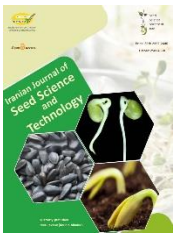
2025, 14 (2), 67-88 https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365361.1519

Seed Science Society of Iran

Seed and Plant Certification and Registration Institute

Iranian Journal of
Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended

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

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

Article Information

Received: 02 Apr. 2024
Revised: 16 May 2024
Accepted: 27 May 2024

Keywords:
Gibberellin,
Prolin,
Salicylic Acid,
Sodium Chloride,
Soluble sugars

Corresponding Author:
t.saadat 2020@gmail.com

Abstract

In order to investigate the effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea under salinity stress a factorial experiment was conducted based on completely randomized design at the University of Mohaghegh Ardabili in 2023 with 3 replications. treatments included four salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM) and four levels of priming (control, hydropriming, priming with gibberellin (50 ppm) and salicylic acid (100 ppm)). The results showed that salinity stress reduced germination percentage (GP), germination rate (GR), radicle and Seedling length (RL and SL) But, seed priming improved these traits. Salinity increased the allometric coefficient (AC), So that the highest was observed at (0.860) salinity of 100 Mm. The highest mean daily germination (MDG), plumule length (PL) and total seed protein content were observed in priming with gibberellin and control (without salinity). The maximum DGS (0.144) and MDA (0.0137 mmol/g FW) were related to the treatment with without priming and salinity of 100 mM. The amount of soluble sugars in gibberellin treatment and salinity of 100 mM compared to the control showed an increase about 56%. Also, the use of gibberellin increased amount of proline by about 40% compared to the control (without priming). In general, seed hydropriming, salicylic acid, especially gibberellin can be considered as a growth enhancer and reduce the adverse effects of salinity in chickpea plant

How to cite this paper: Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (2), 67-88. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365361.1519

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

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Pea is one of the most important food legumes worldwide due to its multiple uses: forage dry matter, green grains, green fodder, flour, straw and green manure. It is a rich source of protein because 100 grams of pea contain 6.55 g of protein, 0.84 g of lipids and 0.92 g of mineral salts. Salinity is one of the major abiotic stresses that threaten global food security by impacting agricultural production, particularly in arid and semi-arid regions of the world. Seed priming is a technique for minimizing emergence time, ensuring consistent germination, and improving crop performance. It is a treatment at pre-sowing, leading to a physiological condition that makes it more useful for the seed to germinate.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2023 as a factorial in the form of a completely randomized design with 3 replications at University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 75 and 100 mM sodium chloride) and four levels of priming (control, hydropriming, priming with gibberellin (50 ppm) and salicylic acid (100 ppm)). For priming, the seeds were immersed in priming solutions for 12 hours. Following priming, the seeds were washed with distilled water and dried. Subsequently, sodium chloride was added to each Petri dish for the germination test, which was executed in a total of three replications of 50 seeds each at a temperature of 20 °C for a duration of 8 days. Thereafter, germination indices and biochemical parameters were measured.

Results and Discussion

The results showed that salinity stress reduced germination percentage (GP), germination rate (GR), radicle and Seedling length (RL and SL) But, seed priming improved these traits. Salinity increased the allometric coefficient (AC), So that the highest was observed at (0.860) salinity of 100 Mm. The highest mean daily germination (MDG), plumule length (PL) and total seed protein content were observed in priming with gibberellin and control (without salinity). The decrease in the water potential gradient between the seeds and their surrounding environment due to disruption in the synthesis of essential enzymes for germination may explain the reduced germination under saline stress. Priming enhances the activity of enzymes that hydrolyze storage materials, enabling seedlings to readily absorb nutrients during germination. Consequently, primed seeds are able to complete the germination process in a shorter time frame. The increase in protein in gibberellin treatment could be due to the synthesis of dehydrin proteins, heat shock proteins, and antioxidant enzymes, and gibberellin probably prevents protein degradation by oxygen free radicals and increases protein levels. The maximum DGS (0.144) and MDA (0.0137 mmol/g FW) were related to the treatment with without priming and salinity of 100 mM. Radicals generated under saline conditions lead to the peroxidation of membrane lipids, consequently damaging cell membranes and resulting in increased malondialdehyde levels. The amount of soluble sugars in gibberellin treatment and salinity of 100 mM compared to the control showed an increase about 56%. Also, the use of gibberellin increased amount of proline by about 40% compared to the control (without priming). Increasing Osmolytes helps to reduce the level of reactive oxygen species in chickpea under salt stress.

Conclusions

The results of this study demonstrate that seed hydropriming, salicylic acid, especially gibberellin can be considered as a growth enhancer and reduce the adverse effects of salinity in chickpea plant

دوره ۱۴، شماره ۲، صفحات ۸۸-۶۷ https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365361.1519

نشریه علوم و فناوری بذر ایران

ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

تاثیر هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود (*Cicer arietinum* L.) رقم آرمان تحت تنش شوری

هانیه سعادت[1*]، محمد صدقی[2]

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

۲. استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود تحت تنش شوری آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و چهار سطح پرایمینگ (شاهد، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با جیبرلین (۵۰ پی‌پی‌ام) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ پی‌پی‌ام)) بود. نتایج نشان داد که شوری در صد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و گیاهچه را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر این صفات را بهبود بخشید. شوری ضریب آلومتری را افزایش داد، به‌طوری بیش‌ترین ضریب آلومتری (۰/۸۶۰) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود. بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه، طول ساقه‌چه و محتوای کل پروتئین بذر در تیمار جیبرلین و شاهد (بدون شوری) مشاهده شد. حداکثر سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۴۴) و محتوای مالون دی‌آلدئید (۰/۰۱۳۷ میلی‌مول بر گرم وزن تر) به تیمار بدون پرایمینگ و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار ارتباط داشت. میزان قندهای محلول در تیمار با جیبرلین و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد در حدود ۵۶ در صد افزایش نشان داد. همچنین، کاربرد جیبرلین میزان پرولین را نیز حدود ۴۰ در صد نسبت به شاهد (بدون پرایمینگ) افزایش داد. در کل، پرایمینگ بذر با هیدرو، اسید سالیسیلیک به‌ویژه جیبرلین به عنوان بهبوددهنده رشد و کاهنده اثرات نامطلوب شوری در گیاه نخود می‌تواند مطرح باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۷

واژه‌های کلیدی:

اسید سالیسیلیک،

پرولین،

جیبرلین،

قندهای محلول،

کلرید سدیم

نویسنده مسئول:

t.saadat2020@gmail.com

نحوه استناد به این مقاله:

Saadat, H., & Sedghi, M. (2025). The effect of hydropriming and hormone priming on some physiological and biochemical characteristics in chickpea cv. Arman (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress Extended. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *14* (2), 67-88. https://doi.org/10.22092/ijsst.2024.365361.1519

مقدمه

نخود یکی از مهم‌ترین گیاهان خودگشن و متعلق به تیره بقولات بوده و منبع مهم پروتئین برای میلیون‌ها نفر در کشورهای در حال توسعه است. علاوه بر این، محتوای پروتئین بالا (۲۰-۲۲٪) و غنی از کربوهیدرات، فیبر، مقادیر زیاد مواد معدنی و محتوای چربی کم است (Wallace et al. 2016).

شوری یکی از عمده‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که می‌تواند به طور قابل توجهی بر جوانه‌زنی، فیزیولوژی و بهره وری محصولات کشاورزی تأثیر بگذارد (Eswar *et al.* 2021). پیامدهای مخرب شوری بر روی گیاهان اغلب به شکل تنش اسمزی، عدم تعادل یونی، برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای، آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه های فعال اکسیژن، ناهنجاری های متابولیک و کاهش تقسیم سلولی است (Hafez et al. 2021; Tahjib-Ul-Arif et al. 2018). این اثرات با هم باعث کاهش رشد گیاه، و تولید محصول می شود (Gharib et al. 2016). تنش اسمزی ناشی از شوری و تنش یونی باعث افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود که باعث آسیب به اندامک‌های سلولی و اجزای غشاء شده و باعث مرگ سلول و گیاه در سطوح شدید شوری می شود (Hasanuzzaman et al. 2021). جوانه‌زنی یک مجموعه تجمعی از چندین پدیده بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی مانند فعال شدن مجدد تنفس سلولی، بسیج متابولیت‌ها، سنتز mRNA و پروتئین ها و فعال‌سازی تقسیم سلولی است (Riyazuddin et al. 2020). تنش شوری می‌تواند جوانه‌زنی بذر را مهار کند، زمان جوانه‌زنی را به تاخیر بیاندازد و درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش دهد (Malik et al. 2022). چنین اثرات منفی تنش شوری بر روی جوانه‌زنی بذر می‌تواند از طریق اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و دفاع آنتی اکسیدانتی ناشی از تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن همراه با تغییرات غشای سلولی و پراکسیداسیون لیپیدی که می‌تواند به دلیل افزایش یون سدیم همراه با افزایش گونه های فعال اکسیژن رخ دهد (Apel & Hirt. 2004). گیاهان می‌توانند با الهام بخشیدن به آنزیم های آنتی‌اکسیدانتی همراه با آنتی‌اکسیدانت های غیر آنزیمی برای کاهش اثرات منفی تنش‌های غیر زنده در گونه‌های گیاهی عمل کنند و مکانیسم های آنتی‌اکسیدانتی برای مهار گونه‌های فعال اکسیژن داشته باشند (Parida et al. 2005).

