). افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی طی تنش شوری، به دلیل تأخیر در جذب آب توسط بذر است، زیرا فعال شدن آنزیم‌های مورد نیاز بذر در فرآیند جوانه‌زنی نیازمند جذب آب برای رسیدن به مرحله دوم جوانه‌زنی هستند و بذرهای پرایم شده به دلیل گذراندن دو مرحله از سه مرحله جوانه‌زنی، به آب کمتری برای تکمیل فرآیند جوانه‌زنی نیاز دارند (وایر^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). پرایمینگ با افزایش فعالیت‌های متابولیکی و سرعت تقسیم سلولی میانگین مدت جوانه‌زنی کاهش می‌دهد (حسینی‌مقدم^۸ و همکاران، ۲۰۲۴؛ بصرا^۹ و همکاران، ۲۰۰۲).

⁵ Ghanbari and Karamnia

⁶ Eisvand and Madah Arefi

⁷ Varier

⁸ Hosseini-Moghaddam

⁹ Basra

¹ Ma

² Seleiman

³ Mwando

⁴ Naseer

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی در گیاهچه برنج

Table 1. Analysis of variance for the effect of sodium nitroprusside and salinity on germination indices in rice seedling

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of square					
			طول ساقه‌چه Plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length	طول گیاهچه Seedling length	وزن تر ساقه‌چه Plumule fresh weight	وزن تر ریشه‌چه Radicle fresh weight	وزن خشک ریشه‌چه Radicle dry weight
Sodium nitroprusside (SNP)	سدیم نیتروپروساید	2	53.961**	2844.527**	3677.750**	27.376**	2088.077**	201.385**
Salinity (S)	شوری	3	73.927**	1324.592**	2023.890**	47.541**	1488.273**	44.497**
SNP×S	سدیم نیتروپروساید و شوری	6	0.764 ^{ns}	15.787*	22.326*	0.218 ^{ns}	83.037**	0.064 ^{ns}
Error (E)	خطا	22	1.183	6.436	8.254	0.577	11.106	0.395
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		8.24	4.81	4.35	6.73	7.65	5.25

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of square			
			میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	آلفا آمیلاز α Amylase	مالون دی‌آلدئید MDA
Sodium nitroprusside (SNP)	سدیم نیتروپروساید	2	2.553**	0.00011128*	19.730**	0.067836**
Salinity (S)	شوری	3	18.368**	0.00094452**	345.887**	0.04191**
SNP×S	سدیم نیتروپروساید و شوری	6	0.365 ^{ns}	0.00002410 ^{ns}	5.491**	0.001306 ^{ns}
Error (E)	خطا	22	0.306	0.00002010	0.632	0.000965
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		4.52	5.40	5.44	13.09

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی D. F.	میانگین مربعات Mean of square			
			درصد رطوبت گیاهچه Seedling moisture percentage	ضریب جوانه‌زنی Germination coefficient	ضریب آلومتر Allometric coefficient	میانگین مدت جوانه‌زنی Mean germination time
Sodium nitroprusside (SNP)	سدیم نیتروپروساید	2	23.738 ^{ns}	166119.444**	3.903**	0.01910290**
Salinity (S)	شوری	3	66.573**	377558.333**	0.029 ^{ns}	0.05922708**
SNP×S	سدیم نیتروپروساید و شوری	6	21.256 ^{ns}	27719.444**	0.069 ^{ns}	0.00292324**
Error (E)	خطا	22	11.356	1061.869	0.144	0.00051172
CV (%)	ضریب تغییرات (درصد)		4.82	6.19	9.60	10.22

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

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

جدول ۲. مقایسه میانگین تأثیر سدیم نیتروپروساید بر شاخص‌های جوانه‌زنی در برنج

Table 2. Mean comparison for the effect of sodium nitroprusside on germination indices in rice

سدیم نیتروپروساید (میکرومولار) Sodium nitroprusside (μM)	طول ساقه‌چه Plumule length (mm)	وزن ترساقه‌چه (گرم) Plumule fresh weight (g)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (g)	ضریب آلومتري Allometri c coefficie nt	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germinati on	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germination rate	درصد رطوبت گیاهچه Seedling moisture percentage	مالون دی‌آلدئید (میلی‌مول بر گرم وزن تر) Malondialdehyde (mM g ⁻¹ FW)
0	11.43 ^c	9.96 ^c	7.92 ^c	3.37 ^c	11.73 ^b	0.086 ^a	68.65 ^a	0.31 ^a
40	12.61 ^b	10.99 ^b	11.87 ^b	3.98 ^b	12.27 ^a	0.083 ^{ab}	69.49 ^a	0.24 ^b
80	15.55 ^a	12.93 ^a	16.11 ^a	4.51 ^a	12.64 ^a	0.080 ^b	71.39 ^a	0.16 ^c

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

Different letters in each column indicate a significant difference at 1% probability level.

جدول ۳. مقایسه میانگین تأثیر شوری روی صفات مطالعه شده در برنج

Table 3. Mean comparison for the effect of Salinity on studied traits in Rice

شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	طول ساقه‌چه Plumule length (mm)	وزن ترساقه‌چه (گرم) Plumule fresh weight (g)	وزن خشک ریشه‌چه (گرم) Radicle dry weight (g)	ضریب آلومتري Allometri c coefficie nt	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean daily germination	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily germinati on rate	درصد رطوبت گیاهچه Seedling moisture percentage	مالون دی‌آلدئید (میلی‌مول بر گرم وزن تر) Malondialdehyde (mM g ⁻¹ FW)
0	16.29 ^a	13.77 ^a	14.36 ^a	4.02 ^a	13.63 ^a	0.073 ^c	70.13 ^a	0.17 ^d
50	14.59 ^b	12.40 ^b	12.98 ^b	3.94 ^a	13.03 ^b	0.077 ^c	71.81 ^a	0.20 ^c
100	12.20 ^c	10.53 ^c	11.34 ^c	3.96 ^a	11.78 ^c	0.085 ^b	71.52 ^a	0.26 ^b
150	9.71 ^d	8.48 ^d	9.19 ^d	3.89 ^a	10.41 ^d	0.096 ^a	65.92 ^b	0.32 ^a

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

Different letters in each column indicate a significant difference at 1% probability level.

