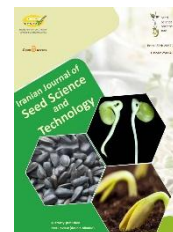




Iranian Journal of Seed Science and Technology



ISSN: 2588-4638

Research Article

Physiological and Biochemical Response of Quinoa Seedlings cv. Titicaca (*Chenopodium quinoa* Willd) to Gibberellin Hormone under Salinity Stress

Haniyeh Saadat^{1*}, Mohammad Sedghi²

1. Ph.D of Crop Ecology, Department of Production Engineering and Plant 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: 09 Dec. 2024

Revised: 23 Jan. 2025

Accepted: 29 Jan. 2025

Keywords:

Germination Indicators,
Potassium,
Proline,
Protein,
Sodium.

Corresponding Author:

t.saadat@uma.ac.ir



Abstract

In order to investigate The effect of gibberellin priming on physiological and biochemical characteristics of quinoa seedlings under salinity stress, an experiment was conducted based on completely randomized design arranged in factorial with three replications at University of Mohaghegh Ardabili in 2024 with 3 replications. Treatments were four salinity levels (0, 150, 300 and 450 mM Derived from sodium chloride) and four levels of gibberellin (0, 100, 150 and 200 ppm). The results showed that salinity stress reduced Germination Percentage, Germination Coefficient, Mean Daily Germination and seedling fresh weight. But priming with distilled water, different levels of gibberellin, especially the 200 ppm level, improved these traits. The highest Seedling Dry Weight (SDW, 0.430 gr), Seed Length Vigor Index (16.670) and Seed Weight Vigor Index (42.147) were observed in priming with gibberlin and without salinity. The total protein content and the amount of potassium in the treatment with gibberellin 200 ppm and without salinity compared to the control and 450 mM salinity showed an increase of about 95 and 80%, respectively. The amount of sodium in priming with gibberellin 200 ppm and without salinity compared to the the control and 450 mM salinity showed an decrease of 83%, respectively. The maximum amount of malondialdehyde (23.083 nano molg-1FW) was related to the control treatment. With increasing salinity, the amount of proline increased, but the use of gibberellin with a concentration of 200 ppm increased this trait about 53% compared to the control.

How to cite this paper: Saadat, H., Sedghi, M. (2026). Physiological and Biochemical Response of Quinoa Seedlings cv. Titicaca (*Chenopodium quinoa* Willd) to Gibberellin Hormone under Salinity Stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (3), 55-73. <https://doi.org/10.22092/ijst.2025.367930.1550>



© 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

Nowadays, quinoa is attracting the attention in many countries all over the world as an alternative cereal crop. Quinoa, possesses a unique nutritional profile, including essential amino acids, vitamins, minerals, and micronutrients, surpassing other grain crops. Salinity is one of the major abiotic stresses that threaten global food security by impacting agricultural production, particularly in arid and semi-arid regions of the world. Seed priming is a technique for minimizing emergence time, ensuring consistent germination, and improving crop performance. It is a treatment at pre-sowing, leading to a physiological condition that makes it more useful for the seed to germinate.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2024 as a factorial in the form of a completely randomized design with 3 replications at University of Mohaghegh Ardabili. Experimental treatments included four salinity levels (0, 50, 100, and 150 Mm sodium chloride) and four levels of gibberellin (0, 100, 150 and 200 ppm). For priming, the seeds were immersed in gibberellin solutions for 3 hours. Following priming, the seeds were washed with distilled water and dried. Subsequently, sodium chloride was added to each Petri dish for the germination test, which was executed in a total of three replications of 25 seeds each at a temperature of 25 °C for a duration of 7 days. Thereafter, germination indices and biochemical parameters were measured.

Results and Discussion

The results showed that salinity stress reduced Germination indicators. But priming with different levels of gibberellin, especially the 200 ppm level, improved these traits. The highest Seedling Dry Weight (SDW), Seed Length Vigor Index (SLVI) and Seed Weight Vigor Index (SWVI) were observed in priming with gibberlin and without salinity. The decrease in the water potential gradient between the seeds and their surrounding environment due to disruption in the synthesis of

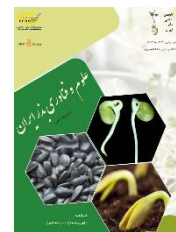
essential enzymes for germination may explain the reduced germination under saline stress. Priming enhances the activity of enzymes that hydrolyze storage materials, enabling seedlings to readily absorb nutrients during germination. Consequently, primed seeds are able to complete the germination process in a shorter time frame. The total protein content and the amount of potassium in the treatment with gibberellin 200 ppm and without salinity compared to the control (distilled water) and 450 mM salinity showed an increase of about 95 and 80%, respectively. 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 amount of sodium and sodium / protein in priming with gibberellin 200 ppm and without salinity compared to the the control (distilled water) and 450 mM salinity showed an decrease of about 83 and 96%, respectively. Salinity stress upsets the nutrient balance by increasing sodium absorption and simultaneously decreasing potassium consumption. The maximum amount of malondialdehyde (MDA, 23.083 nano molg-1FW) was related to the control treatment (distilled water priming). Radicals generated under saline conditions lead to the peroxidation of membrane lipids, consequently damaging cell membranes and resulting in increased malondialdehyde levels. With increasing salinity, the amount of proline increased, but the use of gibberellin with a concentration of 200 ppm increased this trait about 53% compared to the control (priming with distilled water). Increasing the level of proline helps to reduce the level of reactive oxygen species in quinoa under salt stress.

Conclusions

The results of this study demonstrate that seed priming with different levels of gibberellin strengthened weak quinoa seeds physiological and biochemical under salinity stress. Ultimately promoting seedling growth. The best result achieved when 200 ppm of gibberellin used under saline conditions.



نشریه علوم و فناوری بذر ایران



ISSN: 2588-4638

مقاله پژوهشی

پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd)

رقم تیتیکاکا به هورمون جیبرلین تحت تنش شوری

هانیه سعادت^{۱*}، محمد صدقی^۲

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

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

واژه‌های کلیدی:

پتاسیم،
پروتئین،
پرولین،
سدیم،
شاخص‌های جوانه‌زنی.

نویسنده مسئول:

t.saadat@uma.ac.ir

به منظور بررسی اثر پرایمینگ با جیبرلین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) رقم تیتیکاکا تحت تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۳ در دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح شوری (۰، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی مولار) و چهار سطح جیبرلین (۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ پی پی ام) بود. نتایج نشان داد که شوری شاخص‌های جوانه‌زنی را کاهش داد، ولی پرایمینگ بذر با جیبرلین این صفات را بهبود بخشید. بیش‌ترین وزن خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بذر در تیمار جیبرلین و بدون شوری مشاهده شد. محتوای کل پروتئین و میزان پتاسیم در تیمار با جیبرلین ۲۰۰ پی پی ام و سطح بدون شوری نسبت به شاهد (آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی مولار به ترتیب در حدود ۹۵ و ۸۰ درصد افزایش نشان دادند. میزان سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم نیز در پرایمینگ با غلظت ۲۰۰ پی پی ام جیبرلین و بدون شوری به ترتیب در حدود ۸۳ و ۹۶ درصد نسبت به شاهد (آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی مولار کاهش داشت. حداکثر مقدار مالون دی آلدئید (۲۳/۰۸۳ نانومول بر گرم وزن تر) به تیمار شاهد (پرایمینگ آب مقطر) ارتباط داشت. با افزایش شوری میزان پرولین افزایش یافت، ولی کاربرد جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام این صفت را ۵۳ درصد نسبت به شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) افزایش داد. در کل، استفاده از سطوح مختلف جیبرلین موجب تقویت فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بذرهای ضعیف کینوا تحت تنش شوری شد و رشد گیاهچه را افزایش داد.

نحوه استناد به این مقاله:

Saadat, H., Sedghi, M. (2026). Physiological and Biochemical Response of Quinoa Seedlings cv. Titicaca (*Chenopodium quinoa* Willd) to Gibberellin Hormone under Salinity Stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 15 (3), 55-73. <https://doi.org/10.22092/ijssst.2025.367930.1550>

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.)، متعلق به خانواده Amaranthaceae، دارای مشخصات غذایی منحصر به فردی از جمله اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ریزمغذی‌ها است که از سایر محصولات غلات پیشی می‌گیرد (Khaitov et al., 2020). در ایران به گیاه کینوا توجه شایانی شده است و اخیراً در بسیاری از نقاط کشور با موفقیت کشت می‌شود (Talebnejad & Sepaskhah, 2016). کینوا به دلیل توانایی استثنایی آن برای انطباق با تنش‌های غیرزیستی مختلف مانند شوری، گزینه‌ای جذاب برای تنوع کشاورزی است (Khaitov et al., 2020). این گیاه به عنوان یک محصول غذایی جدید توجه جهانی را به خود جلب کرده است.