پاسخ های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی بذر های مختلف گیاهان زراعی به کاربرد پرایمینگ بذر، آن را به یک رویکرد پذیرفته شده برای مقابله با تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان تبدیل کرده است (Marthandan et al. 2020). پرایمینگ بذر شامل هیدراته کردن بذرها برای القای جوانه‌زنی است، اما نه جوانه زدن، که در آن ریشه‌چه‌ها ظاهر شوند (Sen & Puthur. 2020). فعال کردن فرآیندهای بیوشیمیایی مانند آنتی‌اکسیدانت‌ها و سیستم‌های متابولیک مانند ترمیم اسید نوکلئیک و سنتز پروتئین در طول پرایمینگ بذر، دوره بین کاشت و استقرار را کاهش می‌دهد. پرایمینگ بذر فرآیندی است که گیاه را با تنش‌های محیطی آتی از طریق مواجهه قبلی با تنش‌ها سازگار می‌کند و تحمل گیاه را در برابر تنش‌ها در شرایط متغیر محیطی افزایش می‌دهد (Ding et al. 2019; Sher et al. 2019). از رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ می‌توان به، هیدرو پرایمینگ (خیساندن بذرها در آب)و تنظیم‌کننده‌های رشد (جیبرلین و اسید سالیسیلیک) اشاره کرد (Mondal et al. 2021). برخی از مزایای ارائه شده توسط پرایمینگ بذر عبارتند از: ۱) پرایمینگ بذر می‌تواند روند جوانه‌زنی را تسریع کند و سرعت سبز شدن گیاهچه را حتی در شرایط آب و هوایی شدید افزایش دهد، ۲) با عمل به عنوان یک تنظیم کننده رشد در شرایط محدود، تحمل به شوری را در گیاهان بهبود بخشد. ۳) این تکنیک به طور گسترده توسط تکنسین بذر برای افزایش بنیه بذر و بهبود پتانسیل جوانه‌زنی استفاده می‌شود (Devika et al. 2021; Marthandan et al. 2020). پرایمینگ بذر احتمالاً می‌تواند به جوانه زدن بذر کمک کند تا تنش شوری را با خنثی کردن سمیت یونی یا با ارتقای مکانیسم های دفاعی کاهش دهد (Tlahig et al. 2021). همچنین، پرایمینگ بذر باعث ایجاد یک سری تغییرات بیوشیمیایی مانند فعال شدن آنزیم، هیدرولیز، ترمیم متابولیک و ایجاد متابولیت های تقویت کننده جوانه‌زنی منجر به تسریع جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه می‌شود (Hussain et al. 2016; Iqbal et al. 2020). چاراچیموی و همکاران (Charachimwe et al. 2023) گزارش کردند که پرایمینگ جوانه‌زنی و بنیه گیاهچه در نخود بهبود بخشید. نتایج مشابهی توسط (Saadat et al. 2020a, 2020b, 2021) که پرایمینگ با هیدرو، اسید سالیسیلیک و

جیبرلین درصد جوانه‌زنی، ضریب جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه و پروتئین تحت شرایط تنش در گیاهان مختلف افزایش و مالون دی‌آلدئید و میانگین مدت جوانه‌زنی را کاهش می‌دهد. گزارش گردید.

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر هیدرو پرایمینگ، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین در شرایط آزمایشگاهی و تحت تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود رقم آرمان جهت تعدیل اثرات مضر ناشی از تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر هیدروپرایمینگ و هورمون پرایمینگ بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه نخود رقم آرمان تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح شوری (۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار) و چهار سطح پرایمینگ (بدون پرایمینگ، هیدرو پرایمینگ، پرایمینگ با جیبرلین (۵۰ پی‌پی‌ام) و اسید سالیسیلیک (۱۰۰ پی‌پی‌ام)) در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۲ انجام شد. بذر گواهی شده نخود رقم آرمان تولید ۱۴۰۱ بود که از موسسه وابسته به شرکت فنی و مهندسی کیمیاگر گستر تهیه شده بود. ابتدا بذرها درون محلول‌های پرایمینگ و آب مقطر به‌مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند. بعد از پرایمینگ، بذرها به‌وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. آزمون جوانه‌زنی به روش پتری‌دیش در سه تکرار ۵۰ بذری در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۸ روز در داخل ژرمیناتور انجام گرفت (ISTA, 2010). در این روش، از کاغذهای صافی واتمن استفاده شد. کف ظرف با استفاده از یک لایه کاغذ صافی پوشانده و ۵۰ عدد بذر روی کاغذ صافی که با آب مقطر خیسانده شده بود، قرار گرفت و به هر پتری‌دیش محلول شوری (کلرید سدیم برند مرک) ۲۰ میلی‌لیتر اضافه شد، پس از بستن درب، ظرف به داخل ژرمیناتور منتقل شد. در این مرحله از آزمون، شمارش بذرها یک روز پس از انتقال بذرها به محیط کشت آغاز شد و تا ثابت شدن جوانه‌زنی (۸ روز) پس از کاشت ادامه یافت. برای خشک کردن ریشه‌چه و ساقه‌چه از آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه از خط‌کش مدرج بر حسب سانتی‌متر و وزن تر و خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه از ترازو با دقت یک هزارم استفاده شد. همچنین، برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه ۱ (Omidi et al. 2014)، سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۲ (Ellis & Roberts. 1980)، سرعت جوانه‌زنی روزانه از رابطه ۳ (Maguire, 1962)، میانگین جوانه‌زنی روزانه رابطه ۴ (Hoogenboom & Peterson. 1987) و ضریب آلومتری از رابطه ۵ (Ebrahimi et al. 2013) و درصد رطوبت گیاهچه از رابطه ۶ (Tsonev et al. 1998) استفاده شد.

رابطه ۱ $GP = (N\times100) / M$

N: تعداد بذر جوانه‌زده، M: تعداد کل بذور

رابطه ۲ $GR = \sum_{I=1}^{N} Si / Di$

GR: سرعت جوانه‌زنی (تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز) Si: تعداد بذرهای جوانه زده در هر روز Di: تعداد روز تا شمارش nام

رابطه ۳ $DGS=1/MDG$

MDG: میانگین جوانه زنی روزانه

رابطه ۴ $MDG = PG/Tx$

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

رابطه ۵ $CA = LS/LR$

LS: طول ساقه‌چه، LR: طول ریشه‌چه

رابطه ۶ $STWP= SFW– SDW/ SFW \times100$

SDW: وزن خشک گیاهچه (گرم)، SFW: وزن تر گیاهچه (گرم)

سنجش میزان پرولین

سنجش میزان پرولین براساس روش بیتس و همکاران (Bates et al. 1973) انجام گردید. در این روش ۰/۵ 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 اسید نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک خالص در بن‌ماری به مدت یک ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد 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 قندهای محلول

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

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید

سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید براساس روش مک‌کوئی و شتی (McCue & Shetty. 2002) 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 اسید ۲۰ 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 رو شناور در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت مالون دی‌آلدئید از ضریب خاموشی معادل ۱۵۵ $mM^{-1}cm^{-1}$ و معادله زیر استفاده شد، که در آن A جذب خوانده شد، € ضریب خاموشی، B عرض کووت و C غلظت کمپلکس بر حسب میلی‌مولار است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب میلی‌مولار بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$A= €BC$$

اندازه‌گیری میزان پروتئین

برای استخراج پروتئین کل از ساقه‌چه از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. جهت تهیه معرف پروتئین برادفورد ۱۰۰ میلی‌گرم کوماسی برلیانت بلوجی در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ به مدت زمان حداقل یک ساعت حل و پس از آن، ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ٪۸۵ قطره قطره به آن اضافه شد و با آب مقطر حجم محلول به ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. برای حذف ذرات معلق، محلول از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد. در نهایت ۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد همراه با ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی مخلوط و میکسر شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. عدد حاصل براساس میلی‌گرم بر گرم وزن نمونه بذری محاسبه گردید.

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.

بحث و نتایج

درصد جوانه‌زنی

طبق نتایج تجزیه واریانس تیمار پرایمینگ، شوری و اثر متقابل آن‌ها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی (۹۶ درصد) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون حضور شوری و کم‌ترین مقدار آن (۶۷/ ۵۵ درصد) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی مولار مشاهده شد. البته پرایمینگ با اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ اثر قابل توجهی بر درصد جوانه‌زنی گذاشتند، اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسیدسالیسیلیک و هیدروپرایمینگ بود (جدول ۳).

سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر ساده

پرایمینگ و تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی اثرات متقابل آن‌ها غیر معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی (۳۶/۹۲۵ بذر در روز) در پرایمینگ با جیبرلین مشاهده شد (جدول ۴). البته سطوح اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز در سرعت جوانه‌زنی موثر بود (جدول ۳). با افزایش سطوح شوری سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت به طوری‌که کمترین مقدار این صفت (۲۵/۹۴۸ بذر در روز) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد (جدول ۵).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و شوری روی صفات فیزیولوژیکی در گیاهچه نخود

Tabel 1- Analysis of variance for the effect of priming and Salinity on physiological traits in Pea Seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.F.	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination Rate	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Speed	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول ریشه‌چه Radicle length	طول ساقه‌چه Pedicel length	طول گیاهچه Seedling Length
پرایمینگ Priming (P)	3	1869.805**	226.277**	0.00382522**	29.216**	0.1690**	23.666**	12.519**	67.138**
شوری Salinity (S)	3	622.583**	284.041**	0.00164634**	9.728**	0.0011ns	7.378**	5.628**	25.714**
اثر متقابل پرایمینگ و شوری P×S	9	66.305**	1.131ns	0.00021187*	1.036**	0.0153ns	0.076 ns	0.195*	0.592ns
خطا Error (E)	30	20.965	3.847	0.00007300	0.328	0.0267	0.124	0.083	0.308
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		6.149	6.237	7.683	6.149	19.280	8.586	8.492	7.405

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

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

سرعت جوانه‌زنی روزانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ و شوری در سطح احتمال یک در صد و اثرات متقابل این دو عامل مورد مطالعه بر سرعت جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال پنج در صد معنی‌دار شد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۱۴۴) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). کاربرد جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ توانست سرعت جوانه‌زنی روزانه را کاهش دهد. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بود به طوری‌که کمترین سرعت جوانه‌زنی روزانه (۰/۸۳۰) مربوط به پرایمینگ با جیبرلین و بدون شوری بود (جدول ۳).