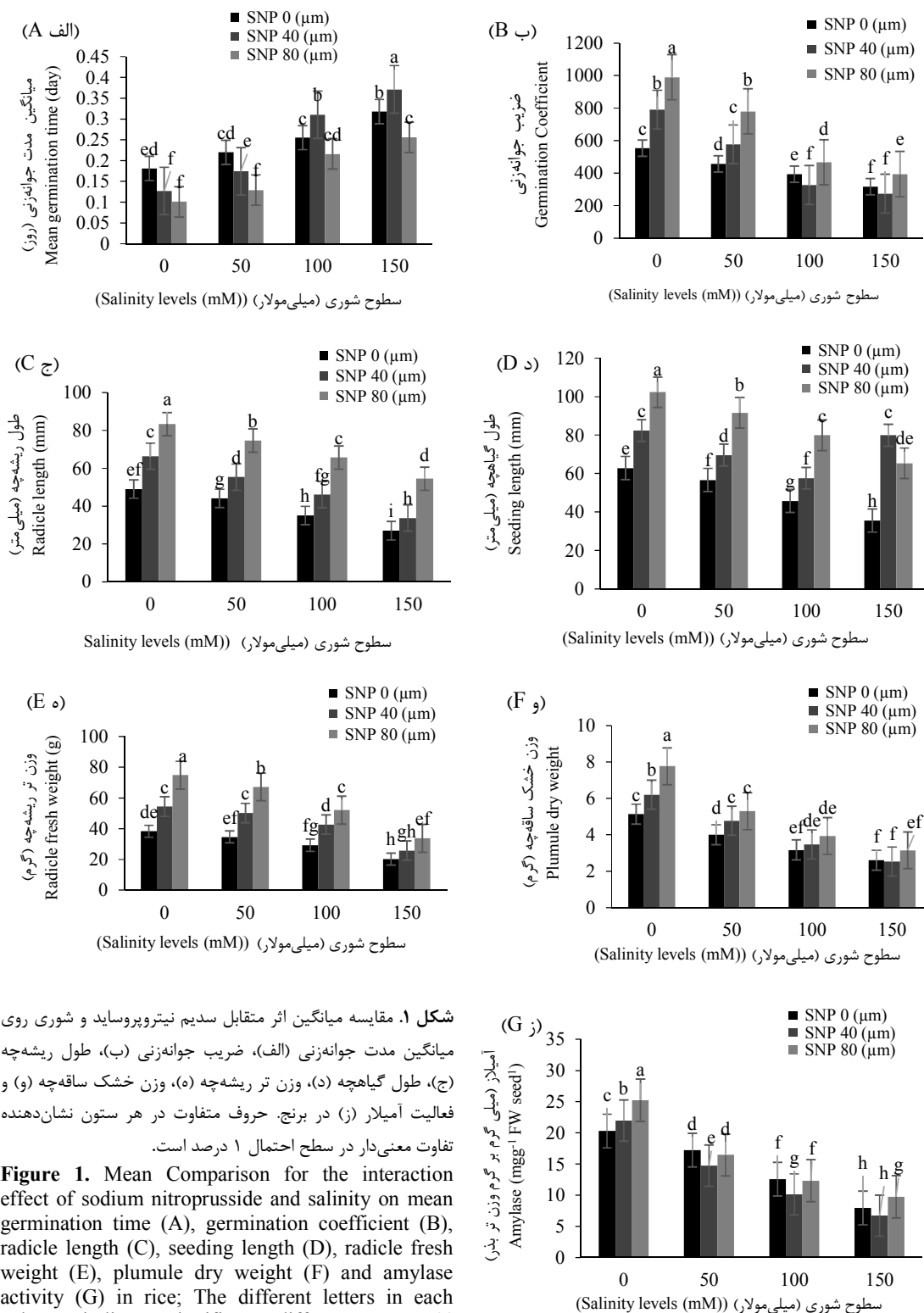
ضریب آلومتري: نتیجه تجزیه واریانس (جدول ۱)

نشان داد که اثر ساده سدیم نیتروپروساید روی ضریب آلومتري در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و بین سطوح شوری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. براساس نتایج مقایسه میانگین اثر سدیم نیترو پروساید، بیش‌ترین ضریب آلومتري (۴/۵۰۷) با تیمار سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار بود (جدول ۲). ضریب آلومتري از تقسیم طول ریشه‌چه به ساقه‌چه به‌دست می‌آید، که تحمل به شرایط تنش را نشان می‌دهد. در این تحقیق، ضریب آلومتري طی شوری کاهش یافت هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری نبود و این امر نشان می‌دهد که کاهش جذب آب به وسیله بذر تحت تنش شوری باعث کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های نظیر آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز شده و باعث اختلال در ساقه چه می‌گردد و بر نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه اثر می‌گذارد (پناهی^۲ و همکاران، ۲۰۱۲).