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که با تأثیر بر تولیدات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، امنیت غذایی جهانی را تهدید می‌کند (Kumar et al., 2022). از سازوکارهای آسیب ناشی از شوری می‌توان به تنش اسمزی، تنش اکسیداسیون و سمیت یونی اشاره کرد، این اثرات مضر در نهایت منجر به کاهش جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2021). برای مقابله با اثرات نامطلوب شوری، گیاهان مکانیسم‌های تطبیقی مختلفی را مانند محتوای اسمولیت بالاتنظیم‌کننده، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانتی و هموستاز یونی تکامل داده‌اند. تجمع اسمولیت‌ها، مانند محتوای پرولین، به بهبود جذب آب کمک می‌کند و فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان برای کاهش آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن مفید است (Haj-Amor et al., 2022). جوانه‌زنی بذر آسیب پذیرترین مرحله در چرخه زندگی گیاه در نظر گرفته شده است، زیرا تنش شوری می‌تواند به شدت مانع جوانه‌زدن بذر و متعاقب آن استقرار گیاهچه شود (Liu et al., 2022). شوری از طرق محدود کردن قابلیت دسترسی به آب، تخریب ساختمان پروتئین‌ها و اختلال در استفاده از ذخایر غذایی ذخیره شده در بذر به فرآیند جوانه‌زنی آسیب وارد می‌کند (Zhao et al., 2020). طبق تحقیقات، شوری تأثیر قابل توجهی بر اکثر ویژگی‌های جوانه‌زنی کینوا نشان می‌دهد (Nazih et al., 2024). تحقیقات نشان داده است که

شوری درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک گیاهچه، شاخص طولی و وزنی بنیه بذر را در گیاهان مختلف کاهش می‌دهد. همچنین، شوری صفات بیوشیمیایی مانند مالون‌دی‌آلدئید و پرولین را افزایش و پروتئین را در گیاهان مختلف از جمله کینوا کاهش می‌دهد (Gholami et al., 2022; Jahantighi & Roshandel, 2023; Saadat et al., 2023a; 2023b; 2023c).

پرایمینگ بذر یک تیمار قبل از کاشت است که شامل کنترل اولیه جذب آب بذر و در نهایت خشک کردن مجدد آن‌ها می‌شود (Du et al., 2023). ثابت شده است که پرایمینگ یک تکنیک امیدوارکننده برای القای جوانه‌زنی سریع و یکنواخت، بنیه گیاهچه بالا، استقرار بهتر گیاه و تحمل به تنش‌های غیر زیستی از جمله شوری است (Mohapatra et al., 2022). شواهد نشان داده است که بذرهای پرایم شده در تنش‌های غیر زیستی قوی‌تر از بذرهای پرایم نشده هستند (El-Sherpiny et al., 2023). چندین روش پرایمینگ بذر، از جمله پرایمینگ با آب (هیدروپرایمینگ) و هورمون‌های گیاهی به‌طور موفقیت‌آمیزی در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است (Abd-Elzaher et al., 2022; Muthuraja & Muthukumar, 2022). یافته‌های پژوهشی، نقش مهم هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلین را در تنظیم جوانه‌زنی بذر و بلوغ گیاه نشان داده‌اند (Li et al., 2022). طبق گزارش‌ها، استفاده از جیبرلین در کاهش تنش شوری مفید است (Misratia et al., 2015). پرایمینگ بذر با جیبرلین می‌تواند اثرات نامطلوب شوری را در کینوا کاهش دهد (Nazih et al., 2024). همچنین، پرایمینگ بذر کینوا می‌تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی کینوا از جمله باعث بهبود ضریب جوانه‌زنی و کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی تحت تنش خشکی گردد (Shadmehri & Abbasdokht, 2024). تحقیقات نشان داده است که استفاده از پرایمینگ محتوای پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت را در گیاه کینوا به طور قابل توجهی افزایش داد و اثرات نامطلوب تنش را تعدیل کرد (Yasmeen & Imran, 2024). پرایمینگ می‌تواند اثرات مضر تنش را بر کینوا با تغییر خواص جوانه‌زنی و خواص بیوشیمیایی کاهش دهد (Gholami et al., 2022). همچنین، نتایج تحقیقی نشان داد که شاخص‌های گیاهچه کینوا تحت تنش کاهش می‌یابد

با این حال، استفاده پرایمینگ شاخص های فیزیولوژیکی مانند محتوای پرولین و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانت را بهبود بخشید (Dashab & Omid, 2021). مطالعات قبلی پتانسیل بالای پرایمینگ بذر با جیبرلین را در بهبود جوانه زنی، رشد اولیه و مکانیسم های تحمل گیاهان مختلف تحت تنش شوری نشان داده اند (Saadat et al., 2024; Tsegay & Andargie, 2018). در مطالعات دیگر نشان داده شده است که طی تنش وزن تر و خشک ریشه و ساقه در کینوا کاهش می یابد، ولی پرایمینگ با پراکسید هیدروژن این صفات را افزایش داد (Iqbal & Yaning, 2024). هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی اثر سطوح مختلف جیبرلین در شرایط آزمایشگاهی و تحت تنش شوری بر میزان صفات فیزیولوژیکی و برخی صفات بیوشیمیایی جهت تعدیل اثرات سوء ناشی از تنش شوری در گیاهچه کینوا رقم «تیتیکاکا» بود.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر پرایمینگ با جیبرلین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهچه کینوا رقم تیتیکاکا در شرایط تنش شوری آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۳ با سه تکرار و چهار سطح شوری (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی مولار) از منبع کلرید سدیم (شاهد (آب مقطر)، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ پی پی ام) انجام شد. بذرهای گواهی شده کینوا رقم تیتیکاکا تولیدی سال ۱۴۰۲ از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. در ابتدا بذرهای کینوا با هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضد عفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. جهت اعمال پرایمینگ بذرهای درون محلول های جیبرلین و آب مقطر به مدت ۳ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد غوطه ور شدند (Nazih et al., 2024; Karmi et al., 2019). بعد از پرایمینگ، بذرهای به وسیله آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. سپس، ۲۵ عدد بذر در داخل پتری های ۹ سانتی متری جهت کشت قرار گرفت و به هر پتری محلول شوری (کلرید سدیم) با سطوح مختلف به مقدار ۵ میلی لیتر اضافه گردید. سپس، پتری ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷ روز قرار داده شد

$$GP = (N \times 100) / M \quad (\text{رابطه ۱})$$

N: تعداد بذر جوانه زده، M: تعداد کل بذور

$$GC = 1/MGT \times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

MGT: متوسط زمان جوانه زنی

$$MDG = PG/Tx \quad (\text{رابطه ۳})$$

GP: درصد جوانه زنی Tx: تعداد روزهای آزمایش (طول دوره

اجرای آزمایش)

$$\text{= شاخص طولی بنیه بذر} \quad (\text{رابطه ۴})$$

درصد جوانه زنی $\times$ طول گیاهچه (میلی متر)

$$\text{= شاخص وزنی بنیه بذر} \quad (\text{رابطه ۵})$$

درصد جوانه زنی $\times$ وزن خشک گیاهچه (گرم)

اندازه گیری میزان پروتئین

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

سنجش میزان پرولین

سنجش میزان پرولین براساس روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) انجام گردید. در این روش ۰/۵ گرم از ریشه چه با ۵ میلی لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالسیلیک له گردید. پس از صاف کردن با صافی از مخلوط همگن حاصل، ۲ میلی لیتر برداشته شد و بعد از اضافه کردن ۲ میلی لیتر معرف اسید نین هیدرین و ۲ میلی لیتر اسید استیک خالص در بن ماری به مدت یک ساعت با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد. سپس نمونه ها به حمام آب یخ منتقل و بعد از اضافه کردن ۴ میلی لیتر تولوئن، مقدار جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت گردید و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین و بر حسب میکرومول بر گرم وزن تر نمونه به دست آمد.

سنجش میزان مالون دی آلدئید

سنجش میزان مالون دی آلدئید براساس روش مک کوئی و شتی (Mccue & Shetty, 2002) انجام شد. در این سنجش، ۲۰۰ میلی لیتر از بافت هموژن با ۸۰۰ میلی لیتر آب مقطر در لوله های آزمایش مخلوط شد. سپس، ۵۰۰ میلی لیتر از تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد با ۱ میلی لیتر از تیوباریتوریک اسید ۱۰ میلی مولار مخلوط شد. لوله های 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 مالون دی آلدئید از ضریب خاموشی معادل $155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ و رابطه زیر استفاده شد، که در آن A جذب خوانده شد، E ضریب خاموشی، B عرض کووت و C غلظت کمپلکس بر حسب میلی مولار است. نتایج حاصل از اندازه گیری بر حسب میلی مولار بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$A = \epsilon BC$$

(رابطه ۶)

تعیین میزان سدیم و پتاسیم

به منظور تعیین میزان سدیم و پتاسیم در گیاهچه، قسمت های خشک شده گیاهچه را جدا کرده و پس از آسیاب از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. مواد خشک شده با اسید سولفوریک و هیدروژن پراکسید هضم شدند و در نهایت با کمک دستگاه فلیم

فتمتر (نورسنج نشر شعله ای) میزان این عناصر اندازه گیری شد (FaithFull, 2002).

آنالیز آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. برای ترسیم اشکال نیز از نرم افزار Excel 2018 استفاده شد.

بحث و نتایج

درصد جوانه زنی، میانگین جوانه زنی روزانه و ضریب

جوانه زنی

در این تحقیق، اثر ساده جیبرلین و شوری بر درصد جوانه زنی، میانگین جوانه زنی روزانه و ضریب جوانه زنی معنی دار ($P < 0.01$) و برهمکنش آن ها غیر معنی دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش ترین درصد جوانه زنی (۹۶/۸۳ درصد)، میانگین جوانه زنی روزانه (۱۳/۱۱۹) و ضریب جوانه زنی (۲۲۵/۷۵۰) مربوط به غلظت ۲۰۰ پی پی ام جیبرلین بود و کم ترین مقدار درصد جوانه زنی (۸۴/۳۳ درصد)، میانگین جوانه زنی روزانه (۱۲/۰۴۷) و ضریب جوانه زنی (۱۳۳/۹۱۷) در شاهد (پرایمینگ با آب مقطر) به دست آمد. البته تأثیر غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰۰ پی پی ام جیبرلین بر درصد جوانه زنی، میانگین جوانه زنی روزانه و ضریب جوانه زنی نیز موثر بود (جدول ۲). با افزایش شوری درصد جوانه زنی، میانگین جوانه زنی روزانه و ضریب جوانه زنی کاهش یافت. به طوری که بیش ترین درصد جوانه زنی (۹۴/۵۸۳ درصد)، میانگین جوانه زنی روزانه (۱۳/۵۱۲) و ضریب جوانه زنی (۲۵۲/۴۱۷) مربوط به شاهد و کم ترین درصد جوانه زنی (۸۱ درصد)، میانگین جوانه زنی روزانه (۱۱/۵۷۱) و سرعت جوانه زنی (۹۲/۵۸۳ پذیر در روز) در شوری ۴۵۰ میلی مولار به دست آمد (جدول ۲).

شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه

در این تحقیق، تأثیر ساده جیبرلین و شوری و برهمکنش آن ها بر شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه معنی دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۱). پرایمینگ با جیبرلین با غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ پی پی ام توانست روی شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه تأثیر بگذارد، اما تأثیر غلظت ۲۰۰ پی پی ام جیبرلین بیشتر بود. به طوری که بیش ترین شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه (به ترتیب ۱۶/۶۷۰ و

۴۲/۱۴۷) مربوط به تیمار با جیبرلین ۲۰۰ پی پی ام و سطح بدون شاخص وزنی بنیه گیاهچه (۶/۵۰۳) در تیمار با جیبرلین ۱۰۰ شوری و کمترین مقدار شاخص طولی بنیه گیاهچه (۱/۹۴۹) و پی پی ام و سطح بدون شوری به دست آمد (شکل ۱a و ۱b).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر جیبرلین و شوری بر صفات فیزیولوژیکی گیاهچه کینوا

Tabel 1- Analysis of variance (mean of square) for the effect of gibberellin and salinity on biochemical traits in quinoa seedling

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی D. F.	درصد جوانه زنی Germination percentage	میانگین جوانه زنی روزانه Mean germination daily	ضریب جوانه زنی Germination coefficient	شاخص طولی بنیه گیاهچه Seedling length vigor index	شاخص وزنی بنیه گیاهچه Seedling Weight vigor index	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight	وزن خشک گیاهچه Seedling day weight
جیبرلین (GA)	3	144.94 [*]	2.958 ^{**}	24965.13 ^{**}	129.195 ^{**}	505.678 ^{**}	0.673547 ^{**}	0.049563 ^{**}
شوری (S)	3	420.72 [*]	8.586 ^{**}	60404.35 ^{**}	133.619 ^{**}	1098.038 ^{**}	0.281080 ^{**}	0.104108 ^{**}
اثر متقابل GA*S	9	8.15 ^{ns}	0.184 ^{ns}	1022.74 ^{ns}	5.222 ^{**}	37.828 ^{**}	0.004027 ^{ns}	0.003569 ^{**}
خطا (Error (E)	32	9.02	0.502	568.29	1.4601	6.766	0.007646	0.000828
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		3.41	3.403	12.75	15.491	12.655	15.743	12.699

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

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

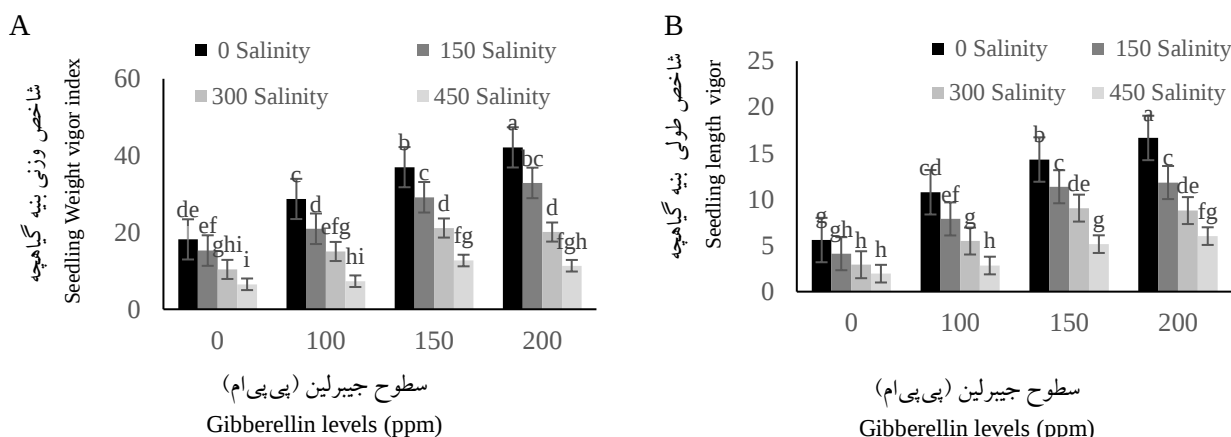
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر شاخص های جوانه زنی در کینوا

Tabel 2- Mean Comparison for the effect of Gibberellin and Salinity on germination indices in quinoa

جیبرلین (میکرومولار) Gibberellin (μm)	درصد جوانه زنی Germination Percentage (%)	میانگین جوانه زنی روزانه Mean daily germination	ضریب جوانه زنی Germination coefficient	وزن تر گیاهچه Seedling fresh weight (gr)
0	84.333b	12.048b	133.917c	0.3317c
100	86.417b	12.345b	163.750b	0.3942c
150	90.417a	12.917a	224.167a	0.6525b
200	91.833a	13.119a	225.750a	0.8433a
شوری (میلی مولار) Salinity (mM)				
0	94.583a	13.512a	252.417a	0.7275a
150	91.167b	13.024b	228.667b	0.6167b
300	86.250c	12.322c	173.917c	0.5083c
450	81.000d	11.571d	92.583d	0.3692d

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

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر شاخص وزنی (A) و طولی بنبه گیاهچه (B) در کینوا.

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

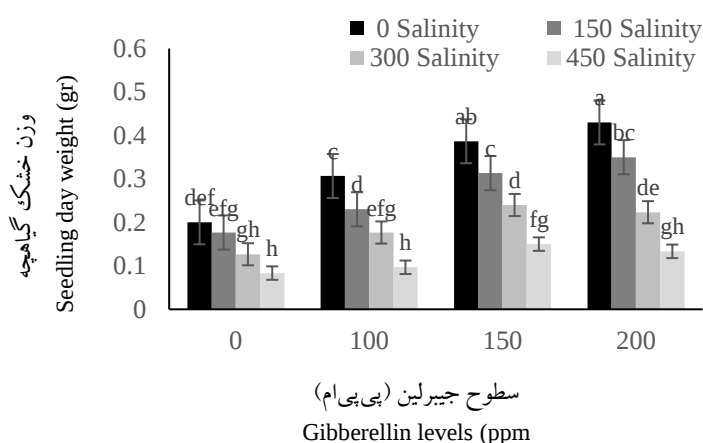
Figure 2- Mean comparison for the effect of gibberellin and salinity on seedling weight vigor index (A) and seedling length vigor index (B) in quinoa.

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

۲). البته تأثیر غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ پی پی ام جیبرلین نیز در وزن تر و خشک گیاهچه نیز موثر بود. بیشترین وزن تر گیاهچه (۰/۸۴۳ گرم) مربوط به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و کمترین وزن تر گیاهچه (۰/۳۳۲ گرم) در شاهد (آب مقطر) به دست آمد (جدول ۲). سطوح شوری وزن تر گیاهچه را کاهش داد به طوری که کمترین مقدار این صفت (۰/۳۶۹ گرم) در شوری ۴۵۰ میلی مولار مشاهده شد (جدول ۲).

وزن تر و خشک گیاهچه

در این تحقیق، تأثیر ساده جیبرلین و شوری بر وزن تر و خشک گیاهچه معنی دار ($P < 0.01$) و تنها بر همکنش جیبرلین و شوری بر وزن خشک گیاهچه معنی دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۱). نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک گیاهچه (۰/۴۳۰ گرم) مربوط به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و سطح بدون شوری و کمترین مقدار این صفت (۰/۰۸۳۳ گرم) در تیمار شاهد (آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی مولار به دست آمد (شکل



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر وزن خشک گیاهچه در کینوا.

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

Figure 2- Mean comparison for the effect of gibberellin and salinity on seedling day weight in quinoa.

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

میزان پروتئین

پی‌پی‌ام و بدون شوری است و کم‌ترین میزان پروتئین (۰/۱۹۷) میلی گرم بر گرم وزن تر) و شوری ۴۵۰ میلی مولار به دست آمد (شکل ۳). البته کاربرد غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ پی‌پی‌ام جیبرلین نیز روی میزان پروتئین تاثیر داشت.

جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر ساده جیبرلین و شوری و برهمکنش آن‌ها روی میزان پروتئین معنی‌دار بود ($P < 0.01$) همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار پروتئین (۳/۳۶۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰

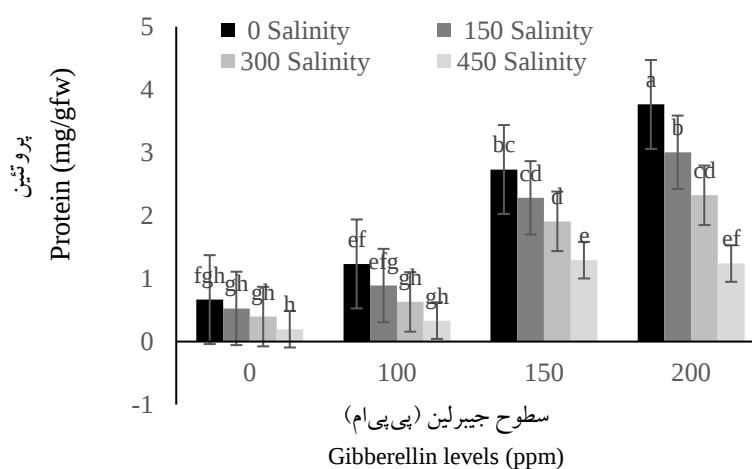
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر جیبرلین و شوری بر صفات بیوشیمیایی گیاهچه کینوا

Tabel 3- Analysis of variance (mean of square) for the effect of gibberellin and salinity on biochemical traits in quinoa seedling

منابع تغییر	درجه‌ی آزادی	پروتئین	پرولین	مالون دی آلدئید	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم
S.O.V	D. F.	Protein	Proline	Malondialdehyde	Na ⁺	k ⁺	Na ⁺ /K ⁺
جیبرلین (GA)	3	12.473**	43.519**	172.492**	8.293**	26.853**	2.049**
شوری (S)	3	3.837**	22.984**	185.033**	7.367**	41.585**	2.299**
اثر متقابل GA*S	9	0.429**	0.218 ^{ns}	2.323 ^{ns}	0.272*	1.333**	0.273**
Error (E) خطا	32	0.104	0.658	2.679	0.119	0.354	0.076
ضریب تغییرات (درصد)		22.065	13.439	8.986	14.821	11.205	42.942
CV (%)							

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.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر پروتئین در کینوا.

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

Figure 3- Mean comparison for the effect of gibberellin and salinity on protein in quinoa. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level.

میزان پرولین و مالون دی آلدئید

به تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی‌پی‌ام و بیش‌ترین مقدار مالون دی آلدئید (۲۳/۰۸۳) میلی مولار بر گرم وزن تر) مربوط شاهد (آب مقطر) است. کم‌ترین میزان پرولین (۳/۷۴۷ میکرومول بر گرم وزن تر) در شاهد (آب مقطر) و کم‌ترین مقدار مالون دی آلدئید (۱۳/۹۵۳) نانومول بر گرم وزن تر) در تیمار با جیبرلین ۲۰۰ پی‌پی‌ام

جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر ساده جیبرلین و شوری روی میزان پرولین و مالون دی آلدئید معنی‌دار بود ($P < 0.01$) و برهمکنش آن‌ها غیر معنی‌دار شد. همچنین، نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان پرولین (۸/۰۵۰ میکرومول بر گرم وزن تر) مربوط

به دست آمد (جدول ۳). غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ پی پی ام جیبرلین نیز در پرولین و مالون دی آلدئید اثر گذاشت، اما تأثیر جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام بیشتر بود (جدول ۴). با افزایش سطوح شوری میزان پرولین و مالون دی آلدئید افزایش یافت. به طوری

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر پرولین و مالون دی آلدئید در کینوا

Tabel 4- Mean Comparison for the effect of gibberellin and salinity on proline and malondialdehyde in quinoa

مالون دی آلدئید Malondialdehyde (nano mol g ⁻¹ FW)	پرولین Proline (μmol g ⁻¹ FW)	شوری (میلی مولار) Salinity (mM)	مالون دی آلدئید Malondialdehyde (nano mol g ⁻¹ FW)	پرولین Proline (μmol g ⁻¹ FW)	جیبرلین (میکرومولار) Gibberellin (μm)
13.694 d	4.414 d	0	23.083a	3.747d	0
16.592 c	5.430 c	150	18.650b	5.289c	100
19.833 b	6.765 b	300	17.183c	7.048b	150
22.750 a	7.525 a	450	13.953d	8.050a	200

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک درصد براساس آزمون دانکن است.

The different letters in each column indicate a significant differences at 1% probability level based on Duncan's test

میزان پتاسیم و سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم

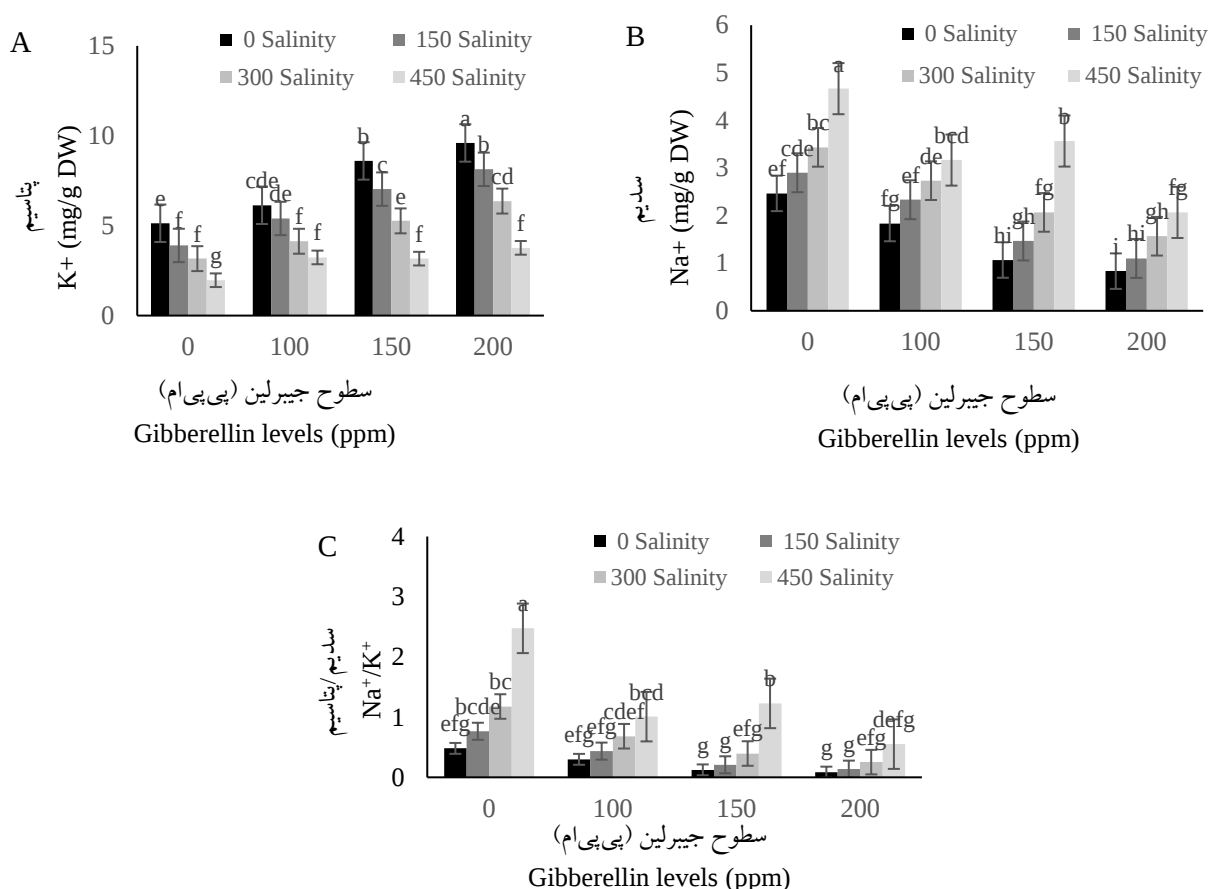
در این تحقیق، تأثیر ساده جیبرلین و شوری بر میزان پتاسیم، سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم معنی دار ($P < 0.01$) و برهمکنش آن‌ها بر میزان پتاسیم معنی دار ($P < 0.01$)، سدیم معنی دار ($P < 0.05$) و نسبت سدیم به پتاسیم معنی دار ($P < 0.01$) بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم (۹/۶۰۰ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در پرایمینگ با جیبرلین و بدون حضور شوری و کمترین مقدار آن (۱/۹۶۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در شاهد و شوری ۴۵۰ میلی مولار مشاهده شد. البته پرایمینگ با سطوح مختلف جیبرلین اثر قابل توجهی بر میزان پتاسیم گذاشت، اما تأثیر جیبرلین ۲۰۰ پی پی ام بیشتر از غلظت ۱۰۰ و ۱۵۰ پی پی ام جیبرلین بود (شکل ۴a). همچنین، بیشترین میزان سدیم (۴/۴۶۷ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و نسبت سدیم به پتاسیم (۲/۴۷۵) در شاهد (آب مقطر) و شوری ۴۵۰ میلی مولار بود و کمترین مقدار سدیم (۰/۸۳۳ میلی گرم بر گرم وزن خشک) و پتاسیم (۰/۰۸۷) در تیمار با جیبرلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و بدون شوری مشاهده شد (شکل ۴ b و c).

شوری از طریق عوامل متعددی مانند مهار سنتز اتیلن در طول جذب آب (آبنوشی) و کاهش دسترسی به آب (تنش اسمزی)، باعث تاخیر یا جلوگیری از جوانه زنی بذر می شود (Ibrahim, 2017).