میانگین جوانه‌زنی روزانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ای این صفت نشان داد که تاثیر پرایمینگ، شوری و اثرات متقابل آن ها بر میانگین جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). بیش‌ترین میانگین جوانه‌زنی روزانه (۱۲) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون شوری به‌دست آمد. هر چند اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز روی آن تاثیر گذاشت اما اثر جیبرلین بیشتر بود (جدول ۳). و کم‌ترین مقدار این صفت (۶/۹۵۸) در شاهد و شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پرایمینگ و شوری روی صفات بیوشیمیایی در گیاهچه نخود

Tabel 2- Analysis of variance for the effect of priming and Salinity on studied traits in Pea Seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D.F.	درصد رطوبت گیاهچه Seedling Moisture Percentage	پروتئین Protein	پرولین Proline	قندهای محلول Soluble Sugars	مالون دی‌آلدئید Malondialdehyde
پرایمینگ Priming (P)	3	63.685**	31.473**	6.313**	146.803**	0.00221324**
شوری Salinity (S)	3	2339.463**	10.679**	9.534**	7.074**	0.01178958**
اثر متقابل پرایمینگ و شوری P×S	9	199.020**	0.837**	0.073 ns	0.131**	0.00056445**
خطا Error (E)	30	9.406	0.261	0.185	0.042	0.00018295
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.498	4.238	12.560	1.653	26.063

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و شوری روی صفات فیزیولوژیکی در نخود

Tabel 3- Mean Comparison on interaction effect of salinity and priming for physiological traits in Pea

تیمار Treatment	درصد جوانه‌زنی Germination Percentage (%)	سرعت جوانه‌زنی روزانه Daily Germination Speed	میانگین جوانه‌زنی روزانه Mean Daily Germination	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر) Pedicel length (cm)	درصد رطوبت گیاهچه (درصد) Seedling Moisture Percentage (%)
شاهد و بدون شوری P1s1	73.000efg	0.119cd	8.375efg	2.707fg	95.431bc
شاهد و شوری ۵۰ میلی‌مولار P1s2	63.333fgh	0.126cd	7.917fgh	2.437gh	95.952bc
شاهد و شوری ۷۵ میلی‌مولار P1s3	58.667gh	0.136ab	7.333gh	2.067hi	98.579a
شاهد و شوری ۱۰۰میلی‌مولار P1s4	55.667h	0.144a	6.958h	1.633i	59.893e
هیدروپرایمینگ بدون شوری P2s1	74.333de	0.108de	9.292de	3.670de	91.348bcd
هیدروپرایمینگ ۵۰ میلی‌مولار P2s2	71.000def	0.113cd	8.875def	3.313e	96.312b
هیدروپرایمینگ ۷۵ میلی‌مولار P2s3	66.667efg	0.121cd	8.333efg	2.730fg	98.782a
هیدروپرایمینگ ۱۰۰ میلی‌مولار P2s4	63.333fgh	0.127bc	7.917fgh	2.033hi	62.559e
اسید سالیسیلیک و بدون شوری P3s1	92.333ab	0.088g	11.542ab	4.446c	90.373cd
اسید سالیسیلیک ۵۰ میلی‌مولار P3s2	83.333c	0.096efg	10.417c	4.097cd	90.438cd
اسید سالیسیلیک ۷۵ میلی‌مولار P3s3	75.667d	0.107def	9.458d	3.673de	95.654bc
اسید سالیسیلیک ۱۰۰ میلی‌مولار P3s4	59.000gh	0.140a	7.375gh	3.200ef	60.600e
جیبرلین و بدون شوری P4s1	96.000a	0.084g	12.000a	5.620a	89.285d
جیبرلین ۵۰ میلی‌مولار P4s2	92.667ab	0.086g	11.583ab	5.133b	89.526d
جیبرلین ۷۵ میلی‌مولار P4s3	87.667bc	0.0913fg	10.958bc	4.033cd	91.035bcd
جیبرلین ۱۰۰ میلی‌مولار P4s4	84.667bc	0.095efg	10.5833cd	3.3667e	85.917d

Priming (P): پرایمینگ، Salinity (S): شوری

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

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

ضریب آلومتری

نتایج حا صل از تجزیه واریانس بیانگر آن ا ست که تنها اثر ساده پرایمینگ بر ضریب آلومتری در سطح احتمال یک در صد معنی‌دار شد و اثر ساده شوری و اثرات متقابل پرایمینگ و شوری غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). طبق نتایج مقایسات میانگین بیش‌ترین ضریب آلومتری (۰/۹۳۷) در شاهد و کمترین مقدار این صفت (۰/۷۲۱) در هیدرو پرایمینگ بود (جدول ۴). هرچند اسید سالیسیلیک و جیبرلین نیز در ضریب آلومتری تاثیر داشت. بین سطوح شوری در این صفت تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۵).

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و تنش شوری بر طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها تنها بر طول ساقه‌چه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۱). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین طول ریشه‌چه و گیاهچه به‌ترتیب ۶ و ۱۰/۴۰۸ سانتی‌متر در پرایمینگ با جیبرلین و کمترین طول ریشه‌چه (۲/۴۸۸ سانتی‌متر) و طول گیاهچه (۴/۶۹۹ سانتی‌متر) در شاهد بود (جدول ۴). با تشدید شوری طول ریشه‌چه و گیاهچه کاهش یافت به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار طول ریشه‌چه و گیاهچه به ترتیب ۴/۹۶۴ و ۹/۰۷۵ سانتی‌متر در شاهد بود. (جدول ۵). بیش‌ترین طول ساقه‌چه (۵/۶۲۰ سانتی‌متر) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون حضور شوری و کمترین مقدار آن (۱/۶۳۳ سانتی‌متر) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی مولار بود (جدول ۳). در این تحقیق، هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک روی طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تاثیر گذاشت. اما تاثیر جیبرلین بیشتر از اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بود.

درصد رطوبت گیاهچه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمار پرایمینگ و شوری و اثر متقابل آن‌ها بر در صد رطوبت گیاهچه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین درصد رطوبت گیاهچه (۹۸/۷۸۲ در صد) در پرایمینگ با ا سید سالیسیلیک و شوری ۷۵ میلی‌مولار و کمترین آن (۵۹/۸۹۳ درصد) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بود (جدول ۳). هیدرو پرایمینگ و جیبرلین نیز روی درصد رطوبت گیاهچه تاثیر گذاشت. اما تاثیر اسید سالیسیلیک بیشتر از جیبرلین و هیدرو پرایمینگ بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر پرایمینگ روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نخود

Tabel 4- Mean Comparison for the effect of Priming on physiological and biochemical traits in Pea

پرایمینگ Priming	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed-1day)	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling Length (cm)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) ($\mu Mg^{-1}FW$)[1]
شاهد Control	26.792[d]	0.937[a]	2.488[c]	4.699[d]	2.368[c]
هیدرو پرایمینگ Hydropriming	29.525[c]	0.722[b]	4.020[b]	6.957[c]	3.533[b]
اسیدسالیسیلیک Salicylic acid	32.540[b]	0.960[a]	4.078[b]	7.932[b]	3.876[ab]
جیبرلین Gibberellin	36.925[a]	0.772[b]	6.001[a]	10.408[a]	3.919[a]

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

The different letters in each column indicate a significant differences at 1% probability level.

پروتئین

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده پرایمینگ، تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای پروتئین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین

بیش ترین محتوای پروتئین (۵/۴۷۳ میلی گرم در گرم) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون شوری و کمترین محتوای پروتئین (۱/۶۳۳ میلی گرم در گرم) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی مولار حاصل شد (شکل ۱ (A)). پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز اثر مثبتی بر محتوای پروتئین داشت، به‌طوری که بعد از جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بیش‌ترین محتوای پروتئین را نشان دادند (شکل ۱ (A)).

پرولین

طبق جدول تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ و تنش شوری بر مقدار پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثرات متقابل پرایمینگ و تنش شوری بر این صفت غیر معنی‌دار شد (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین مقدار پرولین (۳/۹۱۹ میکرومول بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین بود. پرایمینگ با اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز اثر مثبتی بر پرولین داشتند (جدول ۴)، به‌طوری که بعد از جیبرلین، اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ بیش‌ترین مقدار پرولین را نشان دادند (جدول ۴). طبق نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با افزایش سطوح شوری به مقدار پرولین افزوده می‌شود. به‌طوری که بیش‌ترین مقدار آن (۴/۴۶۴ میکرومول بر گرم وزن تر) در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مشاهد شد (جدول ۵).

قندهای محلول

پرایمینگ و تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر محتوای قندهای محلول را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). طبق نتایج مقایسات میانگین بیش‌ترین میزان قندهای محلول (۱۷/۶۱۶میلی گرم بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین و شوری ۱۰۰ میلی مولار و کمترین آن (۷/۸۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) در شاهد و بدون حضوری شوری مشاهده شد (شکل ۱ (B)). البته سطوح اسید سالیسیلیک و هیدرو پرایمینگ نیز در میزان قندهای محلول موثر بود(شکل ۱ (B)).

مالون دی‌آلدئید

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ساده پرایمینگ، شوری و اثرات متقابل این دو عامل مورد مطالعه بر مالون دی‌آلدئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین محتوای مالون دی‌آلدئید (۰/۱۳۶۷ میلی مول بر گرم وزن تر) در شاهد با شوری ۱۰۰ میلی مولار و کمترین مقدار آن (۰/۰۱۳۶ میلی مول بر گرم وزن تر) در پرایمینگ با جیبرلین و بدن حضور شوری به‌دست آمد (شکل ۱ (C)). هیدرو پرایمینگ و اسید سالیسیلیک مالون دی‌آلدئید را کاهش دادند ولی تاثیر پرایمینگ با جیبرلین روی این صفت بیشتر بود (شکل ۱ (C)).