ضریب جوانه‌زنی: در این تحقیق، اثر ساده سدیم

نیتروپروساید و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر ضریب جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین ضریب جوانه‌زنی (۹۹۰) از تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و بدون شوری و کم‌ترین ضریب جوانه‌زنی (۳۱۶) در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱B). ضریب جوانه‌زنی بالای بذرها به معنی درصد جوانه‌زنی بالاست (باقری^۱، ۲۰۱۴). از آنجایی که ضریب جوانه‌زنی عکس میانگین مدت جوانه‌زنی است، کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی طی پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید باعث افزایش این صفت طی پرایمینگ خواهد شد. نتایج این تحقیق با نتایج سعادت و همکاران (۲۰۲۳d) در راستای افزایش ضریب جوانه‌زنی تحت شرایط تنش شوری در طول پرایمینگ تطابق داشت.

² Panahi¹ Bagheri



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل سدیم نیتروپروساید و شوری روی میانگین مدت جوانه‌زنی (الف)، ضریب جوانه‌زنی (ب)، طول ریشه‌چه (ج)، طول گیاهچه (د)، وزن تر ریشه‌چه (ه)، وزن خشک ساقچه‌چه (و) و فعالیت آمیلاز (ز) در برنج. حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

Figure 1. Mean Comparison for the interaction effect of sodium nitroprusside and salinity on mean germination time (A), germination coefficient (B), radicle length (C), seedling length (D), radicle fresh weight (E), plumule dry weight (F) and amylase activity (G) in rice; The different letters in each column indicate significant differences at 5% probability level

مختلف سدیم نیتروپروساید آن را بهبود بخشید (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳).

در کل با افزایش سطوح شوری کاهش طول ریشه‌چه در مقایسه با ساقچه‌چه بیشتر است، و پرایمینگ با سطوح

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه: در این

تحقیق، تأثیر سدیم نیتروپروساید و شوری بر طول ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها بر طول ریشه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین طول ساقه‌چه (۱۵/۵۵ میلی‌متر) در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و کم‌ترین آن (۱۱/۴۳ میلی‌متر) در شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۲). با افزایش شوری، کاهش در طول ساقه‌چه مشاهده شد. به‌طوری‌که، بیش‌ترین طول ساقه‌چه (۱۶/۲۹ میلی‌متر) در شاهد (بدون شوری) و کم‌ترین آن (۹/۷۱ میلی‌متر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). بیش‌ترین طول ریشه‌چه (۸۳/۳۳ میلی‌متر) و طول گیاهچه (۱۰۲/۳۰ میلی‌متر) نیز در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن‌ها به ترتیب ۲۷ و ۳۵/۵۰ میلی‌متر در شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۱ C و D). کاهش معنی‌دار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه گویای تأثیر منفی تنش شوری بر این صفات در برنج است. کاهش طول ریشه‌چه برنج تحت تنش شوری به نظر می‌رسد که به دلیل سمیت یون‌ها و اثرات منفی آن‌ها بر غشای سلولی، فرایندهای متابولیکی و مسیرهای پیام‌رسانی باشد به‌طوری‌که شرایط را برای رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه محدود می‌کند (مفتاح‌زاده و رحیمی^۱، ۲۰۲۱). همچنین، به نظر می‌رسد که تخریب غشای سلولی در طول تنش شوری فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را کاهش داده و کاهش این آنزیم منجر به کاهش متابولیسم ذخایر غذایی بذر و کاهش طول گیاهچه می‌شود (فاضلی‌نسب^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). پرایمینگ بذر برنج با سدیم نیتروپروساید اثر مثبتی بر افزایش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه داشت، افزایش طول ساقه‌چه ناشی از افزایش انتقال فرآورده‌های متابولیکی به دلیل هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذر است. همچنین، اثر مثبت پرایمینگ بر جوانه‌زنی می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم ایندو بتاماناز باشد که موجب تضعیف شدن دیواره سلولی و بهبود ظهور ریشه‌چه می‌شود (بابایی

قافلستانی^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از تأثیرات نیتریک اکسید حاصل از کاربرد سدیم نیتروپروساید کاتابولیسم اسیدآسیزیک و تحریک ساخت هورمون‌هایی نظیر اتیلن و جیبرلین است. افزایش غلظت جیبرلین درون سلولی، تطویل سلولی گیاهچه را در بذره‌ای پرایم شده افزایش می‌دهد. جیبرلین با کاهش صدمات وارد شده به سلول‌ها در طول شوری سبب تحریک تقسیم سلول در ساقه‌چه می‌شود (لی^۴ و همکاران، ۲۰۱۳). نیتریک اکسید جوانه‌زنی بذر، تقسیم سلولی و بسیاری از اعمال دیگر سلول را تحریک می‌کند و با رادیکال‌های آزاد واکنش داده و مشکلات ناشی از آن را کاهش می‌دهد. سدیم نیتروپروساید تولید اکسین را تحریک کرده و اکسید نیتریک رها شده از آن در تقسیم و طویل شدن سلولی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر داشته و در نتیجه طول گیاهچه را افزایش می‌دهد (هی^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ نیل^۶ و همکاران، ۲۰۰۸). کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش شوری روی برنج و لوبیا نیز گزارش شده است (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c؛ ۲۰۲۳d). نتایج آزمایشی نشان داد که پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید تحت تنش شوری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاه سیاهدانه و کنجد را افزایش داد (فتحی^۷ و همکاران، ۲۰۱۸؛ کبیری^۸ و همکاران، ۲۰۲۱).