در واقع، تنش شوری اثرات مضر بر گیاهان در مراحل مختلف رشد می گذارد، و مانع از جوانه زنی و رشد و نمو در کینوا می گردد (Quan et al., 2007). به طور معمول، مقاومت به تنش با بالغ شدن گیاهان بهبود می یابد. با این وجود، حتی در هالوفیت‌ها، تأثیر تنش شوری بر رشد گیاه اغلب در مراحل اولیه که حساسیت گیاه در اوج خود است شدیدتر است (Pandey et al., 2015). در غیر این صورت، در هنگام گلدهی، گیاه کینوا با تنظیم غلظت سدیم ریشه نسبت به محیط ریشه، خود را با تنش شوری سازگار می کند و با کاهش سطح کلر، جذب آب را تسهیل می کند (Jaramillo Romanet et al., 2020). در غلظت‌های بالای شوری ممکن، اختلالات قابل توجهی در تعادل آب گیاهان به دلیل آسیب ساختاری سلولی ایجاد شد (Terletska et al., 2022). یکی از روش‌های مقاومت به شوری استفاده از پرایمینگ هورمونی است. فیتوهورمون‌ها به طور گسترده‌ای نقش مهمی در تنظیم رشد و پاسخ‌های نموی گیاه دارند. پرایمینگ بذر با محلول‌های هورمونی این پتانسیل را دارد که مکانیسم‌های بیوشیمیایی و مولکولی را تعدیل کند که گیاهان را قادر می سازد عواقب شرایط تنش را تحمل کنند (Chauhan et al., 2019). هورمون‌های گیاهی ارتباط نزدیکی با آندوسپرم دارند، و ما حدس می زنیم که نتایج هورمون‌هایی مانند جیبرلین در جوانه زنی کینوا ممکن است به ساختار خاص بذرهای

غذایی ذخیره‌ای و تحریک توسعه آندوسپرم سست می‌کند، تحریک می‌کند (Bewley & Black, 1994).

کینوا مرتبط باشد (Zeng et al., 2024). جیبرلین، جوانه‌زنی را از طریق القای آنزیم‌های تجزیه‌ای که پوسته بذر را، با تحرک ترکیبات



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر جیبرلین و شوری بر پتاسیم (A)، سدیم (B) و نسبت سدیم به پتاسیم (C) در کینوا.

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

Figure 4- Mean comparison for the effect of gibberellin and salinity on K⁺ (A), Na⁺ (B) and Na⁺/K⁺ in quinoa. The different letters in each column indicate significant differences at 1% probability level

یافته‌های ما نشان می‌دهد کینوا نسبت به غلظت‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار تا افزایش ۴۵۰ میلی‌مولار غلظت کلرید سدیم تحمل دارد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پرایمینگ بذر با سطوح مختلف جیبرلین باعث بهبود شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد در گیاه کینوا تحت تنش شوری شد. کاهش درصد جوانه‌زنی در کینوا تحت شوری به دلیل ترکیبی رابطه آب سلولی و سمیت یونی و تاثیر شوری بر نفوذپذیری غشا، افزایش تنفس بذر و کاهش انرژی مورد نیاز بذر کینوا برای جوانه‌زنی و همچنین به علت پراکسیداسیون لیپیدها، صدمه به غشای سلولی، آسیب به فرایند سنتز RNA، تخریب اسید نوکلئیک و غیرفعال شدن آنزیم‌ها است

کاهش در کارایی مصرف مواد ذخیره‌ای بذر، اختلال در انتقال مواد غذایی به محور جنینی و کاهش در رشد سلولی محور جنینی نیز می‌تواند درصد جوانه‌زنی بذر را کاهش دهد. پرایمینگ با افزایش مصرف مواد غذایی موجب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Arab et al., 2023). افزایش درصد جوانه‌زنی ممکن است به دلیل افزایش سنتز هورمون‌هایی از جمله جیبرلین باشد که فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده از قبیل آلفا آمیلاز، پروتئاز و نوکلئاز را سبب می‌شود. این امر موجب فعالیت بهتر آنزیم‌های میتوکندریایی شده و سبب افزایش مصرف اکسیژن و جوانه‌زنی

می‌گردد (Noumavo et al., 2013). مشابه نتایج به‌دست آمده برای بذر کینوا، در دیگر گونه‌های گیاهی کینوا، کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در نتیجه افزایش تنش شوری و خشکی نیز گزارش شده است (Gholami et al., 2022; Mamedei et al., 2021). Saadat & Sedghi (2024) نشان دادند که پرایمینگ با جیبرلین موجب بهبود فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی تحت تنش شوری می‌شود. در این تحقیق، میانگین جوانه‌زنی روزانه در طول پرایمینگ با سطوح مختلف جیبرلین افزایش یافت و چون این صفت از نسبت درصد جوانه‌زنی به طول دوره آزمایش به‌دست می‌آید. بنابراین افزایش درصد جوانه‌زنی در طول پرایمینگ با جیبرلین موجب افزایش میانگین جوانه‌زنی روزانه خواهد شد. در واقع، این صفت مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی بذر را بیان می‌کند. کاهش میانگین جوانه‌زنی در طول تنش شوری ناشی از ایجاد اختلالات رشدی و کوچک شدن غیرطبیعی سلولی در فرآیند جوانه‌زنی است (Ghanbari et al., 2019). از آنجایی که، ضریب جوانه‌زنی عکس میانگین مدت جوانه‌زنی است، کاهش میانگین مدت جوانه‌زنی در طول پرایمینگ با هیدرو (آب مقطر) و سطوح مختلف جیبرلین به‌ویژه جیبرلین ۲۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش ضریب جوانه‌زنی طی پرایمینگ با جیبرلین می‌شود. ضریب جوانه‌زنی بالا نشان دهنده درصد جوانه‌زنی بالاست. پاکباز و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که پرایمینگ کینوا تحت تنش باعث بهبود ضریب جوانه‌زنی می‌شود. که مشابه نتایج این تحقیق بود. افزایش ضریب جوانه‌زنی تحت تنش شوری طی پرایمینگ آب مقطر و جیبرلین در گیاه نخود نیز گزارش شده است (Saadat & Sedghi, 2024). کاهش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه در شرایط تنش شوری موجب کاهش شاخص‌های طولی و وزنی بنیه گیاهچه می‌شود (Saadat et al., 2023d; 2023c). بنابراین هر تنشی که این صفات را کاهش دهد، در نتیجه بنیه گیاهچه را کاهش خواهد داد. از دست دادن یکپارچگی غشای سلولی در اثر افزایش مالون دی‌آلدئید سبب نشت محتویات سلول به محیط اطراف شده، که موجب کاهش بنیه بذر می‌شود (Prado et al., 2019). تائو و همکاران (Tao et al., 2018) گزارش کردند که کاهش بنیه بذر ناشی از کاهش تقسیم سلولی و افزایش تنفس است. کرمی و همکاران (Karmi et al., 2019) دریافتند که پرایمینگ بذر کینوا با

هورمون‌های گیاهی تحت تنش شوری باعث افزایش بنیه گیاهچه می‌شود. احتمالاً پرایمینگ بذر با جیبرلین به دلیل یک سری تغییرات بیوشیمیایی از قبیل فعال شدن آنزیم‌های هیدرولیزکننده، ترمیم متابولیک و ایجاد متابولیت‌های تقویت‌کننده جوانه‌زنی موجب تسریع جوانه‌زنی بذر و در نهایت افزایش شاخص بنیه گیاهچه می‌شود (Iqbal et al., 2020). همچنین، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت موجب حذف گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه شده و با حفاظت از گیاهچه‌ها در مقابل پراکسیداسیون لیپیدی و صدمات اکسیداتیو فسفولیپیدغشایی موجب حفظ بنیه بذر می‌گردد (Ahmadi Nouraldin et al., 2021). Saadat & Sedghi (2024) به این نتیجه رسیدند که پرایمینگ بذر با محلول جیبرلین ۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۱۲ ساعت باعث افزایش شاخص طولی و وزنی بنیه گیاهچه نخود شد. به نظر می‌رسد شوری با کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده ذخایر بذر منجر به کاهش وزن تر و خشک گیاهچه می‌شود (Kaur et al., 2022). در حقیقت، شوری، با جلوگیری از جذب آب توسط بذر کینوا موجب مشکل در عمل تجزیه‌کننده مواد ذخیره‌ای جهت تولید بافت‌های گیاهچه‌ای شده و در نتیجه وزن تر و خشک گیاهچه را کاهش می‌دهد (Hawrylak et al., 2019). در این تحقیق، استفاده از هیدرو (آب مقطر) و سطوح مختلف جیبرلین با اثرات نامطلوب تنش شوری مقابله کرده و وزن تر و خشک گیاهچه کینوا را افزایش یافت. پرایمینگ با سطوح مختلف جیبرلین با تحت تأثیر قرار داده رشد محور جنین و افزایش هدایت الکتریکی، فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاهچه و سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک و افزایش تحرک ذخایر بذر وزن تر و خشک گیاهچه را افزایش می‌دهد (Omidi et al., 2005). همچنین، علت افزایش وزن تر و خشک گیاهچه کینوا می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت میتوزی و افزایش تعداد سلول‌ها در ریشه‌چه و ساقه‌چه باشد که موجب افزایش تجمع ماده خشک سلولی می‌شود (Ahmadvand et al., 2023). پرایمینگ بذر با جیبرلین در بهترین غلظت (۲۰۰ پی‌پی‌ام)، با افزایش وزن تر و خشک گیاهچه و حفاظت از انسجام غشای سلولی، تاثیر تنش شوری را در کینوا کاهش می‌دهد، که مطابق با تحقیقات (Jahantighi & Roshandel, 2023) است. پرایمینگ بذر کینوا با هورمون تحت

