Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

The effect of seed pretreatment with sodium hydrogen sulfide and salicylic acid on germination, morphological and biochemical indicators of quinoa seedlings in the greenhouse

Fatemeh Mahmoudi[1], Parisa Sheikhzadeh Mossadegh[*2], Nasser Zare[3], Behrouz Esmaielpour[4]

1. Ph.D. Student of Seed Science and Technology, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabil University, Ardabil, Iran. E-mail: fatemehmahmoudi2015@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. E-mail: sheikhzadehmp@gmail.com
3. Professor, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. E-mail: zarenasser@yahoo.com
4. Professor, Dept. of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. E-mail: behsmaiel@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.08.2024
Revised: 10.06.2024
Accepted: 10.07.2024

Keywords:
Antioxidant enzyme,
Emergence,
Seedling growth,
Seed pretreatment

ABSTRACT

Background and Objectives: Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is an annual plant of the Amaranthaceae family that has been cultivated in South America for thousands of years. Seed pretreatment is a low-cost and useful technology to improve seed vigor and quality. Considering the importance of the quinoa plant and the existing problems in the field of seed germination and seedling growth (due to the sensitive and criticality of these steps), the use of treatments that improve germination and germination such as the use of salicylic acid and sodium hydrogen sulfide as Pre-treatment can be considered as one of the solutions that is directly and indirectly effective on improving the germination and establishment of seedlings. Therefore, this study was conducted with the aim of investigating the effect of pretreatment of seeds with sodium hydrogen sulfide and salicylic acid on the emergence, morphological and biochemical indicators of quinoa seedlings in greenhouse conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of different pretreatments on greening and physiological and biochemical indices in quinoa seedlings under greenhouse conditions, an experiment in the form of a completely randomized basic design in three replications in the research greenhouse of Mohaghegh Ardabili University. It was implemented in 2022. Experimental treatments include five levels of pretreatment (control (no pretreatment), water pretreatment, seed pretreatment with 2.5 mM salicylic acid, seed pretreatment with 300 mM sodium hydrogen sulfide, and seed pretreatment with 2.5 mM The molarity of salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide) was Also, the characteristics of greening percentage, average emergence time and time to 50% emergence, chlorophyll index, plant length and dry weight were evaluated. The activity of antioxidant enzymes was measured. All

statistical analyzes of the data were performed using SAS statistical software (Ver 9.4).

Results: According to the results of the data, the combined treatment of 300 mM sodium hydrogen sulfide + 2.5 mM salicylic acid made the percentage of greening about 48.7%, the speed of greening about 40.3%, the average Greening period increased by 30.7%, average daily greening by 57.69%, root length by 87.47%, shoot length by 42.24%, and chlorophyll index by 20.47% compared to the control treatment. gave The combined application of 300 mM sodium hydrogen sulfide + 2.5 mM salicylic acid increased the activity of catalase by 62.5%, peroxidase by 75.17%, and polyphenol oxidase by 65.71%.

Conclusion: In general, it can be concluded that the application of salicylic acid and sodium hydrogen sulfide individually or together can be considered as a suitable solution for improving the emergence, growth and biochemical characteristics of quinoa seedlings.

Cite this article: Mahmoudi, Fatemeh, Sheikhzadeh Mossadegh, Parisa, Zare, Nasser, Esmaielpour, Behrouz. 2026. The effect of seed pretreatment with sodium hydrogen sulfide and salicylic acid on germination, morphological and biochemical indicators of quinoa seedlings in the greenhouse. *Journal of Plant Production Research*, 33 (1), 99-123.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2024.22767.3183
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

تأثیر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبزشدن، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های کینوا در گلخانه

فاطمه محمودی[۱]، پریسا شیخ‌زاده مصدق*[۲]، ناصر زارع[۳]، بهروز اسماعیل‌پور[٤]

۱. دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: fatemehmahmoudi2015@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sheikhzadehmp@gmail.com

۳. استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zarenasser@yahoo.com

٤. استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: behsmaiel@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۰٦/۱۸
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۳/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۷/۱٦

واژه‌های کلیدی:
آنزیم آنتی‌اکسیدان،
پیش‌تیمار بذر،
رشد گیاهچه،
سبزشدن

چکیده

سابقه و هدف: کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی یک‌ساله از خانواده Amaranthaceae بوده که برای چندین هزار سال در آمریکای جنوبی کشت می‌شود. پیش‌تیمار بذر یک فناوری با هزینه کم و مفید برای بهبود قدرت و کیفیت بذر است. با توجه به اهمیت گیاه کینوا و مشکلات موجود در زمینه سبزشدن بذر و رشد گیاهچه‌های آن (به‌علت حساس و بحرانی بودن این مراحل)، استفاده از تیمارهای بهبوددهنده جوانه‌زنی و سبزشدن مانند کاربرد اسیدسالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید به صورت پیش‌تیمار می‌تواند یکی از راهکارها در نظر گرفته شود که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها مؤثر باشد. از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبزشدن، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های کینوا تحت شرایط گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر سبزشدن و شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهچه‌های کینوا در شرایط گلخانه‌ای، آزمایشی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱٤۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح پیش‌تیمار (شاهد (بدون پیش‌تیمار)، پیش‌تیمار آبی، پیش‌تیمار بذر با ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، پیش‌تیمار بذر با ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید و پیش‌تیمار بذر با ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک + ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم

هیدروژن سولفید) بود. هم‌چنین صفات درصد سبزشدن، میانگین مدت سبزشدن و زمان تا ۵۰ درصد سبزشدن، شاخص کلروفیل، طول و وزن خشک بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت اندازه‌گیری شد. همه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver 9.4) انجام گرفت.

یافته‌ها: با توجه به نتایج داده‌ها، تیمار کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک درصد سبزشدن را حدود ٤٨/٧ درصد، سرعت سبزشدن را حدود ٤٠/٣ درصد، میانگین مدت سبزشدن را حدود ۷/۳۰ درصد، متوسط سبزشدن روزانه را حدود ٥٧/٦٩ درصد، طول ریشه را ٨٧/٤٧ درصد، طول اندام هوایی را ٤٢/٢٤ درصد و شاخص کلروفیل را ٢٠/٤٧ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. کاربرد توام ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را ٦٢/٥ درصد، پراکسیداز را ٧٥/١٧ درصد و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز را ٦٥/٧١ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که، کاربرد اسید سالیسییک و سدیم هیدروژن سولفید به صورت جداگانه یا توأم، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب برای بهبود سبزشدن، رشد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های کینوا در نظر گرفت.

استناد: محمودی، فاطمه، شیخ‌زاده مصدق، پریسا، زارع، ناصر، اسماعیل‌پور، بهروز (۱۴۰۵). تأثیر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبزشدن، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های کینوا در گلخانه. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۳ (۱)، ۱۲۳-۹۹.
DOI: 10.22069/jopp.2024.22767.3183

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) گیاهی علفی یک‌ساله و بومی کوه‌های آند در بولیوی، شیلی و پرو، بسیار خوش هضم و منبع غنی از پروتئین، آهن، فسفر، انواع ویتامین‌ها و امگا ۳ است (۱). کینوا یک گیاه چند منظوره است که اخیراً در رژیم غذایی انسان به عنوان جایگزینی برای محصولات حیوانی به عنوان منبع پروتئین استفاده می‌شود (۲). از برگ‌های جوان کینوا به عنوان سبزی تازه یا پخته استفاده می‌شود ولی محصول اصلی این گیاه، دانه آن است که دارای ارزش غذایی بالایی است. این گیاه از خانواده Amaranthaceae که زیست‌توده آن در خوراک دام نیز استفاده می‌شود. علاوه بر این، محتویات بالای ساپونین‌ها و رنگ‌ها، آن را برای مقاصد صنعتی و دارویی مفید می‌کند (۳). کینوا می‌تواند به خوبی با محیط‌های مختلف سازگار شود که در آن بقای سایر محصولات زراعی بسیار دشوار است. گیاه کینوا دارای تنوع ژنتیکی گسترده‌ای است (٤ و ٥). با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد گیاه کینوا، استفاده از تکنیک‌هایی که بتواند میزان سبزشدن بذر، رشد و استقرار گیاهچه‌ها را افزایش داده و موجب تولید گیاهچه‌های قوی گردد، از اهمیت زیادی برخوردار است.