وزن تر ساقه‌چه: در این تحقیق، اثر سدیم نیتروپروساید و شوری بر وزن تر ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین وزن تر ساقه‌چه (۱۲/۹۳ گرم) در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و کم‌ترین آن (۹/۹۵ گرم) در شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۲). سطوح شوری وزن تر ساقه‌چه را کاهش داد. طوری‌که، بیش‌ترین وزن تر ساقه‌چه (۱۳/۷۷ گرم) در شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن (۸/۴۸ گرم) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳).

³ Babaei Qaqlstany

⁴ Li

⁵ He

⁶ Neill

⁷ Fathi

⁸ Kabiri

¹ Meftahizade and Rahmati

² Fazeli-Nasab

سدیم نیتروپروپوساید بر رشد محور جنین و نمو گیاهچه اثر گذاشته و هدایت الکتریکی را افزایش می‌دهد. در نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهچه را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه‌چه می‌شود و با افزایش ساخت آنزیم دهیدروژناز و میزان پویایی ذخایر بذر وزن خشک ریشه‌چه را افزایش می‌دهد (بصرا و همکاران، ۲۰۰۳؛ سیوریتپ^۳ و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین، افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز را طی پرایمینگ وزن خشک گیاهچه افزایش می‌دهد (عالیوند^۴، ۲۰۱۲). نتایج آزمایشی نشان داد که پرایمینگ با سدیم نیتروپروپوساید تحت تنش شوری وزن تر و خشک ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در گیاه سیاهدانه و کنجد را افزایش داد (فتحی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کبیری و همکاران، ۲۰۲۱). افزایش وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه طی پرایمینگ در شرایط شوری روی برنج و لوبیا نیز گزارش شده (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳c؛ ۲۰۲۳d). کاهش شاخص جوانه‌زنی تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از کاهش جذب اولیه آب و اثرات منفی ناشی از افت پتانسیل اسمزی و سمیت یونی بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مرتبط با هیدرولیز آنزیمی مواد ذخیره‌ای بذر و ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد هیدرولیز شده درگیر در جوانه‌زنی بذرها باشد (مفتاحی‌زاده و رحیمی، ۲۰۲۱؛ دادشنی^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). تنش با مجموعه‌ای از تغییرات از جمله از دست دادن یکپارچگی غشا و کاهش متابولیسم انرژی همراه است که می‌تواند منجر به کاهش جوانه‌زنی شود (بونیکا^۶ و همکاران، ۲۰۱۹).

درصد رطوبت گیاهچه: در این تحقیق، تنها اثر شوری بر درصد رطوبت گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین سطوح سدیم نیتروپروپوساید تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۱). با افزایش سطوح شوری درصد رطوبت گیاهچه کاهش یافت. بیش‌ترین درصد رطوبت گیاهچه (۷۰/۱۳ درصد) در شاهد (بدون

وزن تر ریشه‌چه: طبق جدول تجزیه واریانس، اثر سدیم نیتروپروپوساید و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن تر ریشه‌چه (۷۴/۸۷ گرم) در تیمار با سدیم نیتروپروپوساید ۸۰ میکرومولار و شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن (۲۰/۱۷ گرم) در تیمار با شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۱E).

وزن خشک ساقه‌چه: طبق جدول تجزیه واریانس، اثر سدیم نیتروپروپوساید و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک ساقه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک ساقه‌چه (۷/۷۷ گرم) در تیمار با سدیم نیتروپروپوساید ۸۰ میکرومولار و شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن (۲/۶۰ گرم) در تیمار با شاهد (آب مقطر) و شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بود (شکل ۱F).

وزن خشک ریشه‌چه: اثر سدیم نیتروپروپوساید و شوری بر وزن خشک ریشه‌چه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه (۱۶/۱۰ گرم) در تیمار با سدیم نیتروپروپوساید ۸۰ میکرومولار و کم‌ترین آن (۷/۹۱ گرم) در شاهد (آب مقطر) بود (جدول ۲). سطوح شوری وزن خشک ریشه‌چه را کاهش داد. به‌طوری‌که، بیش‌ترین وزن خشک ریشه‌چه (۱۴/۳۵ گرم) در شاهد (شوری صفر) و کم‌ترین آن (۹/۱۹ گرم) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاهش وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت شرایط شوری ناشی از کاهش سنتز و فعالیت آنزیم‌های مورد نیاز در رشد و نمو بذر است، زیرا شوری زیاد، سنتز و فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده ذخایر بذر را محدود می‌کند، در نتیجه وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه را کاهش می‌دهد (کائور^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). تنش شوری، با کاهش جذب آب توسط بذر موجب اختلال در عمل هیدرولیز مواد ذخیره‌ای جهت تولید بافت‌های گیاهچه ای شده و در نتیجه وزن تر و خشک گیاهچه کاهش می‌یابد (هاوریلک^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). پرایمینگ با

³ Sivritepe⁴ Alivand⁵ Dadshani⁶ Boniecka¹ Kaur² Hawrylak

شوری) و کم‌ترین درصد رطوبت گیاهچه (۶۵/۹۱ درصد) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۳). در این تحقیق، شوری درصد رطوبت گیاهچه را کاهش داد اما در تیمار با سدیم نیتروپروساید کاهش درصد رطوبت گیاهچه کم بود، هرچند بین سطوح سدیم نیتروپروساید اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. که با نتایج تحقیقات تیمار سدیم نیتروپروساید تحت تنش شوری روی گیاه نعنای و سیاه دانه مطابقت داشت (ارشان^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ کبیری و همکاران، ۲۰۲۳). تنش شوری با تجمع یون‌های سدیم و کلر در بافت گیاهچه درصد رطوبت گیاهچه را کاهش می‌دهد (مونس^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). به نظر می‌رسد که نیتریک اکسید حاصل از پرایمینگ با سدیم نیتروپروساید از راه افزایش محتوای رطوبت گیاهچه باعث افزایش فعالیت‌های پاداکسیدانی، کاهش خسارت رادیکال‌های آزاد و در نهایت افزایش تحمل گیاه در برابر تنش شوری می‌شود (ارشان و همکاران، ۲۰۲۳). افزایش درصد رطوبت گیاهچه طی پرایمینگ و کاهش آن در شرایط تنش شوری توسط سعادت و همکاران (۲۰۲۳a) گزارش شده است.