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر شوری روی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در نخود

Tabel 5-. Mean Comparison for the effect of Salinity on physiological and biochemical traits in Pea

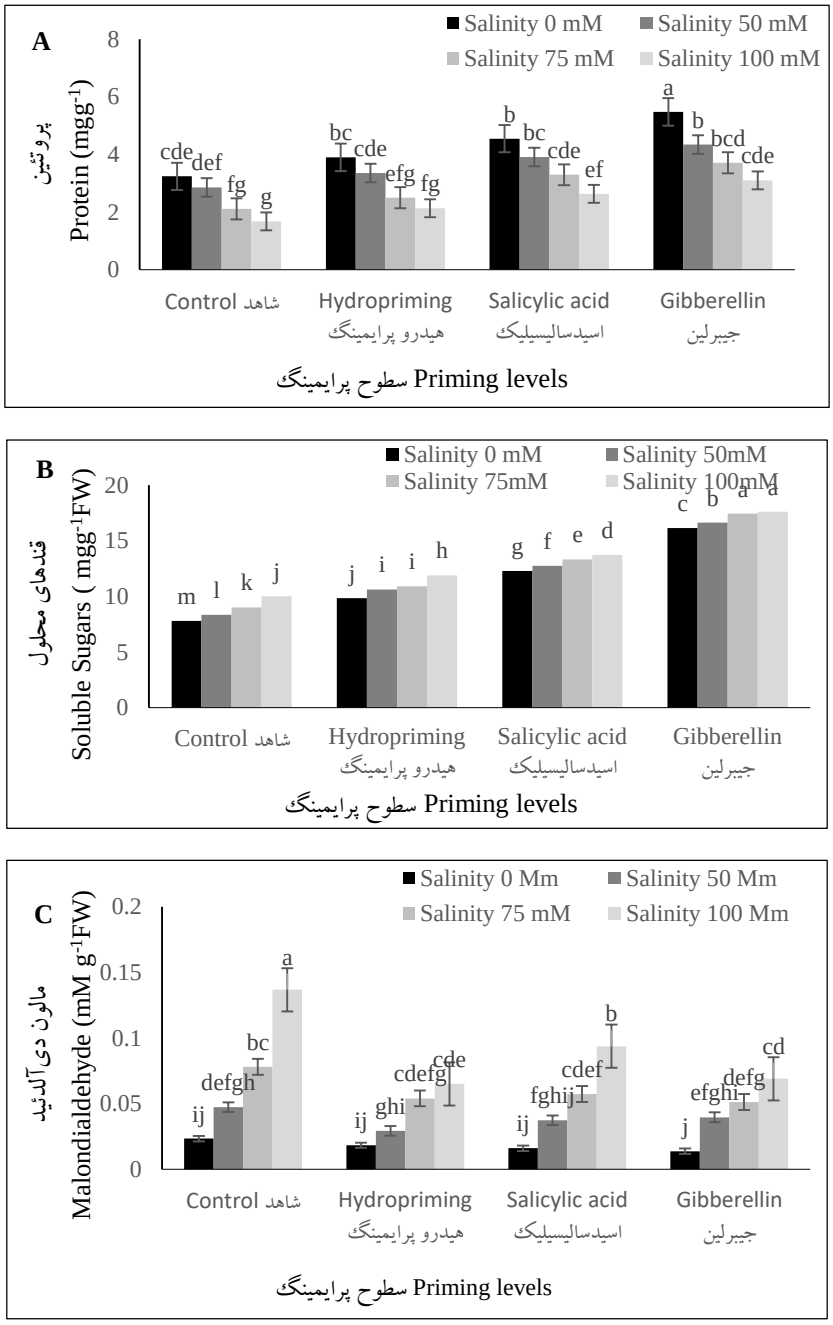
شوری (میلی‌مولار) Salinity (Mm)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز) Germination Rate (seed-1day)	ضریب آلومتری Allometry Coefficient	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر) Radicle length (cm)	طول گیاهچه (سانتی‌متر) Seedling Length (cm)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) $(\mu Mg^{-}FW)^{1}$
0	37.058[a]	0.837[a]	4.964[a]	9.075[a]	2.417[d]
50	33.542[b]	0.847[a]	4.477[b]	8.222[b]	3.028[c]
75	29.233[c]	0.8487[a]	3.796[c]	6.974[c]	3.787[b]
100	25.943[d]	0.8607[a]	3.167[d]	5.725[d]	4.464[a]

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

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

در شرایط شوری، تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن سلول‌های گیاهی را با القای پراکسیداسیون لیپیدی، اکسیداسیون پروتئین، آسیب اسید نوکلئیک، مهار آنزیم و شروع فرآیند مرگ سلولی برنامه‌ریزی‌شده در معرض خطر قرار می‌دهد (Gill et al. 2010). افزایش یون های سدیم در داخل بذر ها می‌تواند باعث ایجاد سمیت یونی شود و یکپارچگی غشای سلولی

را به‌دلیل دناتوره شـدن پروتئین‌های غشـاء و پراکسـیداسـیون فسـفولیپیدها از بین ببرد (Chen et al. 2020). متعاقباً، هموسـتاز یونی، جذب مواد مغذی ضـروری، مکانیسـم حمل و نقل فعال و تنظیم اسـمزی را بسـته به شـدت تنش شـوری محدود می‌کند (Hasanuzzaman et al. 2022). تعـادل غیرمعمول یون‌هـای مختلف می‌تواند فعالیت های متابولیکی آنزیم ها را به حداقل برسـاند و منجر به جوانه‌زنی کم بذرهای کاشـته شـده در شـرایط تنش شوری شود (Mbarki et al. 2018).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل پرایمینگ و شوری روی پروتئین (A)، قندهای محلول (B) و مالون دی‌آلدئید (C) در نخود.
حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

Figure 1- Mean Comparison for the interaction effect of Priming and Salinity on Protein (A), Soluble Sugars (B), Malondialdehyde (C) in Pea. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

در مطالعه حاضر، بالاترین سطح تنش شوری (۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و به دنبال آن ۵۰ و ۷۵ میلی مولار کلرید سدیم به طور معنی‌داری بر اکثر صفات مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد تأثیر گذاشت. کاهش درصد جوانه‌زنی در نخود تحت شوری می‌تواند مربوط به تاثیر تنش بر نفوذپوذیری غشا، افزایش تنفس بذر و کاهش انرژی اولیه مورد نیاز بذر برای جوانه‌زنی باشد (Nazari et al. 2020). پاسخ مثبت به جوانه‌زنی بذر نخود طی پرایمینگ ممکن است به دلیل نقش آن در تأثیرگذاری بر نفوذپذیری غشاها باشد که در نهایت منجر به فعال شدن آنزیم‌های دخیل در سنتز پروتئین و متابولیسم کربوهیدرات می‌شود (Devasirvatham et al. 2012). شوری با کاهش فعالیت های متابولیکی لازم، سرعت جوانه‌زنی را کاهش داده و روند جوانه‌زنی را به تأخیر می‌اندازد (Debez et al. 2020). دلایل مختلفی برای تاخیر و سرکوب جوانه‌زنی بذر در شرایط تنش شوری وجود دارد. اولاً، شوری پتانسیل اسمزی محیط خارجی را کاهش می‌دهد و ظرفیت بذرها را برای جذب آب محدود می‌کند و در نتیجه رشد سلولی را مهار می‌کند (Migahid et al. 2019). ثانیاً، تنش شوری ممکن است با مکانیسم‌های مختلف، مانند اختلال در ساختار پروتئین، کارایی تحرک ذخایر بذر را در طول جوانه‌زنی کاهش دهد (Ibrahim et al. 2016). به عبارت دیگر، کاهش جوانه‌زنی طی تنش شوری، ممکن است به علت کاهش پتانسیل اسمزی باشد که منجر به کاهش جذب آب توسط بذر می‌شود (Ma et al. 2018; Seleiman et al. 2020). همچنین، سمیت یونی حاصل از تنش شوری می‌تواند از طریق فعالیت آنزیمی مانند تنفس، هیدرولیز مواد مغذی و تولید انرژی بر فرآیندهای متابولیکی تأثیر نامطلوب بگذارد (Naseer et al. 2022; Mwando et al. 2020). کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری در این تحقیق می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت آنزیم های مرتبط با فرآیند جوانه‌زنی که در اثر تخریب ساختمان سه بعدی آنزیم‌ها رخ می‌دهد باشد (Fabian et al. 2008). با کاهش جذب آب طی تنش فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به تاخیر افتاده و در نهایت مدت زمان لازم برای خروج ریشه‌چه از بذر زیاد شده و سرعت جوانه‌زنی کاهش می یابد (Armand et al. 2015). پرایمینگ بذر، از طریق فعال کردن برخی آنزیم ها در بذر و دسترسی راحت‌تر به مواد مغذی در مرحله جوانه‌زنی می‌تواند سرعت جوانه‌زنی را افزایش دهد. بذرهای تیمار شده سریع‌تر جوانه‌زده و تحمل بیشتری به تنش دارند (Bahrasemani et al. 2024). در این تحقیق، فعال شدن آنزیم‌ها، ساخت محرک‌های رشد، بازسازی آسیب سلولی به بذرها در طول پرایمینگ سرعت جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد (Digirolamo et al. 2021). در واقع افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذور پرایم شده می‌تواند به دلیل افزایش سرعت جذب آب ترمیم و آماده‌سازی ساختار و آنزیم‌های بذر و تضعیف پوسته بذری مربوط باشد (Johnson & Puthur. 2021; Mondal & Bose. 2021). افزایش سرعت جوانه‌زنی در پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسلیک و جیبرلین روی لوبیا و برنج نیز گزارش شده است (Saadat & Sedghi. 2021; Saadat et al. 2020b). کاهش سرعت جوانه‌زنی تحت تنش شوری نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023a; Saadat et al. 2023b). در این تحقیق، سرعت جوانه‌زنی روزانه طی پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک به‌ویژه جیبرلین کاهش یافت. از آنجایی که، این صفت عکس میانگین جوانه‌زنی روزانه است، در نتیجه افزایش در میانگین جوانه‌زنی روزانه در طول هورمون پرایمینگ و هیدرو پرایمینگ موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه شد. Saadat et al. (2023c) مشاهده کردند که سرعت جوانه‌زنی روزانه تحت تنش شوری افزایش یافت. کاهش سرعت جوانه‌زنی روزانه در پرایمینگ با آب مقطر، اسید سالیسیلیک و جیبرلین نیز گزارش شده است (Saadat & Sedghi. 2021). در این تحقیق، پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین میانگین جوانه‌زنی روزانه را افزایش داد. میانگین جوانه زنی روزانه از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره اجرای آزمایش به‌دست می‌آید، بنابراین، افزایش درصد جوانه‌زنی در طی پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین موجب افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه خواهد شد. کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی طی تنش شوری می‌تواند به دلیل بروز اختلالات رشدی و کوچک شدن غیرطبیعی سلولی در مرحله جوانه‌زنی باشد (Ghanbari et al. 2019) و همچنین به دلیل تکمیل تمام فرآیندهای متابولیکی قبل از جوانه‌زنی ناشی از پرایمینگ باشد (Sadeghi et al. 2011). بهبود در جوانه‌زنی