پیش‌تیمار بذر یک فناوری با هزینه کم و مفید برای بهبود قدرت و کیفیت بذر است. یکی از رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ، پیش‌تیمار آبی است که در این روش، بذرها با آب خالص و بدون استفاده از هیچ ماده شیمیایی تیمار می‌شوند (٦). مطالعات متعدد در سال‌های اخیر نشان داده است که اسیدسالیسیلیک که یک تنظیم‌کننده درون‌زای رشد گیاه است که نقش مهمی در تنظیم طیف وسیعی از فرآیندهای سلولی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان ایفا می‌کند (۷). اسیدسالیسیلیک در مراحل مختلف رشدی گیاهان به‌صورت محلول‌پاشی روی بوته‌ها و یا ترکیب با خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). هم‌چنین در مرحله بذری اسیدسالیسیلیک را می‌توان به‌صورت تیمارهای پیش از کاشت بذر (پیش‌تیمار بذر) (۹) و یا حین کاشت بذر (استفاده در بستر کاشت) (۱۰) استفاده کرد. پیش‌تیمار کردن بذرها با اسیدسالیسیلیک باعث افزایش درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در گاوزبان اروپایی (۱۰)، گندم (۱۲)، خشخاش (*Papaver somniferum*) (۱۳)، مرزه (*Satureja hortensis*) (١٤) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) (١٥) شده است. ترکیب دیگری که جوانه‌زنی بذرها و سبزشدن گیاهچه‌ها را بهبود می‌بخشد، سدیم هیدروژن سولفید (NaHS) است (١٦ و ١٧). سدیم هیدروژن سولفید جامدی سفید رنگ و محلول در آب است که در معرض هوا، می‌تواند گاز هیدروژن سولفید (H_2S) آزاد نمایند. سولفید هیدروژن (H_2S) اخیراً به‌عنوان گاز مهم، نقش‌های گسترده‌ای در فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در مراحل مختلف رشد گیاهان ایفا می‌کند (۱۸). سولفید هیدروژن آثار مثبتی بر رشد و نمو گیاهان دارد. گاز سولفید هیدروژن بسیاری از فرآیندها مانند جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، رشد ریشه، فتوسنتز، گره‌سازی و تثبیت نیتروژن تأثیر می‌گذارد (۱۹). علاوه‌بر این، هم‌چنین می‌تواند تحمل گیاهچه‌ها و گیاه را در برابر تنش‌های غیرزیستی (تنش شوری، خشکی، گرما و تنش فلزات سنگین) افزایش دهد (۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳). بهبود جوانه‌زنی بذرها و رشد گیاهچه‌ها را در شرایط نامساعد محیطی با حفاظت گیاهچه از تنش اکسیداتیو با بهبود فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سرعت می‌دهد (٢٤). افزایش شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ها در اثر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید، در خیار (١٦)، سویا (١٧)، ذرت (٢٥) و گاوزبان (٢٦) گزارش شده است.

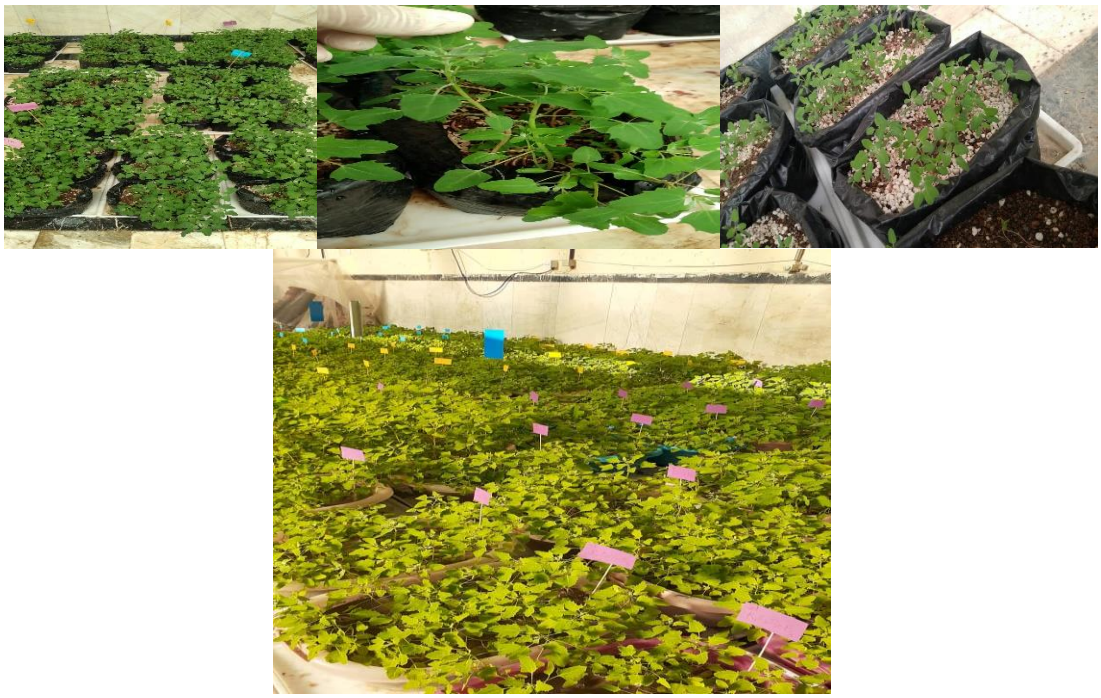
با توجه به اهمیت گیاه کینوا و مشکلات موجود در زمینهٔ سبزشدن بذر و رشد گیاهچه‌های آن (به‌علت حساس و بحرانی بودن این مراحل)، استفاده از تیمارهای بهبوددهنده جوانه‌زنی و سبزشدن مانند کاربرد اسیدسالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید به‌صورت پیش‌تیمار می‌تواند یکی از راهکارها در نظر گرفته شود که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه‌ها مؤثر باشد. از این‌رو این پژوهش با تأثیر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید و اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های سبزشدن، ریخت‌شناسی و بیوشیمیایی گیاهچه‌های کینوا در گلخانه گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بر سبزشدن و شاخص‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهچه‌های کینوا در شرایط گلخانه‌ای، آزمایشی در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل پنج سطح پیش‌تیمار (شاهد (بدون پیش‌تیمار)، پیش‌تیمار آبی، پیش‌تیمار بذر با ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، پیش‌تیمار بذر با ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید و پیش‌تیمار بذر با ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک + ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید) بود. اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید مورد استفاده برای اعمال تیمارها از شرکت مرک آلمان بودند. بذور کینوای مورد استفاده در این پژوهش واریته تی‌تی کاکا (درصد خلوص بذر ۹۹ درصد، قوه نامیه ۹۵ درصد و وزن هزاردانه ۲/۶ گرم) بود که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. قبل از اعمال تیمارها، بذرها با هیپوکلرید سدیم دو درصد به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس بذرهای کینوا به‌صورت تصادفی به دو قسمت تقسیم شدند. یک قسمت از بذرها تا زمان کاشت در یخچال نگهداری شدند و قسمت دیگر بذرها قبل از کاشت با استفاده از اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید پیش‌تیمار شدند. برای پیش‌تیمار کردن بذرها با اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید، بعد از تهیه محلول با غلظت ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، بذور ضدعفونی شده به‌مدت ۱۲ ساعت در داخل محلول‌های تهیه شده در ژرمیناتوری با دمای ۲۵ سانتی‌گراد قرار داده شدند. جهت جلوگیری از خروج گاز سولفید هیدروژن درب ظرف‌ها با استفاده از فویل پوشانده شدند (۲۷). برای پیش‌تیمار کردن بذرها با آب، بذور به مدت ۱۲ ساعت در آب مقطر قرار داده شدند. پس از اتمام مدت زمان، بذور تا رسیدن به رطوبت اولیه در محیط آزمایشگاه خشکانده شدند (۲۸).

به‌منظور انجام آزمون‌های گلخانه‌ای، ابتدا گلدان‌های پلاستیکی ته بسته با قطر ۸ و عمق ۱۰ سانتی‌متر با پرلیت و ماسه (به نسبت ۱:۱) پر شدند. اندازه دانه پرلیت‌های مورد استفاده در حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر بودند (شکل ۱). تعداد ۵۰ بذر کینوای پیش‌تیمارشده و پیش‌تیمارنشده در داخل گلدان‌ها کشت شدند. در مراحل اولیه بعد از تعیین ظرفیت زراعی گلدان‌ها، از آب مقطر برای آبیاری بر حسب نیاز گیاه استفاده شد. بعد از ثابت ماندن تعداد بذور سبزشده (۱۵ روز بعد از کاشت)، محلول هوگلند (جدول ۱) برای آبیاری به بوته‌ها اضافه شد. شمارش تعداد بذرهای سبزشده به‌صورت روزانه تا ۱۵ روز انجام شد. بعد از ثابت ماندن تعداد بذور سبز شده (۱۵ روز بعد از کاشت) درصد سبزشدن تعیین و صفات سرعت سبزشدن، میانگین مدت سبزشدن،

متوسط سبزشدن روزانه و زمان تا ۵۰ درصد سبزشدن محاسبه گردید (جدول ۲). برای تعیین طول ریشه و طول اندام هوایی ابتدا گیاهچه‌های ۱۵ روزه از گلدان‌ها خارج شدند و بعد از شستشوی کامل با آب (به‌طوری‌که به ریشه آسیبی نرسد) با خط کش طول ریشه و طول اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن خشک گیاهچه‌ها، نمونه‌ها در آونی با دمای ۷۵ به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شدند سپس با استفاده از ترازو وزن گردیدند. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ‌ها، از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502، مینولتای ژاپن) استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها، نمونه‌هایی از برگ بوته‌های نرمال ۱۵ روزه به‌صورت تصادفی انتخاب و این نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری خصوصیات بیوشیمیایی و آنزیمی در فریزر با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تهیه عصاره آنزیمی از روش چانگ و کوآ (۲۹) استفاده شد. میزان فعالیت آنزیم کاتالاز از روش آبی (۳۰) استفاده شد و آنزیم پراکسیداز از روش چانک و ماهلی (۳۱) بر پایه تشکیل تتراگایاکول از گایاکول در حضور پراکسید هیدروژن و آنزیم گایاکول اندازه‌گیری شد. فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز توسط روش کار و میشرا (۳۲) اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- بوته‌های کینوای رشد کرده در گلخانه تحت تیمارهای اسیدسالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید.