فعالیت آنزیم آمیلاز: جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات سدیم نیترو پروساید و شوری و اثر متقابل آن‌ها روی فعالیت آنزیم آمیلاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین آنزیم آمیلاز (۲۵/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار و سطح بدون شوری و کمترین فعالیت آمیلاز (۷/۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بذر) در تیمار شاهد (آب مقطر) با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۱G). انتقال مواد ذخیره‌ای جهت توسعه محور جنین بستگی به فعالیت آنزیم آمیلاز دارد، تا وقتی که گیاهچه رشد کند (ناندی^۳ و همکاران، ۱۹۹۵). در پژوهش حاضر، افزایش تنش شوری موجب کاهش فعالیت آنزیم آمیلاز شد، اما اعمال پرایمینگ سدیم نیتروپروساید اثرات مخرب حاصل از تنش شوری را

کاهش داد. با فعالیت بیشتر آنزیم آمیلاز طی پرایمینگ، تجزیه بیشتر نشاسته به مواد قندی و محتوای قند محلول در بذرهاى تیمار شده افزایش می‌یابد (فاروق^۴ و همکاران، ۲۰۰۶) و این امر باعث کاهش پتانسیل آب سلول و تسهیل ورود آب به درون سلول شد و در نتیجه رشد سلول را تحریک می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش آنزیم آمیلاز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در بذرهاى پرایم شده افزایش می‌دهد (کائور و همکاران، ۲۰۰۵). تحقیقات نشان داده است که شوری فعالیت آنزیم آمیلاز در برنج را کاهش می‌دهد (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳a)

مقدار مالون‌دی‌آلدئید: در این تحقیق، تأثیر سدیم نیتروپروساید و شوری بر مقدار مالون‌دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین مقدار مالون‌دی‌آلدئید (۰/۳۱۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) و کم‌ترین آن (۰/۱۵۹ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در تیمار با سدیم نیتروپروساید ۸۰ میکرومولار بود (جدول ۳). شوری این صفت را افزایش داد. به طوری که بیش‌ترین مقدار مالون‌دی‌آلدئید (۰/۳۲۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار و کم‌ترین مقدار این آن (۰/۱۶۷ میلی‌مول بر گرم وزن تر) در شاهد (بدون شوری) به‌دست آمد (جدول ۴). تنش شوری با افزایش گونه‌های فعال اکسیژن، محتوای مالون دی‌آلدئید را افزایش داده و این افزایش سبب تخریب غشای سلولی و نشت الکترولیت ناشی از تخریب و تجزیه چربی‌های غشا سلولی می‌شود (ملونی^۵ و همکاران، ۲۰۰۳؛ بلوچی و استادیان بیدگلی^۶، ۲۰۱۸). در واقع، علت افزایش مالون دی‌آلدئید در شرایط شوری به دلیل تولید رادیکال‌های آزاد از قبیل پراکسید هیدروژن است (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۱۴). تیمار با سدیم نیتروپروساید مقدار مالون دی‌آلدئید را کاهش داد که دلیل این امر به علت توانایی سدیم نیتروپروساید در محدود کردن تولید رادیکال‌های آزاد است، زیرا این رادیکال‌های آزاد باعث

⁴ Farooq⁵ Meloni⁶ Wang⁷ Balouchi and Ostadian Bidgoly¹ Arshan² Munns³ Nandi

پراکسیداسیون لیپیدها شده و در غشای سلولی و سیتوپلاسم اختلال ایجاد می‌کنند. نقش اکسید نیتریک رها شده از سدیم نیتروپروساید در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها مربوط به توانایی این ماده برای واکنش با رادیکال‌های لیپید آلکوکسیل و لیپید پراکسیل است که پراکسیداسیون را متوقف می‌کند (هی و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت طی کاربرد سدیم نیتروپروساید، منجر به کاهش مالون دی‌آلدئید می‌شود (سیروا^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). تحقیقات نشان داده است که شوری محتوای مالون دی‌آلدئید در برنج و لوبیا را افزایش می‌دهد (سعادت و همکاران، ۲۰۲۳b؛ فرهنگجو^۲ و همکاران، ۲۰۲۳).

نتیجه‌گیری

با بررسی شاخص‌های جوانه‌زنی برنج تحت تنش شوری، به نظر می‌رسد که جوانه‌زنی این گیاه نسبت به تنش شوری حساس می‌باشد. اما پرایمینگ بذر با سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید به ویژه تیمار ۸۰ میکرومولار، افزایش قابلیت جوانه‌زنی بذر و توسعه گیاهچه تحت تنش شوری را به همراه داشت. سدیم نیتروپروساید با کاهش آسیب‌های ناشی از شوری موجب افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و فعالیت آنزیم آمیلاز شد و چنین به نظر می‌رسد که سدیم نیتروپروساید می‌تواند از اثرات سوء ناشی از شوری را بکاهد.