ممکن است ناشی از حفظ حمل و نقل مواد غذایی ذخیره شده، محرک، و سنتز مجدد آنزیم ها، و بیوسنتز DNA و RNA در طول پرایمینگ باشد (Mohamed et al. 2019). (2023c) Saadat et al. مشاهده کردند که میانگین جوانه‌زنی روزانه تحت تنش شوری افزایش یافت. افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه در پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2021). از آنجایی که ضریب آلومتری از تقسیم طول ساقه‌چه به ریشه‌چه حاصل می‌شود، کاهش آن طی تنش شوری نشان دهنده کاهش طول ساقه‌چه نسبت به ریشه‌چه است و پرایمینگ با آب مقطر، با اسیدسالیسیلک، به‌ویژه جیبرلین آن را بهبود بخشید در این پژوهش، شوری ضریب آلومتری را کاهش داد هر چند تفاوت معنی‌داری بین سطوح شوری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار نبود و این امر بیانگر کاهش جذب آب به‌وسیله بذر تحت شرایط تنش شوری است که موجب کاهش ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌های آلفا آمیلاز، لیپاز و اینورتاز شده و سبب اختلال در ساقه‌چه می‌گردد و در نتیجه بر نسبت طول ساقه‌چه به ریشه‌چه تاثیر می‌گذارد (Panahi et al. 2012). همچنین، شوری انتقال مواد غذایی از لپه به محور جنینی را محدود کرده و از طریق کاهش سرعت رشد محور جنین از رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه جلوگیری می‌کند و منجر به کاهش میزان ضریب آلومتری می‌شود (Soltani et al. 2006). پرایمینگ با آب مقطر، اسید سالیسلیک و جیبرلین روی ضریب آلومتری تاثیر می‌گذارد (Saadat et al. 2021). محققان نشان داد ند پرایمینگ طول ریشه‌چه و ساقه‌چه افزایش می‌دهد که به دنبال آن ضریب آلومتری نیز افزایش می‌یابد (Saadat et al. 2023e). افزایش این صفت بیانگر مقاومت گیاه نخود به تنش است (Luo et al. 2020). پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه تحت تنش شوری را به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایم نشده تحت تنش شوری بهبود داد و پرایمینگ با جیبرلین بیش‌ترین تاثیر را در این مورد داشت. کاهش رشد ریشه‌چه ساقچه و گیاهچه در شرایط شوری ممکن است با سمیت کلرید سدیم و عدم تعادل در جذب عناصر غذایی توسط گیاهچه ارتباط داشته باشد. کاهش جذب آب توسط بذرها در شرایط تنش باعث کاهش ترشح هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه از جمله طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می شود (Batool et al. 2014; Masoumi et al. 2010). همچنین رابطه بین پراکسیداسیون لیپیدی و افزایش نشت محلول‌های الکترولیت به‌دلیل تخریب ساختار غشای سیتوپلاسمی باعث کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه می شود (Zamani et al. 2010). کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه تحت تنش ممکن است به دلیل کاهش تقسیم سلولی و افزایش طول، تنفس کم باشد (Tao et al. 2018). افزایش طول ریشه چه و ساقه چه در پرایمینگ با جیبرلین، اسید سالیسیلیک و آب مقطر می‌تواند به دلیل شروع یک فرآیند متابولیکی در جنین توسط پرایمینگ باشد که قبل از ظهور گیاهچه اتفاق می‌افتد و بذرها را برای ظهور ریشه چه آماده می‌کند (Farooq et al. 2007; Wahid et al. 2008). علاوه بر این، پرایمینگ بذر موانع فیزیکی آندوسپرم را در طول جذب کاهش می‌دهد، آسیب غشایی را ترمیم می‌کند، رشد جنین‌های نابالغ را بهبود می‌بخشد، و بازدارنده‌های جوانه‌زنی را شسته می‌کند تا رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش دهد (Bewley et al. 2013; Kibinza et al. 2011). افزایش طول گیاهچه ناشی از انگیزه تقسیم و بزرگ شدن سلول است (Golizadeh et al. 2015). معصومی و همکاران (Masoumi et al. 2010) دریافتند که پرایمینگ با افزایش میزان استفاده از مواد ذخیره سازی بذر طول ریشه‌چه ساقچه را افزایش می‌دهد. کاهش طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه طی سطوح شوری مطابق با نتایج محققان قبلی روی گیاهان مختلف است (Saadat et al. 2023a; 2023c). پرایمینگ با آب مقطر، اسیدسالیسیلیک و جیبرلین طول ریشه‌چه، ساقچه و گیاهچه در لوبیا و برنج بهبود می‌بخشد (Saadat & Sedghi. 2021; Saadat et al. 2020a; 2020b). پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک تحت تنش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه را در گیاه نخود افزایش داد (Tamindži et al. 2023). تنش شوری به دلیل اختلال در غشای پلاسمایی و تأثیر مضر بر نفوذپذیری انتخابی، کم آبی سیتوپلاسم و پایداری غشاء موجب کاهش درصد رطوبت گیاهچه می شود (Rashwan et al. 2020). در نتیجه، این باعث افزایش سیگنال‌های استرس اکسیداتیو مانند غلظت پرولین، مالون دی‌آلدئید و سطح سوپراکسید در گیاه نخود تحت تنش

می‌شود. کاهش درصد رطوبت گیاهچه در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک است (Mansouri Gandomani et al. 2019). کاهش درصد رطوبت گیاهچه، به عنوان یک شاخص مناسب برای حساسیت به تنش شوری، می‌تواند با رشد کندتر ریشه‌چه مرتبط باشد و بر متابولیسم گیاه تأثیر بگذارد (Wassie et al. 2019). اقبال و همکاران (Iqbal et al. 2020) بیان کرد که کاهش درصد رطوبت گیاهچه به دلیل تنش ممکن است نتیجه متابولیت های پایین‌تر و غلظت اسمزی در بافت برای نگهداری آب باشد. کاهش درصد رطوبت گیاهچه تحت شرایط تنش شوری در لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023b). از طرف دیگر، پرایمینگ با آب مقطر، اسید سالیسلیک و جیبرلین باعث افزایش درصد رطوبت گیاهچه در نخود در شرایط تنش شوری شد که ممکن است به‌دلیل افزایش تحمل گیاه به تنش با اصلاح سیستم فعالیت آنتی‌اکسیدانتی باشد (Iqbal et al. 2020). افزایش درصد رطوبت گیاهچه در سطوح بالای تنش شوری می‌تواند به این علت باشد که گیاه جهت سنتز محلول‌های سازگار در شرایط تنش شوری، بخشی از منابع کربوهیدراتی خود را جهت ساختن این محلول‌ها مصرف می‌کند و در نتیجه با ایجاد پتانسیل اسمزی درون سلولی منفی و افزایش جذب آب و رقیق سازی نمک‌های موجود در گیاه، نوعی سازگاری در شرایط تنش شوری برقرار می‌کند، هرچند که این کار برای گیاه پرهزینه محسوب می‌شود (Khan et al. 2002). پرایمینگ از طریق افزایش قابلیت دسترسی به ATP، افزایش میزان یکپارچگی غشای سلولی، تغییر برخی از اجزای غشاء مانند اسیدهای چرب و جلوگیری از نشت مواد به خارج از بذر در طول پرایمینگ بذر و در نتیجه افزایش توان رشدی گیاهچه موجب افزایش درصد رطوبت گیاهچه می‌گردد (Mazor et al. 1984). تحقیق‌ها نشان داده است تنش شوری در صد رطوبت گیاهچه را در گیاه نخود کاهش می‌دهد (Noreen et al. 2024; Arafa et al. 2021). همچنین، پرایمینگ بذر با اسید سالیسلیک درصد رطوبت گیاهچه نخود را در شرایط تنش افزایش می‌دهد (Tamindži et al. 2023). گیاهان از طریق تولید غیر آنزیمی، آسیب اکسیداتیو را که در شرایط شور رخ می‌دهد کاهش می‌دهند (AAl-Ashkar et al. 2019). این فرآیندها نقش حیاتی در محافظت از سلول‌های گیاهی از آسیب اکسیداتیو که در غشای سلولی و در تعادل یونی و وضعیت آب رخ می‌دهد، ایفا می‌کنند (Gill et al. 2010; Coskun et al. 2016). پرولین یک املاح سازگار شناخته شده است که در گیاهان تحت تنش‌های غیرزیستی از جمله شوری تجمع می‌یابد (Tarabih et al. 2020) و این افزایش نقش مهمی در غلبه بر اثر نامطلوب تنش شوری و بهبود رشد گیاه دارند (Nathalie et al. 2008). این صفت عنصر اصلی سیستم دفاع گیاه است که اثرات منفی گونه‌های فعال اکسیژن را سم‌زدایی می‌کند (Mansoor et al. 2022). پرولین نقش حیاتی در تنظیم اسمزی (Ghassemi-Golezani & Abdoli. 2022; Ozturk et al. 2021)، حفاظت از ساختار زیر سلولی، فعالیت‌های آنزیمی ایفا کرده و می‌تواند فشار تورگور سلولی را که مسئول گسترش سلول در شرایط شوری است، افزایش دهد (Zulfiqar et al. 2020). کاربرد آب مقطر، اسید سالیسیلیک و جیبرلین در این مطالعه اثر نامطلوب شوری بر رشد گیاه نخود را کاهش داده و تجمع پرولین را افزایش داد. این ممکن است به دلیل تعادل یونی (Roshdy et al. 2020) در نتیجه پایداری غشای پلاسمایی سلول‌ها در یکپارچگی و همبستگی مثبت بین عناصر سدیم و سایر مواد مغذی (Guo et al. 2019) باشد. همچنین، افزایش پرولین طی پرایمینگ می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند کاهش سنتز پروتئین، افزایش بیوسنتز پرولین از گلوتامات یا اورنیتین، کاهش تخریب یا کاتابولیسم پرولین و افزایش هیدرولیز پروتئین باشد (Tarabih et al. 2020; Gotz et al. 2018). پرولین می‌تواند نقش‌های متعددی را در تحمل تنش گیاه مانند تثبیت غشاها و پروتئین ها، حذف گونه های فعال اکسیژن، حفظ تعادل ردوکس سلولی، تنظیم پتانسیل اسمزی، و عمل به عنوان یک مولکول سیگنالینگ ایفا کند (Ghosh et al. 2022; Shafi et al. 2019). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که میزان پرولین تحت تنش شوری در گیاه نخود افزایش یافت (Azadbakht et al. 2020; Noreen et al. 2024). افزایش پرولین طی تنش شوری روی لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023d). در مطالعه ما، گیاه نخود تحت تنش شوری سطوح بالاتر مالون دی‌آلدئید را نشان داد. این افزایش نشانه آسیب غشاء در