Fig. 1. Quinoa plants grown in the greenhouse treated with salicylic acid and sodium hydrogen sulfide.

جدول ۱- نحوه تهیه محلول هوگلند.

Table 1. How to prepare Hoagland's solution.

۱ میلی‌لیتر 1 ml	۱ لیتر* 1 L	136.09 g/L	KH_2PO_4
۵ میلی‌لیتر 5 ml	۱ لیتر* 1 L	101.1 g/L	KNO_3
۵ میلی‌لیتر 5 ml	۱ لیتر* 1 L	236.2 g/L	$Ca\ (No_3)_2.\ 4(H_2O)$
۲ میلی‌لیتر 2 ml	۱ لیتر* 1 L	246.5 g/L	$Mg\ So_4.\ 7(H_2O)$
۱ میلی‌لیتر 1 ml		*	$FePo_4$
۱ میلی‌لیتر 1 ml	۱ لیتر* 1 L	2.5 g/L	H_3Bo_4
		0.5 g/L	$ZnCl_2$
		0.05 g/L	$CuCl_2$
		0.05 g/L	MoO_2
		0.05 g/L	$MnCl_2$

* ابتدا ۱/۲۵ گرم از آهن EDTA را در ۲۰ میلی‌لیتر آب حل کرده، سپس به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. در مرحله بعد ۵ میلی‌لیتر از این محلول را برداشته شد و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده، و محلول استوک درست شد

*First, 1.25 grams of iron EDTA was dissolved in 20 ml of water, then it was brought to a volume of 25 ml. In the next step, 5 ml of this solution was removed and brought to a volume of 25 ml, and the stock solution was prepared

جدول ۲- روابط محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی مورد مطالعه در آزمایش.

Table 2. Calculation relationships of the germination indices studied in the experiment.

درصد سبز شدن (Emergence percentage)	$EP=\frac{n}{N}\times 100$
سرعت سبز شدن (Emergence rate)	$ER=\sum_{i=1}^{n} Si/Di$
میانگین مدت زمان سبز شدن (Mean Emergence Time)	$MET=\frac{\sum D.n}{\sum n}$
متوسط سبز شدن روزانه (Mean Daily Emergence)	$MDE=\frac{EP}{D}$
زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D50)	$D50=t_{i+}\left[\frac{\frac{N}{2}-ni}{nj-ni}\right]\times(tj-ti)$

S_i و n_i: تعداد بذرهای جوانه زده در هر شمارش، D_i: تعداد روز تا شمارش n ام، n: دفعات شمارش، D: تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش، n: تعداد بذرهای سبزشده در روز، N تعداد کل بذر، t_i و t_j: تعداد تجمعی بذر جوانه زده در زمان

S_i and n_i: the number of germinated seeds in each count, D_i: the number of days until the nth count, n: counting times, D: the number of days since the beginning of the experiment, n: the number of germinated seeds per day, N: the total number of seeds, t_i and t_j: cumulative number of germinated seeds in time

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.4 انجام گرفت. نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف ارزیابی شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد سبزشدن: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد سبزشدن بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف بذر قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۲) نشان داد که بیش‌ترین میانگین درصد سبزشدن در تیمار کاربرد توأم غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت. کاربرد توأم غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مقایسه با تیمار شاهد حدود ٤٨/٧ درصد، درصد سبزشدن را افزایش داد (شکل ۲). کاربرد اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت متابولیکی بذور تیمار شده باعث می‌شود که بذور پیش‌تیمار شده از لحاظ مراحل جوانه‌زنی نسبت به بذور پیش‌تیمار نشده پیشرفته‌تر باشند (٦). سولفید هیدروژن در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف مانند جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، حرکت روزنه، پژمردگی برگ، رسیدن میوه نقش دارد (٢٤ و ٢٠). کم‌ترین میانگین درصد سبزشدن در تیمار شاهد مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر تیمارها بود (شکل ۲).

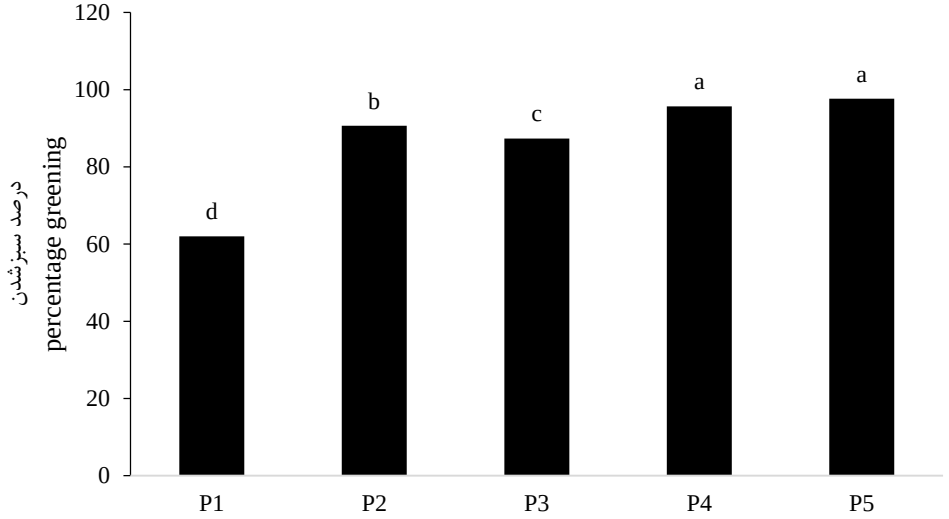
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمار آبی، اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید بر شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده.

Table 3. Variance analysis of the effect of water pretreatment, salicylic acid and sodium hydrogen sulfide on the measured indicators.

منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی df	درصد سبزشدن Greening percentage	سرعت سبزشدن greening rate	میانگین مدت سبزشدن Average duration of greening	متوسط سبزشدن روزانه Average daily greening	زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی time to 50% germination	طول ریشه root length	طول اندام هوایی shoot length	وزن خشک اندام هوایی dry weight of shoot	شاخص کلروفیل Chlorophyll index
پیش‌تیمار Pre-treatment	4	620.16**	0.77**	0.071**	3.16**	0.019**	5.68**	4.18**	0.47**	34.76**
خطا Error	10	2.86	0.60	0.0005	0.014	0.0003	0.16	0.34	0.002	0.16
ضریب تغییرات Coefficient of variation		1.95	1.59	0.94	1.95	1.17	6.84	7.13	3.28	1.10

^{ns}، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

^{ns}, * and ** respectively, no significant difference and significant difference at the probability level of 0.05 and 0.01

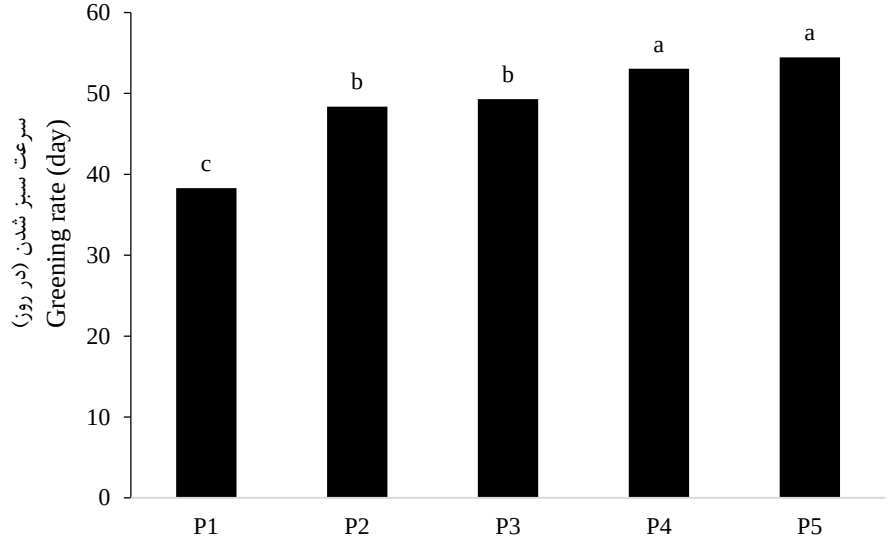


شکل ۲- اثر پیش‌تیمار بر درصد سبزشدن کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک + ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 2. The effect of pre-treatment on the percentage of quinoa germination.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

سرعت سبزشدن: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سرعت سبزشدن بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمار معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۳) نشان داد که بیش‌ترین میانگین سرعت سبزشدن بوته‌های کینوا در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که حدود ٤۰/۳ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود اما اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت. تیمارهای آلی همانند اسیدسالیسیلیک می‌توانند با افزایش و تنظیم فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و هیدرولیزکننده نشاسته در طی جوانه‌زنی موجب افزایش درصد و سرعت سبزشدن بذر در شرایط متغیر محیطی شود (۱۱). پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید باعث سرعت سبزشدن در خیار (١٦)، سویا (۱۷)، ذرت (۲۵) و گل گاوزبان (٢٦) شد. کم‌ترین میانگین سرعت سبزشدن در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳).