¹ Sirova

² Farhangjou

منابع

- Ahmadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Kafi, M., Sefidkon, F. and Malekzadeh Shafaroudi, S. 2018. Effects of different levels of salinity stress on germination properties of medicinal plant *Salvia lerifolia* Benth. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 7: 43-55. [In Persian]
- Ali, I., He, L., Ullah, S., Quan, Z., Wei, S. and Iqbal, A. 2020. Biochar addition coupled with nitrogen fertilization impacts on soil quality, crop productivity, and nitrogen uptake under double-cropping system. Food and Energy Security, 9(3): e208. <https://doi.org/10.1002/fes3.208>
- Alivand, R. 2012. The study of deterioration in oil seed crops under different storage conditions. M.Sc. dissertation, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran. [In Persian].
- Anjum, Z., Hayat, S., Ghazanfar, M.U., Ahmad, S., Adnan, M. and Hussian, I. 2020. Does seed priming with trichoderma isolates have any impact on germination and seedling vigor of wheat. International Journal of Botany Studies, 5(2): 65-68.
- Apel, K. and Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology, 55: 373-399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Arshan, K., Samsampour, D. and Pasalari, H. 2023. The effect of sodium nitroprusside (SNP) on functional, phytochemical and physiological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. Plant Process and Function, 12(56): 315-323. [In Persian].
- Azizi, M., Shayesteh, K., Danehkar, A. and Salmanmahiny, A. 2020. A new ecosystem-based land classification of Iran for conservation goals. Environmental Monitoring and Assessment, 192(3): 182. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8145-1>
- Babaei Qaqlstany, A., Asadi Gakiyeh, M., Fallahi, N. and Hatami Ghare Ghoyini, N. 2016. Osmopriming effect on germination of wheat under allelopathic conditions of foxtail extract. Seed Research, 6(18): 11-19. [In Persian]
- Badem, A. and Söylemez, S. 2022, Effects of nitric oxide and silicon application on growth and productivity of pepper under salinity stress. Journal of King Saud University, 34: 102189. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102189>
- Bagheri, M.Z. 2014. The effect of maize priming on germination characteristics, catalase and peroxidase enzyme activity and total protein content under salt stress. International Journal Biosciences, 4(2): 104-112. [In Persian]
- Balouchi, H. and Ostadian Bidgoly, R. 2018. Effect of seed deterioration on germination and antioxidant enzymes activity of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) Red Bazrak genotype. Plant Process and Function, 7(23): 205-218. [In Persian].
- Basra, S.M.A., Pannu, I.A. and Afzal, I. 2003. Evaluation of seed vigor of hydro and matrimprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. International Journal of Agricultural Biological, 5(2): 121-123.
- Basra, S.M.A., Zia, M.N., Mehmood, T., Afzal, I. and Khaliq, A. 2002. Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. Pakistan Journal of Arid Agriculture, 5: 325-329.
- Boniecka, J., Kotowicz, K., Skrzypek, E., Dziurka, K., Rewers, M., Jedrzejczyk, I., Wilmowicz, E., Berdychowska, J. and Dąbrowska, G.B. 2019. Potential biochemical, genetic and molecular markers of deterioration advancement in seeds of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Industrial Crops and Products, 130(1): 478-490. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.098>
- Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousef, A.R., Baldwin, T.C. and Mastinu, A. 2022. Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of soil-seed interaction on the growth of seedlings. Soil Systems, 6(2): 37. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020037>
- Dadshani, S., Sharma, R.C., Baum, M., Ogbonnaya, F.C., Léon, J. and Ballvora, A. 2019. Multidimensional evaluation of response to salt stress in wheat. PloS one, 14(9): 16-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222659>

- Duman, I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K₃PO₄ on germination and seedling growth in lettuce. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9: 923-928. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.923.928>
- Ebrahimi, O., Esmaili, M.M., Sabori, H. and Tahmasebi, A. 2013. Effects of salinity and drought stress on germination of two species of (*Agropyron elongatum*, *Agropyron desertrum*). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 1: 31-38. [In Persian].
- Eisvand, H.R. and Maddah Arefi, H. 2007. Effects of some plant growth regulators on the physiological quality of *Bromus* aged seed. *Iranian Journal of Rangelands and Forest Plant Breeding and Genetic Research*, 15(2): 159-171. [In Persian].
- Farhangjou, S.E., Khavarinezhad, R., Saadatmand, S., Najafi, F. and Babakhani, B. 2023. Effect of salicylic acid on some morphological and biochemical traits of rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *Journal of Plant Production*, 30(2): 163-182. [In Persian].
- Farooq, S. and Azam, F. 2006. The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerance wheat varieties. *Journal of Plant Physiology*, 163(6): 629-637. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.06.006>
- Fathi Amirkhiz, K., Omidi, H., Heshmati, S. and Jafarzadeh, L. 2012. Study of black cumin (*Nigella sativa* L.) germination attributes and seed vigor under salinity stress by osmopriming accelerators pretreatment. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2): 299-310. [In Persian]
- Fathi, A., Baradaran, M. and Amerian, M.R. 2018. The effect of nitric oxide on seed germination and activities of some antioxidant enzymes in sesame under salt stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 5: 77-88. [In Persian]
- Fatima, A., Husain, T., Suhel, M., Prasad, S.M. and Singh, V.P. 2022. Implication of nitric oxide under salinity stress: The possible interaction with other signaling molecules. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41: 163-177. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10255-5>
- 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>
- Ghanbari, M. and Karamnia, S. 2016. Evaluation of the effect of seed aging on some characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) germination in the native stand of Gilan province under salt stress conditions. The 6th National Legume Conference of Iran, 4 April, Khorramabad, Iran. [In Persian].
- Gong, D., He, F., Liu, J., Zhang, C., Wang, Y., Tian, S., Sun, C. and Zhang X. 2022. Understanding of hormonal regulation in rice seed germination. *Life (Basel)*, 12(7): 1021. <https://doi.org/10.3390/life12071021>
- Guo, Y., Li, D., Liu, L., Sun, H., Zhu, L. and Zhang, K. 2022. Seed priming with melatonin promotes seed germination and seedling growth of *Triticale hexaploide* L, under PEG-6000 induced drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13: 932912. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932912>
- 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 H₂O₂ 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>
- Habib, N., Ali, Q., Ali, S., Javed, M.T., Zulqurnain Haider, M., Perveen, R., Shahid, M.R., Rizwan, M., Abdel-Daim, M.M. and Elkelish, A. 2020. Use of nitric oxide and hydrogen peroxide for better yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit conditions: Growth, osmoregulation, and antioxidative defense mechanism. *Plants*, 9: 285. <https://doi.org/10.3390/plants9020285>
- Hawrylak-Nowak, B., Rubinowska, K., Molas, J., Woch, W., Matraszek-Gawron, R. and Szczurowska, A. 2019. Selenium-induced improvements in the ornamental value and salt stress