سطح سلولی تحت تنش شوری است (Li et al. 2019)، مالون دی‌آلدئید به عنوان یک شاخص تنش اکسیداتیو عمل کرده و منجر به مهار جوانه‌زنی بذر می‌شود (El Mahi et al. 2019; Guo et al. 2019). افزایش مالون دی‌آلدئید طی تنش نشان داد که سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانتی برای مقابله با تولید بیش از حد گونه‌های فعال اکسیژن کافی نبود. با این حال، تیمار با هیدرو (آب مقطر)، اسید سالیسیلیک و جیبرلین نیز کاهش قابل توجهی را در این زمینه نشان دادند و محتوای مالون دی‌آلدئید در بذور تیمار شده در مقایسه با بذرهای تیمار نشده بیشتر بود. افزایش مالون دی‌آلدئید ممکن است به تنش اکسیداتیو اندامک‌های مختلف مانند میتوکندری و کلروپلاست نیز نسبت داده شود (Hafez et al. 2015). تجمع مالون دی‌آلدئید با درجه پراکسیداسیون لیپیدی غشای سلولی همبستگی مثبت دارد که نشان دهنده میزان آسیب به غشای سلولی است (Imran et al. 2021). حسین و همکاران (Hussain et al. 2016) گزارش کردند که گیاهان در معرض محیط‌های نامطلوب به‌دلیل تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر به سطوح پراکسیداسیون لیپیدی بالاتری می‌شوند. محتوای مالون دی‌آلدئید با کاهش آنیون‌های اکسیداتیو فعال و افزایش پایداری غشاء، و با تنظیم فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز که گونه‌های فعال اکسیژن را از بین می‌برد و از سلول‌ها در برابر تنش اکسیداتیو محافظت می‌کند، دفاع گیاه را القا و تحریک می‌کند. در مطالعه حاضر، کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید در بذرهای پرایم شده با آب مقطر، اسید سالیسیلیک و جیبرلین نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر با موفقیت تنش اکسیداتیو ناشی از شوری و همچنین آسیب گیاهچه ناشی از شوری را کاهش داد. اثرات مثبت مشابه پرایمینگ بذر لوبیا در جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدی و تولید گونه‌های اکسیژن فعال نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023c). پرایمینگ توانایی مهار گونه های فعال اکسیژن را افزایش داده و تجمع مالون دی‌آلدئید را کاهش می‌دهد (Altaf et al. 2022). نتایج پژوهشی‌ها نشان داده است که مالون دی‌آلدئید طی پرایمینگ تحت تنش شوری در گیاهچه نخود کاهش می یابد (Arafa et al. 2021; Azadbakht et al. 2020). کاهش مالون دی‌آلدئید با آب مقطر، اسید سالیسیلک، به‌ویژه جیبرلین تحت تنش توسط Saadat et al. (2020a) نیز گزارش شده است. همچنین، گزارش‌ها، افزایش قابل توجهی در مالون دی‌آلدئید تحت تنش شوری در گیاه نخود را نشان داده است (Noreen et al. 2024).

محتوای پروتئین یک پارامتر فیزیولوژیکی مهم است که برای درک رشد، نمو و متابولیسم گیاه ارزیابی می‌شود. اندازه‌گیری محتوای پروتئین می‌تواند اطلاعاتی در مورد سنتز پروتئین، تجزیه و فرآیندهای متابولیک ارائه دهد. شوری با تولید مشتقات گونه های فعال اکسیژن، موجب پراکسیداسیون لیپید های میتوکندری، از دست دادن یکپارچگی غشاء، جهش DNA، تخریب پروتئین‌ها و غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شود (El Mahi et al. 2019; Mansoor et al. 2022). تنش شوری جوانه‌زنی بذر را در نتیجه جذب آب محدود، کاهش داده، تجزیه مواد ذخیره‌سازی بذر را کند کرده و تولید پروتئین‌های ذخیره‌سازی را مهار می‌کند (Ashraf et al. 2005; Eslami et al. 2009). طبق نتایج این آزمایش، پرایمینگ بذرها با هر سه تیمار هیدرو (آب مقطر)، اسیدسالیسیلیک مخصوصا جیبرلین منجر به افزایش محتوای پروتئینی شد. به‌طور مشابه، مطالعه‌ای که روی بذرهای لوبیا پرایم شده انجام شد، کاهش محتوای پروتئین با افزایش تنش شوری نشان داد (Saadat et al. 2023b). افزایش محتوای پروتئین در طی پرایمینگ، احتمالا به‌دلیل سنتز پروتئین‌های نظیر دهیدرین‌ها، پروتئین‌های شوک حرارتی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با سازگاری و تطابق گیاه با تنش شوری است که می‌توان به آنزیم های ضداکسنده اشاره کرد که در تیمار با هیدرو و هورمون پرایمینگ به میزان زیادی افزایش می‌یابد. بنابراین، هیدرو و هورمون پرایمینگ از آسیب پروتئین‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده در نتیجه موجب افزایش میزان پروتئین می‌شود (Landi et al. 2019). تحقیق‌ها نشان داده است که پروتئین‌های محلول تحت تنش شوری در گیاه نخودکاهش می‌یابد (Azadbakht et al. 2020; Noreen et al. 2024). همچنین، پرایمینگ با اسید سالیسیلیک موجب افزایش محتوای پروتئین در نخود می‌شود (Khan & Ahmad. 2024). افزایش پروتئین با هیدرو (آب مقطر)، اسید سالیسیلیک، جیبرلین تحت تنش توسط Saadat et al. (2020a) در لوبیا نیز گزارش شده است. برای دفاع

در برابر اثرات نامطلوب تنش شوری، گیاهان مکانیسم های مختلفی را اتخاذ می کنند. افزایش تولید اسمولیت‌های آلی مانند قندها یکی از پاسخ‌های سیستمیک اصلی برای به حداقل رساندن تنش اسمزی ناشی از شوری است (Ghassemi-Golezani & Abdoli. 2022; Ozturk et al. 2021). قند ها از گیاهان برای سم‌زدایی کارآمد گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از شوری حمایت می کنند (Ahanger et al. 2020). در واقع، تجمع کربوهیدرات‌ها در شرایط شوری سازگاری‌های هستند که تحمل به شوری را در گیاه افزایش می‌دهد (Karimian & Samiei. 2021). شوری با کاهش انبساط و تقسیم سلولی و مهار فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (Zhang et al. 2015) موجب کاهش محتوای قندهای کل می‌شود. تنش اسمزی ناشی از کاهش جذب آب به دلیل غلظت بالاتر یون، تعادل عناصر غذایی را مختل می کند و بر بیوشیمی کربوهیدرات‌ها تأثیر می گذارد و فعالیت آنزیم سلولی را مهار می کند (Blumwald et al. 2000; Khan & Bano. 2019). مطابق با این، میزان قند در بذرهای پرایم‌شده با هیدرو (آب مقطر)، جیبرلین و اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری بالا بیشتر بود. هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ تحت شرایط تنش شوری با افزایش قندهای محلول، تنظیم اسمزی و حفظ پتانسیل آب سلول سبب کاهش اثرات منفی تنش شوری روی گیاهان می‌شود. افزایش قندهای محلول طی تنش شوری روی لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al. 2023d). گزارش‌ها نشان داده است که بر همکنش پرایمینگ و شوری روی کربوهیدارت معنی‌دار بود (Mousavi et al. 2021).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های نخود شد و با افزایش شدت تنش شوری، رشد گیاهچه و محتوای کل پروتئین کاهش و محتوای پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و قند های محلول افزایش یافت. پرایمینگ با جیبرلین در افزایش قابلیت جوانه‌زنی و مقابله با تنش شوری، در صفات سرعت جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، میانگین جوانه‌زنی روزانه، طول ریشه چه، ساقه‌چه و گیاهچه موثرتر از هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با اسید سالیسیلیک عمل کرده و اثرات مضر حاصل از تنش شوری را کاهش داد. همچنین، پرایمینگ بذر نخود با هیدرو پرایمینگ و هورمون پرایمینگ روند افزایشی محتوای پرولین و قند های محلول را در پی داشت. بنابراین، اعمال پرایمینگ با هیدرو (آب مقطر)، جیبرلین و اسیدسالیسیلیک برای مقابله و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری در برخی صفات جوانه‌زنی بذر نخود قابل توصیه است.