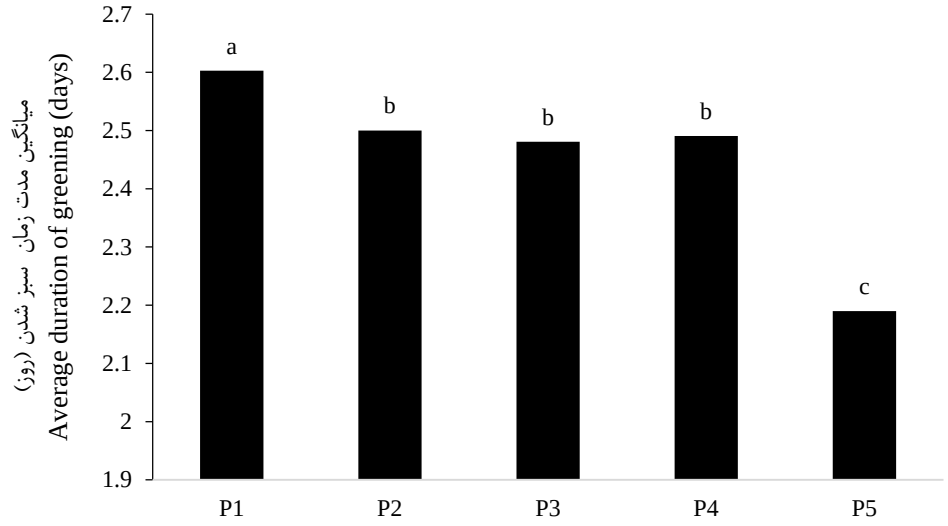


شکل ۳- اثر پیش‌تیمار بر سرعت سبزشدن کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 3. The effect of pre-treatment on the rate of quinoa germination.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

میانگین مدت سبزشدن: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر پیش‌تیمارهای مختلف بر میانگین مدت سبزشدن معنی‌دار شد (جدول ۳). پیش‌تیمار نمودن بذرها سبب شد تا میانگین مدت سبزشدن در حدود ۷/۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یابد (شکل ٤). در واقع میانگین مدت زمان سبزشدن رابطه عکس با سرعت سبزشدن و کیفیت توده بذری دارد، به‌طوری‌که هرچه سرعت سبزشدن افزایش یابد مدت زمان لازم برای سبزشدن بذر نیز کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه کیفیت نمونه بذری بالا خواهد بود. کاربرد اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش فعالیت متابولیکی بذور تیمار شده باعث می‌شود که بذور پیش‌تیمار شده از لحاظ مراحل جوانه‌زنی نسبت به بذور پیش‌تیمار نشده پیشرفته‌تر باشند (٦). پژوهشی که برای تعیین بهترین مدت زمان پیش‌تیمار و بررسی اثر آن بر روی صفات مختلف رشدی در هنگام سبزشدن بذر تربچه انجام گرفت نشان داد که مجموعه این فاکتورها موجب رشد سریع‌تر و استقرار بهتر گیاهچه‌های تربچه (*Raphanus sativus*) در شرایط تنش می‌شود (۳۳). این امکان وجود دارد که اسید سالیسیلیک از طریق سنتز اتیلن باعث افزایش درصد سبزشدن و در نتیجه کاهش میانگین مدت سبزشدن می‌شود (۳٤). کم‌ترین میانگین مدت سبزشدن در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد که حدود ۷۵/۷٦ درصد کم‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ٤). در حقیقت دلیل کاهش میانگین مدت سبزشدن با پیش‌تیمار نمودن بذرها این است که بذرهای کینوا قبل از قرارگرفتن در بستر خود مراحل اولیه جوانه‌زنی را سپری می‌کنند (۳۵ و ۱۰). بیش‌ترین میانگین مدت سبزشدن در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ٤).

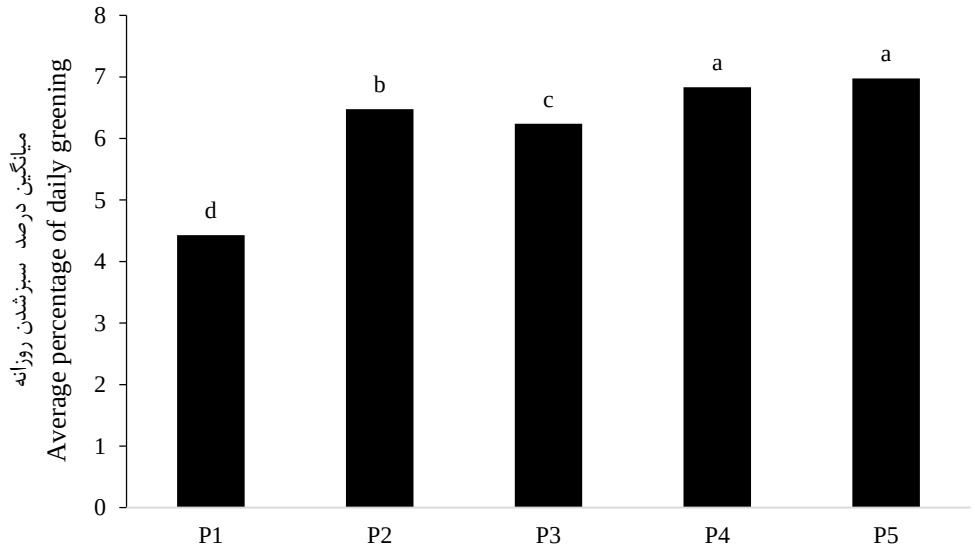


شکل ٤- اثر پیش‌تیمار بر میانگین مدت زمان سبزشدن کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 4. The effect of pre-treatment on the average duration of quinoa germination. (P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

متوسط سبزشدن روزانه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که متوسط سبزشدن روزانه بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۵) نشان داد که بیش‌ترین میانگین که متوسط سبزشدن روزانه در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت، به‌طوری‌که کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک متوسط سبزشدن روزانه را در حدود ۵۷/٦۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۵). کم‌ترین متوسط سبزشدن روزانه بوته‌های کینوا در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۵). پیش‌تیمار سبب تغییرات زیستی و فیزیولوژیکی زیادی در بذر و هم‌چنین گیاه حاصل از آن می‌گردد، به‌طوری‌که نتیجه این عمل در جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاه، زودرسی و افزایش کمی و کیفی محصول قابل‌مشاهده می‌باشد. مرحله جوانه‌زنی و سبزشدن بذر جهت تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح اهمیت زیادی دارد و تراکم کافی بوته در واحد سطح هنگامی حاصل می‌شود که بذرهای کشت شده به‌طور کامل و با سرعت کافی سبز شوند (۳٦). گزارش‌های رحمان و همکاران (۳۷) بیانگر آن است که خیساندن بذر کدو (*Cucurbita*) نیز باعث افزایش درصد سبزشدن بذر، کاهش متوسط مدت سبزشدن شد و هم‌چنین پیری بذر را کاهش داد. به نظر می‌رسد پیش‌تیمار نمودن بذرها با منجر به افزایش سرعت سبزشدن (شکل ۳) شده، که همین امر منجر به افزایش متوسط سبزشدن روزانه می‌شود.



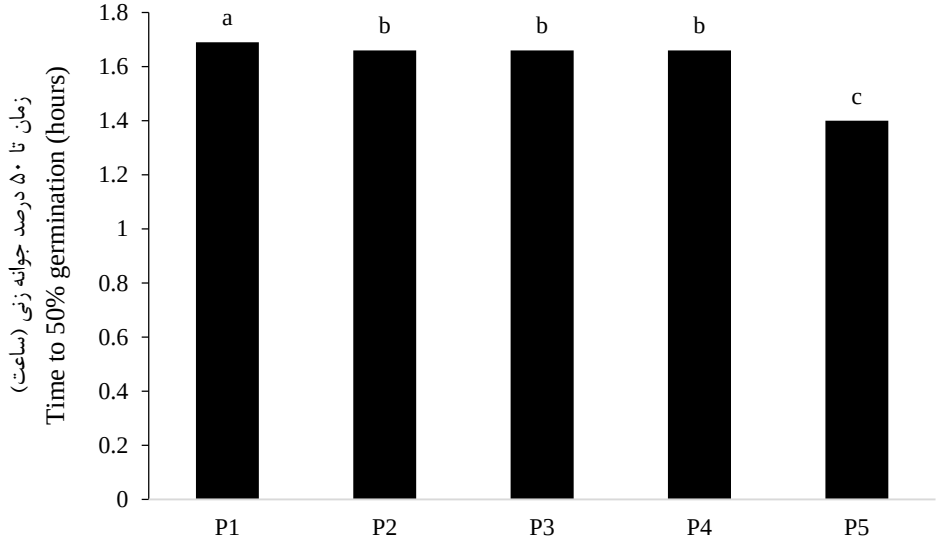
شکل ۵- اثر پیش‌تیمار بر میانگین درصد سبزشدن روزانه کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 5. The effect of pre-treatment on the average percentage of daily quinoa germination. (P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی تحت‌تأثیر پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ٦) نشان داد که کم‌ترین میانگین زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد، به‌طوری‌که کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید میانگین زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی را در حدود ۲۰/۷۱ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (شکل ٦). بیش‌ترین میانگین زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ٦).