- resistance of *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. *Folia Horticultureae*, 31: 213-221. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0016>
- He, J., Ren, Y., Chen, X. and Chen, H. 2014. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 108: 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.021>
- 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> ; <https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900040003x>
- Hosseinfard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, L. and Garnczarska, M. 2022. Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9): 5186. [In Persian] <https://doi.org/10.3390/ijms23095186>
- Hosseini-Moghaddam, M., Moradi, A., Piri, R., Glick, B.R., Fazeli-Nasab, B. and Sayyed, R.Z. 2024. Seed coating with minerals and plant growth-promoting bacteria enhances drought tolerance in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103202>
- ISTA. 2013. International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association (ISTA).
- Kabiri, R., Naghizadeh, M. and Delfani, M. 2021. Effect of sodium nitroprusside pretreatment on germination improvement and early growth of black cumin (*Nigella sativa*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 8(2): 177-194. [In Persian]
- Kasote, D., Sreenivasulu, N., Acuin, C. and Regina, A. 2021. Enhancing health benefits of milled rice: Current status and future perspectives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(29): 8099-8119. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1925629>
- Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N. 2005. Seed priming increase crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191: 81-87. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00140.x>
- 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.
- Kong, H., Zhang, Z., Qin, J. and Akram, N.A. 2021. Interactive effects of abscisic acid (ABA) and drought stress on the physiological responses of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 53(5): 1545-1551. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-5\(11\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-5(11))
- Li, X., Jiang, H., Liu, F., Cai, J., Dai, T., Cao, W. and Jinag, D. 2013. Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. *Plant Growth Regulation*, 71: 31-40. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9805-8>
- Liu, X., Quan, W. and Bartels, D. 2022. Stress memory responses and seed priming correlate with drought tolerance in plants: An overview. *Planta*, 255 (2): 45. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03828-z>
- Liu, Y., Liu, Y., Liu, H. and Shang, Y. 2018. Evaluating effects of ellagic acid on the quality of kumquat fruits during storage. *Scientia Horticulturae*, 227: 244-254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.055>
- Ma, L., Yang, S., Simayi, Z., Gu, Q., Li, J., Yang, X. and Ding, J. 2018. Modeling variations in soil salinity in the oasis of Junggar Basin, China. *Land Degradation and Development*, 29: 551-562. <https://doi.org/10.1002/ldr.2890>
- 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>

- Malik, J.A., AlQarawi, A.A., AlZain, M.N., Dar, B.A., Habib, M.M. and Ibrahim, S.N.S. 2022. Effect of salinity and temperature on the seed germination and seedling growth of desert forage grass *Lasiurus scindicus* Henr. Sustainability, 14: 8387. <https://doi.org/10.3390/su14148387>
- 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 Biotechnology, 16: 57-79. <https://doi.org/10.1081/FBT-120004201>
- 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]
- Meloni, D.A., Oliva, M.A., Martinez, C.A. and Cambraia, J. 2003. Hotosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione in cotton under salt stress. Environmental and Experimental Botany, 49: 69-76. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)
- Mohamed, I.A., Shalby, N., El-Badri, A.M.A., Saleem, M.H., Khan, M.N., Nawaz, M.A., Qin, M., Agami, R.A., Kuai, J. and Wang, B. 2020. Stomata and xylem vessels traits improved by melatonin application contribute to enhancing salt tolerance and fatty acid composition of *Brassica napus* L. Plants. Agronomy, 10(8): 1186. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081186>
- Mohapatra, S., Sirhindi, G. and Dogra, V. 2022. Seed priming with brassinolides improves growth and reinforces antioxidative defenses under normal and heat stress conditions in seedlings of *Brassica juncea*. Physiologia Plantarum, 174(6): e13814. <https://doi.org/10.1111/ppl.13814>
- Moradi, A. and Piri, R. 2018. Enhancement of salinity stress tolerance in cumin (*Cuminum cyminum* L.) as affected by plant growth promoting rhizobacteria during germination stage. Journal of Plant Process and Function, 6(22): 47-53. [In Persian] <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1396.6.22.8.2>
- Mumtaz, S., Hameed, M., Ahmad, F., Ahmad, M.S.A., Ahmad, I., Ashraf, M. and Saleem, M.H. 2021. Structural and functional determinants of physiological pliability in *Kyllinga brevifolia* Rottb. For survival in hyper-saline saltmarshes. Water, Air, & Soil Pollution, 232(10): 424. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05391-x>
- Munns, R., James R.A. and Läuchli, A. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57: 1025-1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>
- Mwando, E., Han, Y., Angessa, T.T., Zhou, G., Hill, C.B., Zhang, X.Q. and Li, C. 2020. Genome-wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). Frontiers in Plant Science, 11: 118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00118>
- Nandi, S., Das, G. and Sen-Mandi, S. 1995. β -amylase activity as an index for germination potential in rice. Annals of Botany, 75: 463-467. <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1046>
- Naseer, M.N., Rahman, F.U., Hussain, Z., Khan, I.A., Aslam, M.M., Aslam, A., Waheed, H., Khan, A.U. and 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>
- Neill, S., Barros, R., Bright, J., Desikan, R., Hancock, J., Harrison, J., Morris, P., Ribeiro, D. and Wilson, I. 2008. Nitricoxide, stomatal closure, and abiotic stress. Journal of Experimental Botany, 59: 165-176. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm293>
- Oliveira, T.F., Santos, H.O., Ribeiro, J. B., Pereira, W.V, Pereira, A.A. and Cunha Neto, A.R. 2022. Priming *Urochloa ruziziensis* (R. Germ. & Evrard) seeds with signalling molecules improves germination. Journal of Seed Science, 44: e202244044. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44i2e2484>
- Omidi, H., Leyla, J. and Hasanali, N. 2014. Seeds of medicinal plants and crops. Natural Resources and Environment, 269-189.