تنش شوری باعث افزایش وزن خشک گیاهچه می شود (Karmi et al., 2019). علاوه بر این، پرایمینگ بذر کینوا می تواند سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی کینوا گردد (Shadmehri & Abbasdokht, 2024). نتایج ما نشان دهنده کاهش در محتوای پروتئین بذرهای کینوا طی شوری در طول فرآیند جوانه زنی است. این پدیده به طور بالقوه می تواند به افزایش فعالیت آنزیمی آنزیم های پروتئولیتیک مشاهده شده در طول فرآیند جوانه زنی بذر نسبت داده شود (Gupta et al., 2021). علاوه بر این، کاهش محتوای پروتئین تحت تنش به دلیل واکنش پروتئین با رادیکال های آزاد، تفاوت در اسیدهای آمینه، افزایش فعالیت تخریب پروتئین، کاهش سنتز پروتئین و تجمع اسیدهای آمینه آزاد است (Dubey et al., 2019). محتوای پروتئین های محلول، این تصور را تأیید می کند که جیبرلین عمدتاً بر جوانه زنی بذر کینوا در مرحله اولیه جذب آب تأثیر می گذارد (Zeng et al., 2024). تحقیقات نشان داده است که پرایمینگ بذر کینوا تحت تنش محتوای پروتئین را در گیاهچه کینوا افزایش می دهد (Gholami et al., 2022). اثرات مثبت پرایمینگ ممکن است به دلیل افزایش فعالیت آنزیم ها در محور جنینی باشد که انتقال ترکیباتی مانند پروتئین ها و اسیدهای آمینه را به سمت محور جنینی افزایش می دهد (Ahmadvand et al., 2023). تجمع پرولین در گیاهان نقش مهمی در تنظیم اسمزی و حفاظت از اجزای سلولی تحت تنش دارد. این ماده به عنوان یک محافظ اسمزی عمل می کند و به تثبیت ساختارهای سلولی و محافظت از غشاهای در برابر اثرات مخرب تنش های شوری کمک می کند (Ghosh et al., 2022; Shafi et al., 2019). علاوه بر این، نشان داده شده است که پرولین با فعال کردن سیستم آنتی اکسیدانتی آنزیمی، پتانسیل اسمزی را تنظیم می کند و اثر یون های سمی را کاهش می دهد (Mundada et al., 2021). تجمع آن در سلول ها به کاهش پتانسیل اسمزی سلولی و حفظ تورگر کمک می کند و در نتیجه زیست توده گیاه را تحت تنش شوری بهبود می بخشد. به طور کلی، پرولین نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر تنش اسمزی ایفا می کند و به سازگاری و تحمل گیاهان در شرایط نامطلوب شوری کمک می کند. در این تحقیق، تنش شوری باعث افزایش محتویات پرولین در کینوا نسبت به شاهد شد. پرایمینگ بذر با جیبرلین محتوای پرولین را به ترتیب ۵۳، ۴۶ و ۲۹ درصد

نسبت به شاهد (بذرهای تیمار شده با آب مقطر) افزایش داد. به نظر می رسد در گیاهچه های کینوا پرولین یک سازوکار دفاعی در مقابل تنش اکسیداتیو عمل کرده و با افزایش سطوح جیبرلین افزایش می یابد. همچنین، القای بیوسنتز پرولین و کاهش بیوسنتز پروتئین موجب افزایش پرولین در نتیجه تیمار با جیبرلین می شود (Hidangmayum et al., 2019). از لحاظ ژنتیکی افزایش پرولین ناشی از کاربرد جیبرلین می تواند در ارتباط با تنظیم بالادست، ژن های بیوسنتز پرولین از جمله گلو تامیل کیناز و گلو تامات ۵-سمی آلدئید دهیدروژناز باشد که سبب سنتز پرولین از گلو تامات می شود (Ali et al., 2021). طبق تحقیقات، پرایمینگ باعث بهبود محتوای پرولین در گیاه کینوا تحت تنش می شود (Gholami et al., 2022; Iqbal & Yaning, 2024). پراکسیداسیون لیپیدها با کاهش در فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانتی و کاهش تولید پروتئین سبب از بین رفتن بذر می شود. پراکسیداسیون لیپیدها با گرفتن یک هیدروژن توسط رادیکال های هیدروکسیل آغاز و واکنش زنجیره ای شکستن لیپیدها سبب آزادسازی ترکیباتی از قبیل آلدئیدهای واکنش پذیر می گردد که این ترکیبات باعث آسیب های بعدی به پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک می گردد. رادیکال های آزاد موجود در سلول ها باعث آسیب به لیپیدها شده و رادیکال های پراکسی و هیدروپراکسی تولید می کنند، که به واکنش های اکسیداسیون لیپیدها سرعت می بخشند (Ding et al., 2019). بذرهای با بنیه پایین تر، محتوی مالون دی آلدئید بالاتر داشته و آسیب در غشای پلاسمایی و از دست دادن یکپارچگی غشا در آن ها بیشتر است (Ebene et al., 2019). تنش شوری با افزایش پراکسیداسیون لیپیدی منجر به تنش اکسیداتیو در گیاهان می شود. مالون دی آلدئید محصول نهایی این تنش اکسیداتیو ناشی از پراکسیداسیون لیپیدی است (Yang & Lee, 2023). مطالعات متعدد نشان داده اند که غلظت کمتر مالون دی آلدئید با محافظت بهتر در برابر تنش اکسیداتیو مرتبط است. این اغلب با افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانتی در بافت های گیاهی مرتبط است (Rajput et al., 2021). در این تحقیق، کاربرد جیبرلین محتوای مالون دی آلدئید را در بذر کینوا که در معرض سطوح مختلف شوری بودند کاهش داد. حتی در ژنوتیپ های متفاوت کینوا در محتوای مالون دی آلدئید تفاوت وجود دارد (Amiryousefi et

al., 2021). کاهش میزان مالون دی آلدئید در طول پرایمینگ می تواند به علت توانایی هورمون جبریلین در ممانعت از تولید رادیکال های آزاد باشد، این رادیکال های آزاد با ایجاد پراکسیداسیون لیپیدها، باعث تغییر سنتز ماکرومولکول های غشای سلولی و سیتوپلاسم می شود. طبق تحقیقات تنش شوری باعث افزایش محتوای مالون دی آلدئید در گیاه کینوا می شود (Jahantighi & Roshandel, 2023). افزایش مالون دی آلدئید تحت تنش شوری و کاهش آن در طول پرایمینگ در گیاه لوبیا نیز گزارش شده است (Saadat et al., 2023b). یکی از مکانیسم های مورد استفاده در کینوا برای تحمل تنش شوری و حفظ هموستاز یونی در طول جوانه زنی و استقرار گیاهچه، تجمع سدیم و حفظ پتاسیم در سیتوزول است (Koyro & Eisa, 2008). بهینه سازی تعادل یونی، یون های پتاسیم و سدیم برای انعطاف پذیری گیاه حیاتی است (Van Zelm et al., 2020). درک سیگنال دهی تنش شوری راحلی برای روشن کردن ساز کارهای تعادل یونی در سلول های گیاهی است (Mansour & Salama, 2019). گیاهان تحت تنش شوری می توانند غلظت سیتوزولی پتاسیم و سدیم خود را از طریق پیام رسانی کانال یونی (Dabravolski & Isayenkov, 2023) با حفظ سطوح سیتوزولی پتاسیم و در عین حال به حداقل رساندن غلظت سدیم تنظیم کنند (Gupta et al., 2021). در مقابل، سدیم همیشه برای تنظیم اسمزی برای حفظ تورگر سلولی استفاده می شود، اما باید از اثرات سمی آن در غلظت بالا در گیاهان اجتناب شود (Hussain et al., 2021; Tanveer & Shah, 2017). از آنجایی که جذب پتاسیم به دلیل افزایش شوری سرکوب می شود، سهم پتاسیم برای تنظیم اسمزی ممکن است در گیاهان محدود شود (Wang et al., 2013). جذب آسان پتاسیم ممکن است هموستاز سلولی پتاسیم/سدیم را در گیاهان تحت شرایط شور بازیابی کند و منجر به افزایش مقاومت گیاه به شوری شود (Nieves-Cordones et al., 2014). طبق نتایج به دست آمده، افزایش غلظت کلرید سدیم در محیط کشت کینوا سبب افزایش غلظت عنصر سدیم و کاهش غلظت عنصر پتاسیم در گیاهچه ها شد. تنش شوری با افزایش جذب سدیم تعادل مواد مغذی را مختل کرده و به طور همزمان مصرف پتاسیم را کاهش می دهد. این عدم تعادل می تواند منجر به ایجاد سمیت سدیم شود (Hu et al., 2012). در واقع، تنش