پیش‌تیمار سبب تغییرات زیستی و فیزیولوژیکی زیادی در بذر و هم‌چنین گیاه حاصل از آن می‌گردد، به‌طوری‌که نتیجه این عمل در جوانه‌زنی، استقرار اولیه گیاه، زودرسی و افزایش کمی و کیفی محصول قابل‌مشاهده می‌باشد. مرحله جوانه‌زنی و سبزشدن بذر جهت تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح اهمیت زیادی دارد و تراکم کافی بوته در واحد سطح هنگامی حاصل می‌شود که بذرهای کشت شده به‌طور کامل و با سرعت کافی سبز شوند (۳٦). گزارش‌های رحمان و همکاران (۳۷) بیانگر آن است که خیساندن بذر کدو (*Cucurbita*) نیز باعث افزایش درصد سبزشدن بذر، کاهش میانگین زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی شد.



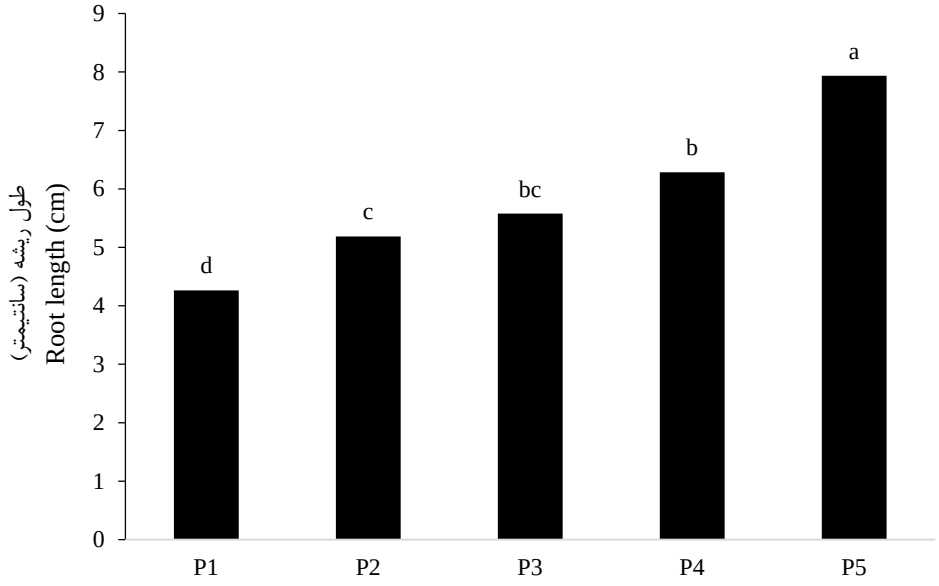
شکل ٦- اثر پیش‌تیمار بر میانگین زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 6. The effect of pretreatment on the average time to 50% germination of quinoa.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

طول ریشه: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول ریشه‌های بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۷) نشان داد که پیش‌تیمار موجب افزایش طول ریشه بوته‌های کینوا شد به‌طوری‌که بیش‌ترین طول ریشه در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر تیمارها بود. هم‌چنین این تیمار طول ریشه بوته‌های کینوا را حدود ۸۷/٤۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۷).

افزایش طول ریشه در اثر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید در خیار (١٦)، سویا (۱۷)، ذرت (۲۵) و گل گاوزبان (٢٦) گزارش شد. کم‌ترین طول ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۷). اسید سالیسلیک احتمالاً از طریق افزایش تقسیم سلولی در مریستم انتهایی باعث افزایش طول ریشه شد که با نتایج شرفی‌زاده (٣٤) در گیاه جو مطابقت دارد. سدیم هیدروژن سولفید با کاربرد خارجی باعث افزایش طول ریشه در گیاه ذرت (۲۵) برنج (۳۸) و کدو (۳۹) می‌شود.

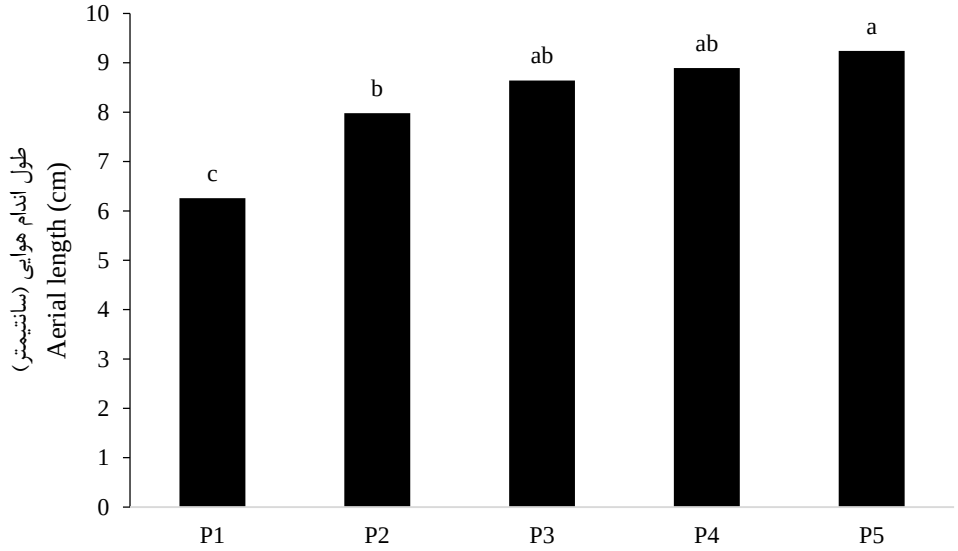


شکل ۷- اثر پیش‌تیمار بر طول ریشه بوته‌های کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 7. The effect of pre-treatment on the root length of quinoa plants.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

طول اندام هوایی: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول اندام هوایی بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۸) نشان داد که پیش‌تیمار موجب افزایش طول اندام هوایی بوته‌های کینوا شد به‌طوری‌که بیش‌ترین طول اندام هوایی در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید و ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک نداشت. کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک طول اندام هوایی یوته‌های کینوا را حدود ٤٢/٢٤ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل ۸). اسید سالیسیک از طریق افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد از جمله اکسین و سیتوکنین باعث افزایش طول اندام هوایی گیاهچه می‌شود (٤٠) که با نتایج کبیری و نقی‌زاده (٤١) در گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa*) مطابقت دارد. افزایش طول اندام هوایی در اثر پیش‌تیمار بذر با سدیم هیدروژن سولفید در خیار (١٦)، سویا (١٧)، ذرت (٢٥) و گل گاوزبان (٢٦) گزارش شد. کم‌ترین طول اندام هوایی در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۸).

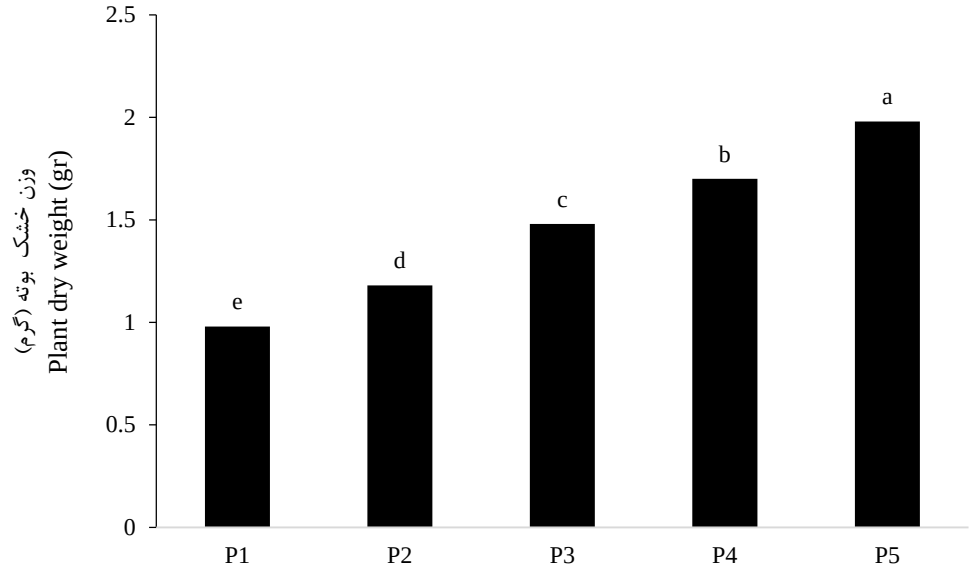


شکل ۸- اثر پیش‌تیمار بر طول اندام هوایی بوته‌های کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 8. The effect of pre-treatment on the length of aerial parts of quinoa plants. (P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

وزن خشک بوته: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک بوته‌های کینوا تحت‌تأثیر پیش‌تیمار قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌های وزن خشک بوته (شکل ۹) نشان داد که بیش‌ترین میانگین وزن خشک بوته در اثر کاربرد توام ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که حدود ۹۸/۰۲ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۹). برخی از گیاهان می‌توانند به سرعت تنظیم‌کننده‌های مختلف گیاهی را متابولیزه کرده و از آن‌ها برای رشد، نمو و سایر عملکردها استفاده کنند. این توانایی ممکن است توضیح دهد که چرا کاربرد SA و NaHS به‌صورت ترکیبی می‌تواند اثرات ماندگاری داشته باشد (۴۲). کم‌ترین میانگین وزن خشک بوته در تیمار شاهد مشاهده نشد (شکل ۹). سدیم هیدروژن سولفید به‌عنوان پیام‌رسان در رشد گیاه و پاسخ به تنش شرکت می‌کنند. تعامل مسیرهای سیگنالینگ سدیم هیدروژن سولفید یک شبکه نظارتی پیچیده را تشکیل می‌دهد که شامل فرآیندهای رشدی، مانند جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه، بسته شدن روزنه‌ها و افزایش طول ساقه و در نهایت وزن خشک بوته است (۴۳). نشان داده شده است که سدیم هیدروژن سولفید با کاربرد خارجی باعث افزایش وزن خشک گیاهچه در گیاه ذرت (۲۵) برنج (۳۸) و کدو (۳۹) می‌شود.