- Panahi, M., Akbari, G.A., Roustakhiz, J. and 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, 12: 211-222. [In Persian]
- Peanparkdee, M. and Iwamoto, S. 2019. Bioactive compounds from by-products of rice cultivation and rice processing: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. Trends in Food Science & Technology, 86: 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.041>
- 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>
- 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/10.22084/ppt.2023.26100.2075>
- 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>
- Sadak, M., Bakhroum, G. and Tawfic, M. 2022. Chitosan and chitosan nanoparticle effect on growth, productivity and some biochemical aspects of *Lupinus termis* L. plant under drought conditions. Egyptian Journal of Chemistry, 65: 1-2.
- Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., Ghanimati, S. and Kathyrlo, P. 2019. The effect of salinity stress on traits related to *Chenopodium quinoa* germination. Plant Ecology, 15:59-69.
- Seleiman, M.F., Semida, W.M., Rady, M.M., Mohamed, G.F., Hemida, K.A., Alhammad, B.A., Hassan, M.M. and Shami, A. 2020. Sequential application of antioxidants rectifies ion imbalance and strengthens antioxidant systems in salt-stressed cucumber. Plants, 9:1783. <https://doi.org/10.3390/plants9121783>
- Shang, J. X., Li, X., Li, C., and Zhao, L. 2022. The role of nitric oxide in plant responses to salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 23: 6167. <https://doi.org/10.3390/ijms23116167>
- Sirova, J., Sedlaova, M., Piterkova, J., Luhova, L. and Petrivalsky, M. 2011. The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen. Plant Science, 181: 560-572. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.03.014>
- Sivritepe, H. O., Sivritepe, N. and Eris, A. 2003. The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. Scientia Horticulturae, 97: 229-237. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00198-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00198-X)
- Sun, C., Zhang, H., Ge, J., Wang, C., Li, L. and Xu, L. 2022. Rice mapping in a subtropical hilly region based on sentinel-1 time series feature analysis and the dual branch BiLSTM model. Remote Sensing, 14(13): 3213. <https://doi.org/10.3390/rs14133213>
- Tania, S.S., Rhaman, M.S. and Hossain, M.M. 2020. Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of okra (*Abelmoschus esculentus* L.). Tropical Plant Research, 7: 86-93. <https://doi.org/10.22271/tpr.2020.v7.i1.012>
- Tsonev, T.D., Lazova, G.N., Stoinova Z.G. and Popova, L.P. 1998. A possible role for jasmonic acid in adaptation of barley seedling to salinity stress. Journal of Plant Growth Regulation, 17(3): 153-159. <https://doi.org/10.1007/PL00007029>

- Uçarlı, C. 2020. Effects of salinity on seed germination and early seedling stage. *Abiotic Stress Plants*, 211: 1-22. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93647>
- Uchida, A., Jagendorf, A.T., Hibino, T., Takabe, T. and Takabe, T. 2002. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Science*, 163: 515-523. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00159-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00159-0)
- Varier, A., Vari, A.K. and Dadlani, M. 2010. The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 99(4): 450-456.
- Wang, H.M., Xiao, X.R., Yang, M.Y., Gao, Z.L., Zang, J., Fu, X.M. and Chen, Y.H. 2014. Effects of salt stress on antioxidant defense system in the root of *Kandelia candel*. *Botanical Studies*, 55(1): 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0057-3>
- Yasir, T.A., Khan, A., Skalicky, M., Wasaya, A., Rehmani, M.I.A., Sarwar, N., Mubeen, K., Aziz, M., Hassan, M.M. and Hassan, F.A.S. 2021. Exogenous sodium nitroprusside mitigates salt stress in lentil (*Lens culinaris* Medik.) by affecting the growth, yield, and biochemical properties. *Molecules*, 26: 2576. <https://doi.org/10.3390/molecules26092576>
- Yi, Y., Peng, Y., Song, T., Lu, S., Teng, Z., Zheng, Q., Zhao, F., Meng, S., Liu, B. and Peng, Y. 2022. NLP2-NR module associated no is involved in regulating seed germination in rice under salt stress. *Plants*, 11: 795. <https://doi.org/10.3390/plants11060795>