شوری با تحت تاثیر قرار دادن جذب یون ها توسط گیاه کینوا موجب اختلال در جذب عناصر غذایی مخصوصا پتاسیم گردیده و در نتیجه موجب بروز ناهنجاری های فیزیولوژیکی در گیاه می شود. پس می توان گفت که پرایمینگ بذر با جبریلین از طریق برقراری تعادل در نسبت غلظت عناصر سدیم و پتاسیم گیاهچه های کینوا سبب مقاومت نسبی در برابر تنش شوری می گردد. خماری و همکاران (Khomari et al., 2019) نشان دادند که افزایش سطوح شوری در محیط جوانه زنی بذور سیاهدانه، مقادیر پتاسیم گیاهچه ها کاهش و میزان سدیم به طور معنی داری افزایش داد. تعادل یون های K^+ و Na^+ درون سلولی برای فعالیت بسیاری از آنزیم های سیتوسول و حفاظت از پتانسیل غشایی و به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی مناسب برای تنظیم حجم سلول بسیار مهم است (Koyro & Eisa, 2008 2008). افزایشی که در این نسبت (Na^+/K^+) با افزایش میزان شوری مشاهده می شود، به دلیل افزایش سرعت جذب سدیم و ممانعت این یون از جذب پتاسیم با افزایش میزان نمک می باشد. در واقع، در مقادیر بالای شوری مقدار یون پتاسیم کاهش یافته و با سدیم جایگزین شده که این عمل علاوه بر مختل نمودن تعادل یونی باعث اختلال در متابولیسم سلولی نیز می شود (Sayadi & Nabizadeh, 2023). با توجه به اینکه نسبت سدیم به پتاسیم حاصل تقسیم غلظت سدیم به پتاسیم است و کم ترین غلظت سدیم و بیش ترین میزان پتاسیم به تیمار با جبریلین با غلظت ۲۰۰ پی پی ام و بدون شوری اختصاص داشت. تیمار مذکور توانست کمترین نسبت سدیم به پتاسیم را به خود اختصاص دهد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تنش شوری موجب کاهش شاخص های جوانه زنی گیاهچه کینوا شد و با افزایش شدت تنش شوری، محتوای کل پروتئین و میزان پتاسیم کاهش و محتوای پرولین، مالون دی آلدئید و میزان سدیم افزایش یافت. پرایمینگ با جبریلین ۲۰۰ پی پی ام در افزایش قابلیت جوانه زنی و مقابله با تنش شوری، در برخی از صفات جوانه زنی موثرتر از هیدرو پرایمینگ و پرایمینگ با سطوح جبریلین ۱۰۰، ۱۵۰ پی پی ام عمل کرده و اثرات سوء حاصل از تنش شوری را کاهش

Arab, S., Firouzabadi, M. B., Gholami, A., & Haydari, M. (2023). Effect of pretreatment with seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) on germination traits and heterotrophic growth of soybean (*Glycine max*) seeds under aging conditions. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(2), 113–132. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.113> [In Persian]

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39(1), 205–207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>

Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of development and germination*. Plenum Press.

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](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Causin, H. F., Bordón, D. A., & Burrieza, H. P. (2020). Salinity tolerance mechanisms during germination and early seedling growth in *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes with different sensitivity to saline stress. *Environmental and Experimental Botany*, 172, 103995. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.103995>

Chen, J., He, L., Zhu, H., Huang, Z., Zhu, M., Fan, L., Wu, L., Yu, L., Zhu, W., & Yan, J. (2022). Transcriptome analyses reveal the role of light in releasing the morphological dormancy of celery seed by integrating plant hormones, sugar metabolism and endosperm weakening. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(17), 10140. <https://doi.org/10.3390/ijms231710140>

Dabravolski, S. A., & Isayenkov, S. V. (2023). The regulation of plant cell wall organisation under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118313. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118313>

Dashab, S., & Omid, H. (2021). Effects of hydro- and bio-priming on some physiological and biochemical characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings under drought stress. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11(3), 3659–3670. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2021.1919331.1282>

Ding, Y., Shi, Y., & Shuhua Yang, S. (2019). Advances and challenges in uncovering cold tolerance regulatory mechanisms in plants. *New Phytologist*, 222(4), 1690–1704. <https://doi.org/10.1111/nph.15696>

Du, Y., Liu, X., Zhang, L., & Zhou, W. (2023). Drip irrigation in agricultural saline-alkali land controls soil salinity and improves crop yield: Evidence from a global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 880, 163226. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163226>

داد. همچنین، پرایمینگ بذر کینوا با هیدرو پرایمینگ و سطوح جیرلین روند افزایشی محتوای پرولین، میزان سدیم و کاهش مالون دی آلدئید را در پی داشت. بنابراین، اعمال پرایمینگ با هیدرو (آب مقطر) و جیرلین برای مقابله و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری در برخی صفات جوانه زنی بذر کینوا قابل توصیه است. براساس یافته‌ها، این بینش نوآورانه ممکن است مسیرهایی را در تلاش‌های تحقیقاتی با هدف کشاورزی پایدار و امنیت غذایی آینده با کاهش اثرات منفی شوری ارائه دهد.

تعارض منافع

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

References

Abd-Elzaher, M. A., El-Desoky, M. A., Khalil, F. A., Eissa, M. A., & Amin, A. E. E. A. (2022). Interactive effects of K-humate, proline and Si and Zn nanoparticles in improving salt tolerance of wheat in arid degraded soils. *Egyptian Journal of Soil Science*, 62, 237–251. <https://doi.org/10.21608/ejss.2022.154365.1523>

Ahmadvand, B., Sharifzadeh, F., & Mirabzadeh Ardakani, M. (2023). The effect of hydro and osmo priming treatments on germination traits enhancement of *Sesamum indicum* L. var. shevin seeds under drought stress. *Iranian Journal of Seed Science & Technology*, 11(4), 1–16. <https://doi.org/10.22092/ijss.2022.359726.1446> [In Persian]

Ali, F. F., El-Shehawi, A. M., Ibrahim, O. H. M., Abdul-Hafeez, E. Y., Moussa, M. M., & Hassan, F. A. S. (2021). A vital role of chitosan nanoparticles in improvisation the drought stress tolerance in *Catharanthus roseus* (L.) through biochemical and gene expression modulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 161, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.008>

Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Ebrahimi, R. (2021). Effect of nitrogenous and phosphorus biofertilizers on seed germination and some biochemical characteristics of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(1), 107–126. <https://doi.org/10.22092/ijss.2022.359726.1446> [In Persian]

- 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>
- Gupta, S., Schillaci, M., Walker, R., Smith, P. M., Watt, M., & Roessner, U. (2021). Alleviation of salinity stress in plants by endophytic plant-fungal symbiosis: Current knowledge, perspectives and future directions. *Plant and Soil*, 461, 219–244. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04618-w>
- Haj-Amor, Z., Araya, T., Kim, D. G., Bouri, S., Lee, J., Ghiloufi, W., Yang, Y., Kang, H., Jhariya, M. K., & Banerjee, A. (2022). Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: A review. *Science of the Total Environment*, 843, 156946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156946>
- Hasanuzzaman, M., Raihan, 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, 9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>
- Hawrylak, N. B., Rubinowska, K., Molas, J., Woch, W., Matraszek-Gawron, R., & Szczurowska, A. (2019). Selenium-induced improvements in the ornamental value and salt stress resistance of *Plectranthus scutellarioides* (L.) R. Br. *Folia Horticulturae*, 31, 213–221. <https://doi.org/10.2478/fhort-2019-0016>
- Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D., & Hemantaranjan, A. (2019). Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 25, 313–326. <https://doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1>
- Hoogenboom, G., & 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>
- Hu, L., Hu, T., Zhang, X., Pang, H., & Fu, J. (2012). Exogenous glycine betaine ameliorates the adverse effect of salt stress on perennial ryegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 137, 38–46. <https://doi.org/10.21273/JASHS.137.1.38>
- Hussain, S., Hussain, S., Ali, B., Ren, X., Chen, X., Li, Q., Saqib, M., & Ahmad, N. (2021). Recent progress in understanding salinity tolerance in plants: Story of Na⁺/K⁺ balance and beyond. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 239–256. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.01.029>
- Ibrahim, E. A. (2017). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Frontiers in Plant Science*, 192, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.011>
- Dubey, A. K., Kumar, N., Kumar, A., Ansari, M. A., Ranjan, R., Gautam, A., Sahu, N., Pandey, V., Behera, S. K., & Mallick, S. (2019). Over-expression of CarMT gene modulates the physiological performance and antioxidant defense system to provide tolerance against drought stress in *Arabidopsis thaliana* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.050>
- Ebone, L. A., Gancalves, I. M., & Langaro, N. C. (2019). Accelerated aging test and image analysis for barley seed. *Australian Journal of Crop Science*, 13(9), 1546–1551. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.09.p1892>
- Ebrahimi, O., Esmaili, M. M., Sabori, H., & 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. <http://deej.kashanu.ac.ir> [In Persian]
- El-Sherpiny, M. A., & Kany, M. A. (2023). Maximizing faba bean tolerance to soil salinity stress using gypsum, compost and selenium. *Egyptian Journal of Soil Science*, 63, 243–253. <https://doi.org/10.21608/ejss.2023.203083.1582>
- Faithfull, N. T. (2002). Acide-digestion, ashing and extraction procedures. In *Methods in agricultural chemical analysis: A practical handbook* (pp. 30–54). CABI Press. <https://doi.org/10.1079/9780851996080.0030>
- Fathi Amirkhiz, K., Omid, H., Heshmati, S., & 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. <https://www.magiran.com/p1061123> [In Persian]
- Ghanbari, M., Mokhtassi-Bidgoli, A., Talebi-Siah Saran, P., & Pirani, H. (2019). Effect of deterioration on germination and enzymes 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]
- Gharsallah, C., Fakhfakh, H., Grubb, D., & Gorsane, F. (2016). Effect of salt stress on ion concentration, proline content, antioxidant enzyme activities and gene expression in tomato cultivars. *AoB Plants*, 8, plw055. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw055>
- Gholami, S. H., Rostami, T., Ahmadi, K., & Bagheri, M. (2022). The effect of different concentrations of salicylic acid on germination characteristics of two genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(2), 529–539. <https://doi.org/20.1001.1.22287604.1401.15.2.18.4> [In Persian]