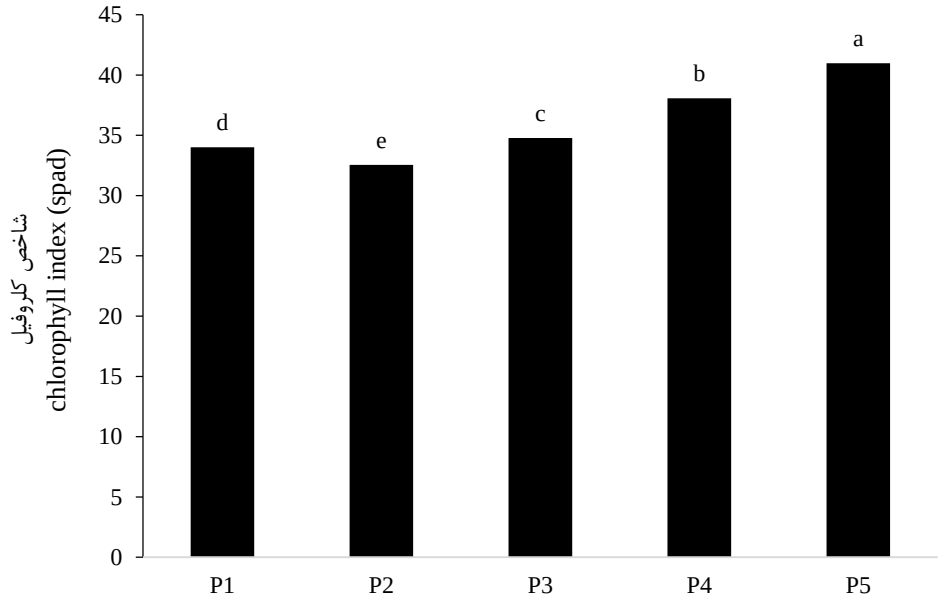


شکل ۹- اثر پیش‌تیمار بر وزن خشک گیاهچه‌های کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 9. Effect of pre-treatment on dry weight of quinoa seedlings.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

شاخص کلروفیل: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل تحت‌تأثیر پیش‌تیمار معنی‌دار شد (جدول ۳). پیش‌تیمار موجب افزایش شاخص کلروفیل شد به‌طوری‌که بیش‌ترین میانگین شاخص کلروفیل در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری حدود ۵۵/۳۹ درصد بیش‌تر از سایر تیمارها و ۲۰/۴۷ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۰). استفاده از کاربرد توأم SA و NaHS منجر به بهبود آماری قابل‌توجهی در شاخص کلروفیل در گیاه جو شد (٤٤). نتایج پژوهش حاصل با یافته‌های هوی‌هوی و همکاران (٤٥) در یونجه، پینسلی و باربوسا (٤٦) در نیشکر و غلامین و حیات‌نژاد (٤٧) در گندم مطابقت دارد. تأثیر SA بر شاخص کلروفیل در گیاهان ممکن است بر اساس عواملی مانند گونه گیاهی و غلظت‌های اعمال شده و روش کاربرد متفاوت باشد (٤٨). کم‌ترین میانگین شاخص کلروفیل در روش پیش‌تیمار آبی مشاهده شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- اثر پیش‌تیمار بر شاخص کلروفیل کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 10. Effect of pre-treatment on chlorophyll index of quinoa.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

فعالیت آنزیم کاتالاز: بر طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، فعالیت آنزیم کاتالاز تحت‌تأثیر پیش‌تیمار معنی‌دار شد (جدول ٤). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت و حدود ٦۲/۵ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۱).

افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار با اسید سالیسیلیک در ذرت گزارش شده است (۷). افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز با نتایج پای و شارما (٤۹) در برنج مطابقت داشت.

استفاده از SA، NaHS و SA+NaHS با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز باعث افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۵۰ و ۵۱). کم‌ترین میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۱۱).

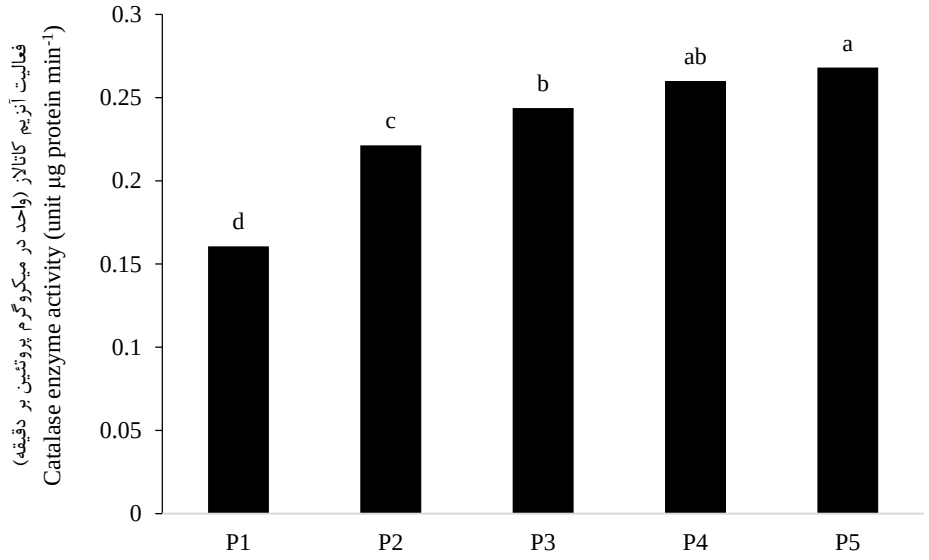
جدول ٤- تجزیه واریانس اثر پیش‌تیمار آبی، اسید سالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی.

Table 4. Variance analysis of the effect of aqueous pretreatment, salicylic acid and sodium hydrogen sulfide on the amount of antioxidant activity.

منابع تغییر Sources of change	درجه آزادی df	فعالیت آنزیم کاتالاز Catalase enzyme activity	فعالیت آنزیم پراکسیداز Peroxidase enzyme activity	فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز Polyphenol oxidase enzyme activity
پیش‌تیمار Pre-treatment	4	0.005**	0.001**	0.0008**
خطا Error	10	0.0001	0.00002	0.00007
ضریب تغییرات Coefficient of variation		4.92	6.09	9.20

ns، * و ** به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns, * and ** respectively, no significant difference and significant difference at the probability level of 0.05 and 0.01



شکل ۱۱- اثر پیش‌تیمار بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز کینوا.

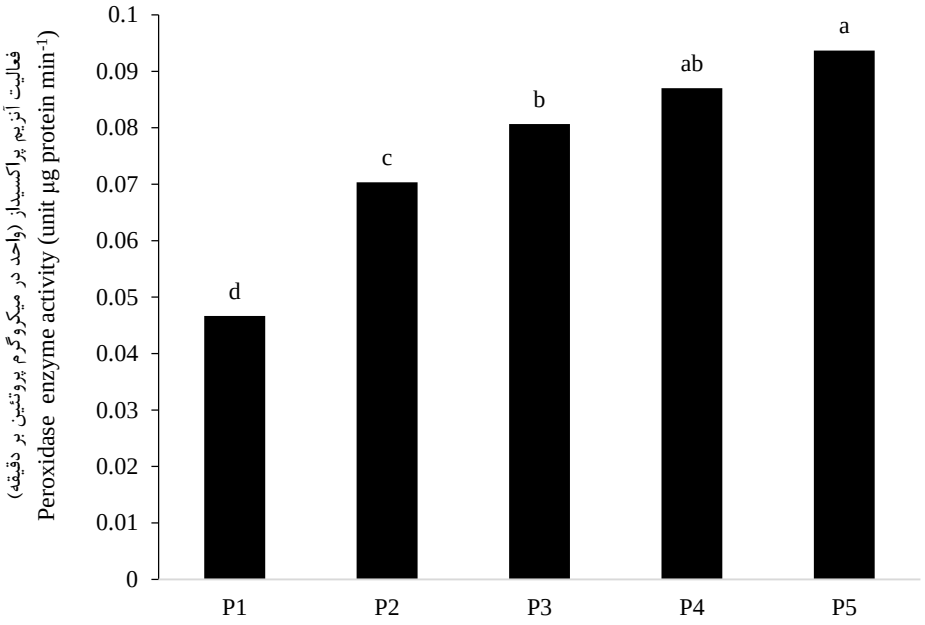
(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 11. The effect of pre-treatment on the activity of quinoa catalase enzyme.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

فعالیت آنزیم پراکسیداز: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ٤) نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت‌تأثیر پیش‌تیمار معنی‌دار شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت و حدود ۷۵/۱۷ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۲). افزایش سطح بیان آنزیم‌های

آنتی‌اکسیدان در تیمارهای بذری توسط اسید سالیسیلیک گزارش شده است (۵۲).