تعارض منافع

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

References

Al-Ashkar, I., Alderfasi, A., El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., El-Kafafi, S., & Seleiman, M. F. (2019). Detecting salt tolerance in doubled haploid wheat lines. *Agronomy, 9*(4), 211. https://doi.org/10.3390/agronomy9040211

Ahanger, M. A., Aziz, U., Alsahli, A. A., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2020). Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt-stressed *Vigna angularis*. *Biomolecules, 10*(1), 42. https://doi.org/10.3390/biom10010042

Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Naz, S., Altaf, M. M., & Khan, L. U. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants, 11*(2), 309. https://doi.org/10.3390/antiox11020309

Apel, K., & 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

Arafa, S. A., Attia, K. A., Niedbała, G., Piekutowska, M., Alamery, S., Abdelaal, K., Alateeq, T. K., Ali, M., Elkelish, A., & Attallah, S. Y. (2021). Seed priming boosts adaptation in pea plants under drought stress. *Plants, 10*(10), 2201. https://doi.org/10.3390/plants10102201

Armand, N., Amiri, H., & Ismaili, A. (2015). Effect of methanol on germination characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Sadry) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Pulses Research, 6*, 42–53. https://doi.org/10.22067/IJPR.V1394I1.43942 [In Persian]

Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment: A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy, 88*, 223–271. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88006-X

Azadbakht, M., & Balouchi, H. (2020). The effect of melatonin and hydropriming on some physiological characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed and seedling under salinity stress. *Plant Process & Function*, *9*(35), 347–358. https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.35.25.6 [In Persian]

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

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

Batool, N., Ilyas, N., Noor, T., Saeed, M., Mazhar, R., Bibi, F., & Shahzad, A. (2014). Evaluation of drought stress effects on germination and seedling growth of *Zea mays* L. *International Journal of Biosciences*, *5*, 203–209. https://doi.org/10.12692/ijb/5.4.203-209

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). Seeds: Physiology of development, germination and dormancy (3rd ed.). *Seed Science Research*, *23*(4), 289. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4

Blumwald, E., Aharon, G. S., & Apse, M. P. (2000). Sodium transport in plant cells. *BBA Biomembranes*, *1465*, 140–151. https://doi.org/10.1016/S0005-2736(00)00135-8

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

Chen, L., Liu, L., Lu, B., Ma, T., Jiang, D., Li, J., Zhang, K., Sun, H., Zhang, Y., & Bai, Z. (2020). Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *PLoS ONE*, *15*, e0228241. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228241

Coskun, D., Britto, D. T., Huynh, W. Q., & Kronzucker, H. J. (2016). The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1072. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01072

Debez, A., Ben Slimen, I. D., Bousselmi, S., Atia, A., Farhat, N., El Kahoui, S., & Abdelly, C. (2020). Comparative analysis of salt impact on sea barley from semi-arid habitats in Tunisia and cultivated barley with special emphasis on reserve mobilization and stress recovery aptitude. *Plant Biosystems*, *154*(4), 544–552. https://doi.org/10.1080/11263504.2019.1651777

Devika, O. S., Singh, S., Sarkar, D., Barnwal, P., Suman, J., & 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

Devasirvatham, V., Tan, D. K. Y., Gaur, P. M., Raju, T. N., & Trethowan, R. M. (2012). High temperature tolerance in chickpea and its implications for plant improvement. *Crop & Pasture Science*, *63*(5), 419–428. https://doi.org/10.1071/CP11218

Ding, F., Wang, R., & Chen, B. (2019). Effect of exogenous ammonium gluconate on growth, ion flux, and antioxidant enzymes of maize (*Zea mays* L.) seedlings under NaCl stress. *Plant Biology*, *21*(4), 643–651. https://doi.org/10.1111/plb.12963

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

El Mahi, H., Pérez-Hormaeche, J., De Luca, A., Villalta, I., Espartero, J., Gámez-Arjona, F., Fernández, J. L., Bundó, M., Mendoza, I., & Mieulet, D. (2019). A critical role of sodium flux via the plasma membrane Na+/H+ exchanger SOS1 in the salt tolerance of rice. *Plant Physiology*, *180*(2), 1046–1065. https://doi.org/10.1104/pp.19.00324

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

Eslami, V., Behdani, M. A., & Ali, S. (2009). Effect of salinity on germination and early seedling growth of canola cultivars. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *1*(1), 39–46. https://doi.org/10.22077/escs.2009.5 [In Persian]

Eswar, D., Karuppusamy, R., & Chellamuthu, S. (2021). Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *50*, 310–318. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.015

Fabian, A., Jager, K., & Barnabas, B. (2008). Effects of drought and combined drought and heat stress on germination ability and seminal root growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Acta Biologica Szegediensis*, *52*(1), 157–159. https://abs.bibl.u-szeged.hu/index.php/abs/article/view/2610

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

Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., & Pirani, H. (2019). Effect of deterioration on germination and enzyme activity in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 12*, 585–594. https://doi.org/10.22077/escs.2018.1337.1275 [In Persian]

Gharib, H., Hafez, E., & El Sabagh, A. (2016). Optimized potential of utilization efficiency and productivity in wheat by integrated chemical nitrogen fertilization and stimulative compounds. *Agricultural and Food Sciences, 2*, 5–20. https://doi.org/10.1515/cerce-2016-0011

Ghassemi-Golezani, K., & Abdoli, S. (2022). Physiological and biochemical responses of medicinal plants to salt stress. *Environmental Challenges and Medicinal Plants, 1*, 153–181. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92050-0_6

Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., & Khan, M. A. R. (2022). Proline, a multifaceted signalling molecule in plant responses to abiotic stress: Understanding the physiological mechanisms. *Plant Biology, 24*, 227–239. https://doi.org/10.1111/plb.13363

Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry, 48*(12), 909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Götz, F., Longnecker, K., Kido Soule, M. C., Becker, K. W., McNichol, J., & Kujawinski, E. B. (2018). Targeted metabolomics reveals proline as a major osmolyte in the chemolithoautotroph *Sulfurimonas denitrificans*. *MicrobiologyOpen, 7*(4), e00586. https://doi.org/10.1002/mbo3.586

Golizadeh, S. K., Mahmoodi, T. M., & Khaliliaqdam, N. (2015). Effect of priming (KNO3, ZnSO4, distilled water) on rate of germination and seedling establishment of cannabis seed (*Cannabis sativa* L.). *Biological Forum – An International Journal, 7*, 190–194. http://researchtrend.net/bf12/33%20tooraj%20mir%20mahmoodi.pdf

Guo, Q., Liu, L., & Barkla, B. J. (2019). Membrane lipid remodeling in response to salinity. *International Journal of Molecular Sciences, 20*(7), 4264. https://doi.org/10.3390/ijms20174264

Hafez, E. M. A., Omara, E. D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum, 172*(2), 587–602. https://doi.org/10.1111/ppl.13261

Hafez, Y. M., & Abdelaal, K. A. (2015). Investigation of susceptibility and resistance mechanisms of some Egyptian wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) inoculated with *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* using certain biochemical, molecular characterization and SEM. *Journal of Plant Protection and Pathology, 6*(3), 431–454. https://doi.org/10.21608/jppp.2015.53305

Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant responses and tolerance to salt stress: Physiological and molecular interventions. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(9), 4810. https://doi.org/10.3390/ijms23094810

Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Masud, A. A. C., Rahman, K., Nowroz, F., Rahman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(9), 9326. https://doi.org/10.3390/ijms22099326

Hoogenboom, G., & Peterson, C. M. (1987). Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. *Agronomy Journal, 79*(4), 598–607. https://doi.org/10.2134/agronj1987.00021962007900040003x

Hussain, S., Yin, H., Peng, S., Khan, F. A., Khan, F., Sameeullah, M., Hussain, H. A., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2016). Comparative transcriptional profiling of primed and nonprimed rice seedlings under submergence stress. *Frontiers in Plant Science, 7*, 1125. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01125

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

Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology, 192*, 38–46. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011

Imran, M., Latif Khan, A., Shahzad, R., Aaqil Khan, M., Bilal, S., & Khan, A. (2021). Exogenous melatonin induces drought stress tolerance by promoting plant growth and antioxidant defense system of soybean plants. *AoB Plants, 13*, plab026. https://doi.org/10.1093/aobpla/plab026

Iqbal, S., Hussain, S., Qayyaum, M. A., & Ashraf, M. (2020). The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. *Plant Stress Physiology, 1*, 1–26. https://doi.org/10.5772/intechopen.92213

International Seed Testing Association (ISTA). (2010). *International rules for seed testing*. Bassersdorf, Switzerland: The International Seed Testing Association.

Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost-effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *162*, 247–257. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034

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

Khan, I. H., & Ahmad, I. (2024). Salicylic acid application improves growth and alleviates the adverse effects of heat stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *56*(1), 43–53. https://doi.org/10.30848/PJB2024-1(4)

Khan, N., & Bano, A. (2019). Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. *PLoS One*, *14*(9), e0222302. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222302

Khan, W. M., Prithiviraj, B., & Smith, D. L. (2002). Effect of foliar application of chitin oligosaccharides on photosynthesis of maize and soybean. *Photosynthetica*, *40*, 621–624. https://doi.org/10.1023/A:1024320606812

Kibinza, S., Bazin, J., Bailly, C., Farrant, J. M., Corbineau, F., & El-Maarouf-Bouteau, H. (2011). Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. *Plant Science*, *181*(3), 309–315. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.06.003

Kochert, G. (1978). Carbohydrate determination by phenol-sulfuric acid method. In J. Hellebust & J. S. Craig (Eds.), *Physiological and biochemical methods* (pp. 95–97). Cambridge University Press.

Kumar, K., Manigundan, K., & Amaresan, N. (2016). Influence of salt-tolerant *Trichoderma* spp. on growth of maize (*Zea mays*) under different salinity conditions. *Journal of Basic Microbiology*, *57*(2), 141–150. https://doi.org/10.1002/jobm.201600369

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

Li, J., Yang, Y., Sun, K., Chen, Y., Chen, X., & Li, X. (2019). Exogenous melatonin enhances cold, salt, and drought stress tolerance by improving antioxidant defense in tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Molecules*, *24*(9), 1826. https://doi.org/10.3390/molecules24091826

Luo, Y. Z., Li, G., Yan, G., Liu, H., & Turner, N. C. (2020). Morphological features and biomass partitioning of lucerne plants (*Medicago sativa* L.) subjected to water stress. *Agronomy*, *10*(3), 322. https://doi.org/10.3390/agronomy10030322

Ma, L., Yang, S., Simayi, Z., Gu, Q., Li, J., Yang, X., & Ding, J. (2018). Modeling variations in soil salinity in the oasis of Junggar Basin, China. *Land Degradation & Development*, *29*(3), 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 vigor. *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., & 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*(14), 8387. https://doi.org/10.3390/su14148387

Mansoor, S., Wani, O. A., Lone, J. F., Manhas, S., Kour, N., Alam, P., Ahmad, A., & Ahmad, P. (2022). Reactive oxygen species in plants: From source to sink. *Antioxidants*, *11*(2), 225. https://doi.org/10.3390/antiox11020225

Mansouri Gandomani, V., Omidi, H., & Bostani, A. A. (2019). Study on effects of pretreatment nanoparticle silicon dioxide (SiO2) on seed germination and biochemical indicators of soybean (*Glycine max* L.) cultivars Williams under salinity. *Iranian Journal of Seed Sciences & Research*, *6*(3), 299–315. https://doi.org/10.22124/JMS.2019.3814 [In Persian]

Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: A feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(21), 8258. https://doi.org/10.3390/ijms21218258

Masoumi, A., Kafi, M., Khazaei, H. R., & Davari, K. (2010). Effect of drought stress on water status, electrolyte leakage, and enzymatic antioxidants of Kochia (*Kochia scoparia*) under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, *42*(5), 3517–3524.