- Liu, Y., Xun, W., Chen, L., Xu, Z., Zhang, N., Feng, H., Zhang, Q., & Zhang, R. (2022). Rhizosphere microbes enhance plant salt tolerance: Toward crop production in saline soil. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 6543–6551. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.11.046>
- Mamedi, A., Sharifzadeh, F., & Maali Amiri, R. (2021). Evaluation of quinoa seed germination variability to temperature, drought and saline stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 10(4), 57–67. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2021.353918.1388>
- Mansour, M. M. F., & Salama, K. H. A. (2019). Cellular mechanisms of plant salt tolerance. *Soil Biology*, 56, 169–210. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18975-48>
- 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, 57–79. <https://doi.org/10.1081/GBT-120004201>
- Mohapatra, S., Sirhindi, G., & 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>
- Mundada, P. S., Jadhav, S. V., Salunkhe, S. S., Gurme, S. T., Umdale, S. D., Nikam, T. D., & Ahire, M. L. (2021). Plant performance and defensive role of proline under environmental stress. In A. Husen (Ed.), *Plant performance under environmental stress: Hormones, biostimulants & sustainable plant growth management* (pp. 201–223). Springer International Press. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78521-5_8
- Muthuraja, R., & Muthukumar, T. (2022). Co-inoculation of halotolerant potassium solubilizing *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus violaceofuscus* improves tomato growth and potassium uptake in different soil types under salinity. *Chemosphere*, 294, 133718. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133718>
- 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 soybean (*Glycine max* (L.) Merrill, William variety). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(1), 57–70. <https://doi.org/10.22034/ijssst.2018.116566.1149> [In Persian]
- Nazih, A., Baghour, M., Maatougui, A., Aboukhalid, K., Chiboub, B., & Bazile, D. (2024). Effect of gibberellic acid and mechanical scarification on the germination and seedling stages of *Chenopodium quinoa* Willd. under salt stress. *Plants*, 13, 1330. <https://doi.org/10.3390/plants13101330>
- Iqbal, H., & Yaning, C. (2024). Redox priming could be an appropriate technique to minimize drought-induced adversities in quinoa. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1253677. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1253677>
- Iqbal, S., Hussain, S., Qayyum, M. A., & Ashraf, M. (2020). The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. *Plant Stress Physiology*. Bangladesh Wheat and Maize Research Institute Press. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92213>
- Jahantighi, M., & Roshandel, P. (2023). The effect of seed priming of *Chenopodium quinoa* L. var. Giza 1 with ascorbic acid on increasing salt tolerance. *Iranian Journal of Seed Science & Research*, 10(3), 81–93. <https://doi.org/10.22124/jms.2023.7676> [In Persian]
- Jaramillo Roman, V., Den Toom, L. A., Castro Gamiz, C., Van Der Pijl, N., Visser, R. G. F., Van Loo, E. N., & Van Der Linden, C. G. (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104146. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104146>
- Karmi, R., Ebrahimi, F., Balochi, H. R., & Babaei-Zarch, M. J. (2019). Improvement of germination behavior and seedling characteristics of two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) under the influence of salicylic acid and salt stress. *Journal of Seed Research*, 10(1), 52–66 [In Persian]
- Kaur, S., Suhalia, A., Sarlach, R. S., Mohd, S., Pritpal, S., Gomti, G., Anureet, B., & Achla, S. (2022). Uncovering the Iranian wheat landraces for salinity stress tolerance at early stages of plant growth. *Cereal Research Communications*, 56, 6–13. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00245-6>
- Khaitov, B., Karimov, A. A., Toderich, K., Sultanova, Z., Mamadrahimov, A., & Allanov, K. (2020). Adaptation, grain yield and nutritional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes in marginal environments of the Aral Sea basin. *Journal of Plant Nutrition*, 44, 1365–1379. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1862200>
- Khomari, S., Madadi, M., & Javadi, A. (2019). Black cumin seed germination enhancement by calcium and zinc under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science & Research*, 6(1), 93–105. <https://doi.org/10.22124/jms.2019.3590> [In Persian]
- Koyro, H. W., & Eisa, S. S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant and Soil*, 302(1–2), 79–90. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9457-4>
- Kumar, P., Choudhary, M., Halder, T., Prakash, N. R., Singh, V., Sheoran, V. T., Longmei, N., Rakshit, S., & Siddique, K. H. (2022). Salinity stress tolerance and omics approaches: Revisiting the progress and achievements in major cereal crops. *Heredity*, 128(6), 497–518. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00516-2>

- Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & 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. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2023.1978837.1460>
- 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/20.1001.1.23222727.1402.12.54.15.5> [In Persian]
- Saadat, T., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023c). Effect of chitosan on germination indices of common bean (*Phaseolus vulgaris*) (cv. Sedri) seeds under salt stress. *Iranian Journal of Seed Research*, 9(2), 151–162. <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.151> [In Persian]
- Sayadi, R., & Nabizadeh, I. (2023). Effect of salinity and temperature on germination and seedling growth indices and ionic relations in castor (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Seed Science & Research*, 9(4), 59–74. <https://doi.org/10.22124/jms.2023.6171> [In Persian]
- Shadmehri, A., & Abbasdokht, H. (2024). Investigating seed priming on some physiological characteristics and yield of three genotypes (Q12, Q29 and Giza1) of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17(2), 405–424. <https://doi.org/10.22077/ESCS.2023.5995.2185>
- 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: Mechanisms and molecular approaches* (pp. 269–300). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8805-7_13
- Talebnejad, R., & Sepaskhah, A. (2016). Quinoa: A new crop for plant diversification under water and salinity stress conditions in Iran. *Acta Horticulturae*, 190, 101–106. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.119>
- Tanveer, M., & Shah, A. N. (2017). An insight into salt stress tolerance mechanisms of *Chenopodium album*. *Environmental Science & Pollution Research*, 24, 16531–16535. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9337-2>
- 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 & Technology*, 46(2), 239–258. <https://doi.org/10.15258/sst.2018.46.2.06>
- Nieves Cordones, M., Alemán, F., Martínez, V., & Rubio, F. (2014). K⁺ uptake in plant roots. The systems involved, their regulation and parallels in other organisms. *Journal of Plant Physiology*, 171, 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.021>
- Noumavo, P., Kochoni, E., Didagbé, Y., Adjanohoun, A., Allagbé, M., Sikirou, R., Gachomo, E., Kotchoni, S., & Baba-Moussa, L. (2013). Effect of different plant growth promoting rhizobacteria on maize seed germination and seedling development. *American Journal of Plant Sciences*, 4(5), 1013–1021. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.45125>
- Omidi, H., Leyla, J., & Hasanali, N. (2014). *Seeds of medicinal plants and crops*. Natural Resources and Environment. Shahed University Press.
- Omidi, H., Soroushadeh, A., Salehi, A., & Ghezeli, F. (2005). Evaluation of priming pretreatments on germination rapeseed. *Agricultural Science & Technology*, 19(2), 1–10.
- Pandey, P., Ramegowda, V., & Senthil-Kumar, M. (2015). Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: Physiological and molecular mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6, 723. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00723>
- Prado, J. P. D., Krzyzanowski, F. C., Martins, C. C., & Vieira, R. D. (2019). Physiological potential of soybean seeds and its relationship to electrical conductivity. *Journal of Seed Science*, 41(4), 407–415. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n4214988>
- Quan, R., Lin, H., Mendoza, I., Zhang, Y., Cao, W., Yang, Y., Shang, M., Chen, S., Pardo, J. M., & Guo, Y. (2007). SCABP8/CBL10, a putative calcium sensor, interacts with the protein kinase SOS2 to protect *Arabidopsis* shoots from salt stress. *Plant Cell*, 19, 1415–1431. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.042291>
- Rajput, V. D., Harish, R. K., Singh, K. K., Verma, L., Sharma, F. R., QuirozFigueroa, M., Meena, V. S., Gour, T., Minkina, S., & Sushkova, S. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10(4), 267. <https://doi.org/10.3390/biology10040267>
- Saadat, H., & Sedghi, M. (2024). The effect of priming on seed germination indices and antioxidant enzyme activity in chickpea seedlings (*Cicer arietinum* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 11(1), 15–29. <https://doi.org/10.22124/jms.2024.8036> [In Persian]
- Saadat, H., Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., & 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. *Phant Production Technology*, 14(2), 75–89. <https://doi.org/10.22084/PPT.2023.26100.2075> [In Persian]

- Yang, S., & Lee, H. (2023).** Salinity-triggered responses in plant apical meristems for developmental plasticity. *International Journal of Molecular Sciences*, 24, 6647. <https://doi.org/10.3390/ijms24076647>
- Yasmeen, A., & Muhamma Imran, M. (2024).** Growth promoters modulate the antioxidant system to mitigate water stress in quinoa. *Pakistan Journal of Botany*, 56(3), 853–862. [https://doi.org/10.30848/PJB2024-3\(17\)](https://doi.org/10.30848/PJB2024-3(17))
- Zeng, F., Zheng, C., Ge, W., Gao, Y., Pan, X., Ye, X., Wu, X., & Sun, Y. (2024).** Regulatory function of the endogenous hormone in the germination process of quinoa seeds. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1322986. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1322986>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J. K., & Shabala, S. (2020).** Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Terletskaia, N. V., Erbay, M., Zorbekova, A. N., Prokofieva, M. Y., Saidova, L. T., & Mamirova, A. (2022).** Influence of osmotic, salt, and combined stress on morphophysiological parameters of *Chenopodium quinoa* photosynthetic organs. *Agriculture*, 13, 1. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010001>
- Tsegay, B. A., & Andargie, M. (2018).** Seed priming with gibberellic acid (GA3) alleviates salinity induced inhibition of germination and seedling growth of *Zea mays* L., *Pisum sativum* var. *abyssinicum* A. Braun and *Lathyrus sativus* L. *Journal of Crop Science & Biotechnology*, 21, 261–267. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0043-0>
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020).** Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71, 403–433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013).** The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 7370–7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>