استفاده از SA، NaHS و SA+NaHS با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز باعث افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۵۰ و ۵۱). کم‌ترین میانگین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۱۲).

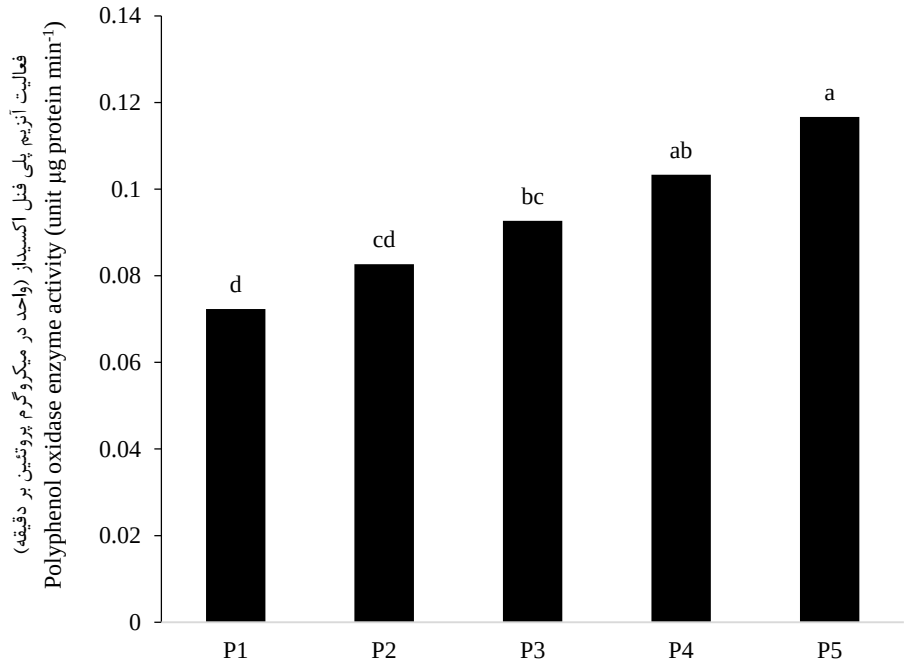


شکل ۱۲- اثر پیش‌تیمار بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 12. Effect of pre-treatment on quinoa peroxidase enzyme activity.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز: بر طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز تحت‌تأثیر پیش‌تیمار معنی‌دار شد (جدول ٤). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میانگین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در کاربرد توأم ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید + ۲/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید نداشت و حدود ٦٥/٧١ درصد بیش‌تر از تیمار شاهد بود (شکل ۱۳). تیمار اسید سالیسیلیک باعث افزایش فعال شدن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۵۳). استفاده از SA، NaHS و SA+NaHS با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز باعث افزایش دفاع آنتی‌اکسیدانی می‌شود (۵۰ و ۵۱). کم‌ترین میانگین فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- اثر پیش‌تیمار بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز کینوا.

(P1= شاهد، P2= پیش‌تیمار آبی، P3= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک، P4= ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید، P5= ۲/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک+ ۳۰۰ میلی‌مولار سدیم هیدروژن سولفید)

Fig. 13. Effect of pre-treatment on quinoa polyphenol oxidase enzyme activity.
(P1= control, P2= aqueous pretreatment, P3= 2.5 mM salicylic acid, P4= 300 mM sodium hydrogen sulfide, P5= 2.5 mM salicylic acid + 300 mM sodium hydrogen sulfide)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که کاربرد سدیم هیدروژن سولفید و اسیدسالیسیلیک به‌صورت جداگانه یا ترکیبی به‌طور قابل‌توجهی شاخص‌های سبزشدن، طول ریشه و اندام هوایی، شاخص کلروفیل و در نتیجه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را بهبود بخشید. می‌توان نتیجه گرفت که اثر پیش‌تیمار NaHS در افزایش شاخص‌های رشدی احتمالاً به توانایی آن در آزادسازی H_2S مربوط می‌شود. در نتیجه، این پژوهش SA و NaHS را، چه به‌صورت جداگانه یا ترکیبی، برای بهبود شاخص‌های سبزشدن، رشدی و بیوشیمیایی در گیاه کینوا، به‌عنوان یک رویکرد مناسب ارائه می‌دهد. در این پژوهش کاربرد توأم اسیدسالیسیلیک و سدیم هیدروژن سولفید باعث کاهش شاخص‌های رشدی و بیوشیمیایی می‌شود.

منابع

1. Mahdi, I., Fahsi, N., Hafidi, M., Benjelloun, S., Allaoui, A., & Biskri, L. (2021). Rhizospheric Phosphate Solubilizing *Bacillus atrophaeus* GQJK17 S8 Increases Quinoa Seedling, Withstands Heavy Metals, and Mitigates Salt Stress. *Sustainability*, 13(6), 3307. **https://doi.org/10.3390/su13063307.**
2. Angeli, V., Miguel Silva, P., Crispim Massuela, D., Khan, M. W., Hamar, A., Khajehei, F., Graeff-Hönninger, S., & Piatti, C. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): An Overview of the Potentials of the "Golden Grain" and Socio-Economic and Environmental Aspects of Its Cultivation and Marketization. *Foods*, 9, 216. **https://doi.org/10.3390/foods9020216.**
3. AbdEl-Moneim, D., Elsarag, E. I. S., Aloufi, S., El-Azraq, A. M., Alshamrani, S. M., Safhi, F. A. A., & Ibrahim, A. A. (2021). Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*.): Genetic Diversity According to ISSR and SCoT Markers, Relative Gene Expression, and Morpho-Physiological Variation under Salinity Stress. *Plant Journal*, 10, 2802. **https://doi.org/10. 3390/plants10122802.**
4. Hussain, M. I., Farooq, M., Syed, Q. A., Ishaq, A., Al-Ghamdi, A. A., & Hatamleh, A. A. (2021). Botany, Nutritional Value, Phytochemical Composition and Biological Activities of Quinoa. *The Plant Journal*, 2021, 10, 2258. **https://doi.org/10.3390/plants10112258.**
5. Saeidi, S., Siadat, S. A., Moshatati, A., Moradi-Telavat, S. N. (2021) Effect of sowing time and nitrogen fertilizer rates on growth, seed yield and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) in Ahvaz. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21, 354-367. **http:// agrobreedjournal.ir/ article-1-1080-en.html.** [In Persian]
6. Mahmoudi, F., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., Zare, N., & Esmaielpour, B. (2019b). The effect of hormone and hydro priming on seed germination, growth and biochemical properties of borage seedling (*Borago officinalis* L.). *Plant Process and Function*, 7 (27), 165-180.
7. Pruthvi Krishna, V., Vinai, K., & Dipti, B. (2023). Foliar application of Silicon and Salicylic acid improves growth, leaf pigments and yield of maize (*Zea mays* L.) under nutrient deficient sandy soil. *Available at Research Square,* **https:// doi.org/10.21203/rs.3.rs-3144795/v1.**
8. Rahmanpour, A., Vaziri, A., Salehi Shanjani, P., Rabie, M., & Asri, Y. (2021). Effect of osmo-priming on germination in seven species of Allium L. seeds in drought stress conditions. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(4), 855-868. **20. 1001. 1. 23832592. 1400. 34. 4. 11. 4.** [In Persian]
9. Heidari, M., Esmaeilzadeh Bahabadi, S., & sangtarash, M. (2021) Effect of Salicylic Acid on Physiological and Biochemical characteristics of Melissa officinalis L. under Cadmium Stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 34(3), 694-707. **doi 20.1001.1.23832592.1400.34.3.10.1.** [In Persian]
10. Mahmoudi, F., Shikhzadehmosadegh, P., Zare, N., & Esmailpour, B. (2023). Effect of Seed Pretreatment with Salicylic Acid on Seed Germination, Growth and Biochemical Indices of Quinoa Seedlings (*Chenopodium quinoa* willd.) under Cadmium Stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(1), 1-26. **doi: 10.22108/ijpb.2024. 138548.1330.**
11. Mahmoudi, F., Sheikhzadeh Mosaddegh, P., Zare, N., & Esmaielpour, B., (2019a). Improvement of seed germination, growth and biochemical characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) seedlings with seed priming under cadmium stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(1), 23-42. **https://doi: 10.22108/ijpb.2019.111889.1104.**

12.Tania, S. S., Rahaman, M. M., Rauf, F., Suborna, M. A., Humayun Kabir, M., Hoque, M. A., & Rhaman, M. S. (2021). Seed priming with Salicylic Acid (SA) and Hydrogen Peroxide (H_2O_2) Improve Germination and Seedling Growth of Wheat (*Triticum aestivum*) under Salt Stress. *Asian Journal of Crop Science*, 6(4), 60-69. **https://doi.org/10.3390/ seeds1020008.**