Mbarki, S., Cerdà, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C., & Pascual, J. A. (2018). Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate for the effect of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Safety and Environmental Protection*, *115*, 8–16. https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.001

Mazor, L., Perl, M., & Negbi, M. (1984). Changes in some ATP-dependent activities in seeds during treatment with polyethylene glycol and during the rehydration process. *Journal of Experimental Botany*, *35*, 1119–1127. https://doi.org/10.1093/jxb/35.8.1119

McCue, P., & Shetty, K. (2002). A biochemical analysis of mung bean (*Vigna radiata*) response to microbial polysaccharides and potential phenolic-enhancing effects for nutraceutical applications. *Food Biotechnology*, *16*(1), 57–79. https://doi.org/10.1081/FBT-120004201

Migahid, M. M., Elghobashy, R. M., & Bidak Amin, A. W. (2019). Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H_2O_2 and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*, *5*(6), e01886. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01886

Mohamed, A. B., El-Banna, M. F., Farouk, S., & Khafagy, M. A. (2019). The role of grain priming and its duration on wheat germination and seedling growth. *Journal of Plant Production*, *10*(4), 343–349. https://doi.org/10.21608/jpp.2019.36267

Mondal, S., & Bose, B. (2021). Seed priming: An interlinking technology between seeds, seed germination, and seedling establishment. *Plant Reproductive Ecology: Recent Advances*, *2*, 1–27. https://doi.org/10.5772/intechopen.100804

Mousavi, S. E., Omidi, H., Saeedizadeh, A., & Aghighi Shahverdi, M. (2021). The effect of biological pre-treatments on germination and physiological indices of pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *Styriaca*) seedlings under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, *7*(2), 33–53. https://doi.org/10.52547/yujs.7.2.33 [In Persian]

Mwando, E., Han, Y., Angessa, T. T., Zhou, G., Hill, C. B., Zhang, X. Q., & 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

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

Nathalie, V., & Christian, H. (2008). Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, *35*(4), 753–759. https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6

Nazari, R., Parsa, S., Tavakkol Afshari, R., & Mahmoodi, S. (2020). The effect of seed priming with salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes and lipid peroxidation in deteriorated seeds of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill, William variety). *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, *9*(1), 57–70. https://doi.org/10.22034/ijsst.2018.116566.1149 [In Persian]

Omidi, H., Leyla, J., & Hasanali, N. (2014). Seeds of medicinal plants and crops. *Natural Resources & Environment*, 269–189.

Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Osmoregulation and its actions during drought stress in plants. *Plant Physiology*, *172*(2), 1321–1335. https://doi.org/10.1111/ppl.13297

Panahi, M., Akbari, G. A., Roustakhiz, J., & Golbashi, M. (2012). Response of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) to salinity stress via germination and early seedling growth. *Iranian Journal of Science & Technology*, *12*, 211–222. [In Persian]

Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *60*(3), 324–349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010

Rashwan, E., Alsohim, A. S., El-Gammaal, A., Hafez, Y., & Abdelaal, K. A. A. (2020). Foliar application of nano zinc oxide can alleviate the harmful effects of water deficit on some flax cultivars under drought conditions. *Fresenius Environmental Bulletin*, *29*, 8889–8904. https://www.researchgate.net/publication/344652775

Reason, R., Chimwe, C., Chandiposha, M., & Manjeru, P. (2023). The effect of seed priming to improve germination parameters and early growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Agronomy*, *1178679*, 1–8. https://doi.org/10.1155/2023/1178679

Riyazuddin, R., Verma, R., Singh, K., Nisha, N., Keisham, M., Bhati, K., Kim, K. S., & Gupta, R. (2020). Ethylene: A master regulator of salinity stress tolerance in plants. *Biomolecules*, *10*(6), 959. https://doi.org/10.3390/biom10060959

Roshdy, A. E. D., Alebidi, A., Almutairi, K., Al-Obeed, R., & Elsabagh, A. (2021). The effect of salicylic acid on the performances of salt-stressed strawberry plants, enzymes activity, and salt tolerance index. *Agronomy*, *11*(5), 775. https://doi.org/10.3390/agronomy11040775

Saadat, H., & Sedghi, M. (2021). Effect of priming and aging on physiological, biochemical traits of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Iranian Journal of Seed Research*, *11*(3), 75–89. https://doi.org/10.30495/jsr.2022.1945870.1228 [In Persian]

Saadat, H., Soltani, E., & Sedghi, M. (2023d). 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 & Function*, *12*(54), 239–258. https://doi.org/10.1001.1.23222727.1402.12.54.15.5 [In Persian]

Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023b). 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. https://doi.org/10.22084/PPT.2023.26100.2075 [In Persian]

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

Saadat, H. (2023). The effect of chitosan on the germination behavior of bean seeds under salinity stress (Ph.D. thesis). Mohaghegh Ardabili University of Ardabil, Iran.

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhbaglou, R. (2020a). The effect of priming deterioration on the activity of antioxidant enzymes and the mobility of seed reserves in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Sadri. *Iranian Journal of Seed Science & Technology, 8*(2), 19–32. https://doi.org/10.22034/ijsst.2018.116851.1154 [In Persian]

Saadat, T., Sedghi, M., Gholipouri, A., Seyed Sharifi, R., & Sheykhbaglou, R. (2020b). Effect of seed priming on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Seed Sciences & Research, 7*(1), 1–13. https://doi.org/10.22124/JMS.2020.4267 [In Persian]

Sadeghi, H., Khazaei, F., Yari, L., & Sheidaei, S. (2011). Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Agriculture and Biological Sciences, 6*, 39–43.

Seleiman, M. F., Semida, W. M., Rady, M. M., Mohamed, G. F., Hemida, K. A., Alhammad, B. A., Hassan, M. M., & Shami, A. (2020). Sequential application of antioxidants rectifies ion imbalance and strengthens antioxidant systems in salt-stressed cucumber. *Plants, 9*(12), 1783. https://doi.org/10.3390/plants9121783

Sen, A., & Puthur, J. T. (2020). Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: An overview. In M. A. Hossain (Ed.), *Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants* (pp. 303–316). Acad India Press.

Shafi, A., Zahoor, I., & Mushtaq, U. (2019). Proline accumulation and oxidative stress: Diverse roles and mechanism of tolerance and adaptation under salinity stress. In *Salt stress, microbes, and plant interactions* (pp. 269–300). Mechan. Molecular Approach. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8805-7_13

Sher, A., Sarwar, T., Nawaz, M., Ijaz, A., Sattar, A., & Ahmad, S. (2019). Methods of seed priming. In M. Hasanuzzaman & V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and pretreatment of seeds & seedlings* (pp. 1–10). Springer International Press.

Noreen, S., Saleem, S., Iqbal, U., Mahmood, S., Salim Akhter, M., Akbar, N., El-Sheikh, M., & Kaushik, P. (2024). Moringa olifera leaf extract increases physio-biochemical properties, growth, and yield of *Pisum sativum* grown under salinity stress. *Journal of King Saud University – Science, 36*(2), 103056. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.103056

Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology, 138*, 156–167. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004

Tahjib-Ul-Arif, M., Siddiqui, M. N., Sohag, A. A. M., Sakil, M. A., Rahman, M. M., & Polash, M. A. S. (2018). Salicylic acid-mediated enhancement of photosynthesis attributes and antioxidant capacity contributes to yield improvement of maize plants under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation, 37*, 1318–1330. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9867-y

Tao, Q., Lv, Y., Mo, Q., Bai, M., Han, Y., & Wang, Y. (2018). Impacts of priming on seed germination and seedling emergence of *Cleistogenes songorica* under drought stress. *Seed Science and Technology, 46*(2), 239–258. https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.2.06

Tamindži, G., Ignjatov, M., Miljaković, D., Cervenski, J., Milošević, D., Nikoli, Z., & Vasiljević, S. (2023). Seed priming treatments to improve heat stress tolerance of garden pea (*Pisum sativum* L.). *Agriculture, 13*(2), 439. https://doi.org/10.3390/agriculture13020439

Tarabih, M., & El-Eryan, E. (2020). Glycine betaine and proline with thinning technique for resistance to abiotic stress of Cristalina cactus pear. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 23*(1), 68–80. https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.68.80

Tlahig, S., Bellani, L., Karmous, I., Barbieri, F., Loumerem, M., & Muccifora, S. (2021). Response to salinity in legume species: An insight into the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. *Chemistry and Biodiversity, 18*, e2000917. https://doi.org/10.1002/cbdv.202000917

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

Wahid, A., Noreen, A., Basra, S. M., Gelani, S., & Farooq, M. (2008). Priming-induced metabolic changes in sunflower (*Helianthus annuus*) achenes improve germination and seedling growth. *Botanical Studies, 49*(2), 343–350.

Wallace, T. C., Murray, R., Kathleen, M., & Zelman, K. (2016). The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients, 8*(12), 766. https://doi.org/10.3390/nu8120766

Wassie, M., Zhang, W., Zhang, Q., Ji, K., & Chen, L. (2019). Effect of heat stress on growth and physiological traits of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and a comprehensive evaluation for heat tolerance. *Agronomy, 9*(10), 597. https://doi.org/10.3390/agronomy9100597

Zamani, A., Sadat Nouri, S. A., Tavakol Afshari, R., Iran Nejad, H., Akbari, G. H. A., & Tavakoli, A. (2010). Evaluation of lipid peroxidation and activity of antioxidant enzymes in safflower seed under natural and artificial aging. *Iranian Journal of Crop Sciences, 41*(3), 545–554. https://doi.org/10.1001.1.20084811.1389.41.3.12.5 [In Persian]

Zhang, X. H., Zhou, D., Cui, J. J., Ma, H. L., Lang, D. Y., Wu, X. L., Wang, Z. S., Qiu, H. Y., & Li, M. (2015). Effect of silicon on seed germination and the physiological characteristics of *Glycyrrhiza uralensis* under different levels of salinity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 90*, 439–443. https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11513207

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