13.Hakimi, Y., Fatahi, R., Naghavi, M. R., & Zamani, Z. (2021). Effect of Salicylic Acid and Methyl Jasmonate on Stress Indices in Papaver bracteatum Lindl. *Biology and Life Sciences Forum*, 11(1), 53. **https://doi.org/10.3390/ IECPS2021-12039.**

14.Tarigholizadeh, S., Motafakkerazad, R., Kosarinasab, M., Movafeghi, A., Mohammadi, S., Sabzi, M., & Talebpour, A. (2021). Influence of plant growth regulators and salicylic acid on the production of some Secondary metabolites in callus and cell suspension culture of Satureja sahendica Bornm. *Acta Agriculturae Slovenica*, 117(4), 1-12. **DOI: 10.14720/aas.2021.117.4.773.**

15.El Taher, A. M., Abd, El-Raouf, H. S., Osman, N. A., Azoz, S. N., Omar, M. A., Elkelish, A., & Abd El-Hady, M. A. M. (2022). Effect of Salt Stress and Foliar Application of Salicylic Acid on Morphological, Biochemical, Anatomical and Productivity Characteristics of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) Plants. *The Plant Journal*, 11, 115. **https://doi.org/10. 3390/plants11010115.**

16.Luo, S., Tang, Z., Yu, J., Liao, W., Xie, J., Lv, J., & Feng, Z. (2020). Dawuda MM. Hydrogen sulfide negatively regulates cd-induced cell death in cucumber (*Cucumis sativus* L.) root tip cells. *BMC Plant Biology*, 20(1), 480. **doi:10.1186/s12870-020-02687-8. PMID: 33087071; PMCID: PMC7579943.**

17.Li, H., Chen, H., Chen, L., & Wang, C. (2022). The Role of Hydrogen Sulfide in Plant Roots during Development and in Response to Abiotic Stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 1024. **https://doi.org/10. 3390/ ijms23031024.**

18.Wang, C., Deng, Y., Liu, Z., & Liao, W. (2021). Hydrogen Sulfide in Plants: Crosstalk with Other Signal Molecules in Response to Abiotic Stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 12068. **https://doi.org/ 10.3390/ ijms222112068.**

19.Tabassum, R., Jeong, N., & Jung, J. (2020). Therapeutic importance of hydrogen sulfide in age-associated neurodegenerative diseases. *Neural Regeneration Researc*, 15, 653-662.

20.Iqbal, N., Fatma, M., Gautam, H., Umar, S., Sofo, A., D'Ippolito, I., & Khan, N.A. (2021). The crosstalk of melatonin and hydrogen sulfide determines photosynthetic performance by regulation of carbohydrate metabolism in wheat under heat stress. *Plants*, 10, 1778.

21.Singh, V. P., Tripathi, D. K., & Fotopoulos, V. (2020). Hydrogen sulfide and nitric oxide signal integration and plant development under stressed/ non-stressed conditions. *Physiologia Plantarum*, 168, 239-240.

22.Xuan, L., Li, J., Wang, X., & Wang, C. (2020). Crosstalk between hydrogen sulfide and other signal molecules regulates plant growth and development. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 4593.

23.Zhang, S., Ni, X., Arif, M., Zheng, J., Stubbs, A., & Li, C. (2020). NaCl improved Cd tolerance of the euhalophyte Suaeda glauca but not the recretohalophyte Limonium aureum. *Plant Soil*, 449, 303-318.

24.Huang, D., Huo, J., & Liao, W. (2021). Hydrogen sulfide: Roles in plant abiotic stress response and crosstalk with other signals. *Plant Science*, 302, 110733.

25.Zanganeh, R., Jamei, R., Hosseini Sarghein, S., & Kargar Khorrami, S. (2020). Effect of seed priming with sodium hydrosulfide (NaHS) on some physiological and anatomical parameters in maize plants under lead stress.

Journal of Plant Biological Sciences, 10(2), 19-34. **doi: 10.22108/ijpb.2018. 107473.1060.**

26. Rostami, F., Nasibi, F., & Manouchehri Kalantari, K. (2019). Alleviation of UV-B radiation damages by sodium hydrosulfide (H2S donor) pre-treatment in Borage seedlings. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 519-524. **DOI: 10. 1080/17429145.2019.1662100.**
27. Akin, S., & Kaya, C. (2024). Impact of salicylic acid and sodium hydrosulfide applied singly or in combination on drought tolerance and grain yield in wheat plants. *Food and Energy Security*, 13, e532. **https://doi.org/10.1002/fes3. 532.**
28. Sheikhzadeh, P., Zare, N., & Mahmoudi, F. (2021). The synergistic effects of hydro and hormone priming on seed germination, antioxidant activity and cadmium tolerance in borage. *Acta Botanica Croatica*, 80(1), 18-28.
29. Chang, C. J., & Kao, C. H. (1998). H_2O_2 metabolism during senescence of rice leaves: changes in enzyme activities in light and darkness. *Plant. Growth. Regul*. 25 (1), 11-15.
30. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126. **Doi: org/ 10.1016/ S0076-6879 (84) 05016-3.**
31. Chance, B., & Maely, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods Enzymol*. 2, 764-775. **Doi: 10.1002/9780470110171.ch14.**
32. Kar, M., & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57 (2), 315-319.
33. Farzaneh, M., Ghanbari, M., & Eftekharian Jahromi, A. R. (2013). Effect of Hydro-Priming on Seed Germination and Proline Content of Radish (*Raphanus Sativus* L.) under Salt Stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 8(1), 65-74. **https://doi: 10.22034/jchr.2019.665823.**
34. Sharafizadeh, M. (2017). Effect of salicylic acid and drought stress on germination and activity of antioxidant enzymes of barely. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2), 161-169. **doi: 10.22034/ijsst.2018. 116567.**
35. Ghaderi, M., & Aliloo, A. A. (2023). Improving activity of antioxidant enzymes and vigor in rapeseed by salicylic acid and gum arabic seed priming. *Plant Process and Function*, 12 (54), 123-138. **https://doi: 20.1001. 1.23222727.1402.12.54.8.8.**
36. Najafi, Gh., Khomari, S., & Javadi, A. (2015). Germination response of Canola seeds to seed vigor changes and hydro-priming. *Seed Science Research*, 45(4), 55-70. **https://doi: 20.1001.1. 22520961.1394.5.17.6.9.**
37. Rehman, S., Abbas, G., Shahid, M., Saqib, M., Farooq, A. B. U., Hussain, M., & Farooq, A. (2019). Effect of salinity on cadmium tolerance, ionic homeostasis and oxidative stress responses in conocarpus exposed to cadmium stresss. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 146-153. **https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018. 12.077.**
38. Rizwan, M., Mostofa, M. G., Ahmad, M. Z., Zhou, Y., Adeel, M., Mehmood, S., & Liu, Y. (2019). Hydrogen sulfide enhances rice tolerance to nickel through the prevention of chloroplast damage and the improvement of nitrogen metabolism under excessive nickel. *Plant Physiology and Biochemistry*, 138, 100-111.
39. Valivand, M., Amooaghaie, R., & Ahadi, A. (2019). Seed priming with H_2S and Ca^{2+} trigger signal memory that induces cross-adaptation against nickel stress in zucchini seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 143, 286-298.
40. Ahmadpoor Dehkordi, E., Danesh Shahraki, A., & Khosravi Lamjiri, P. (2018). Effect of seed priming with salicylic acid on seed germination and seedling growth of Hibiscus sabdariffa under drought stress. *Iranian Journal of*

Seed Sciences and Research, 5(4), 1-11. **doi: 10.22124/jms.2018.2941.**

41. Kabiri, R, & Naghizadeh, M. (2014). Investigating the effect of salicylic acid pretreatment on germination and early growth of Nigella sativa (*Nigella sativa*) under salt stress conditions. *Iranian Seed Science and Technology*, 4(1), 61-72. **SID. https://sid.ir/paper/ 513443/fa.**
42. Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). Fisiologia e desenvolvimento vegetal (Vol. 5, 6th ed.). Artmed. **https:// www.ofitexto.com.br/ fisiologia- e- desenvolvimentovegetal/ p?srsltid=AfmBOorMcaDu_ebIs453H d9og7OF69PEQsYR1A81w1so8fDG4 CB-nL8Y.**
43. Hu, D., Wei, L., & Liao, W. (2021). Brassinosteroids in Plants: Crosstalk with Small-Molecule Compounds. *Biomolecules*, 11, 1800. **https:// doi.org/ 10.3390/biom11121800.**
44. Abdelaal, K. A. A., Attia, K. A., Alamery, S. F., El-Afry, M. M., Ghazy, A. I., Tantawy, D. S., Al-Doss, A. A., El-Shawy, E. S. E., AbuElsaoud, A. M., & Hafez, Y. M. (2020). Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1736. **https:// doi. org/10.3390/su12051736.**
45. HuiHui, Z., Nan, X., Xin, S., Hai Xiu, Z., Ze Peng, Y., Xin, L., & Guang Yu, S. (2018). Photosystem II function response to drought stress in leaves of two alfalfa (Medicago sativa) varieties. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(5), 1012-1020.
46. Pincelli, R. P., & Barbosa, A. M. (2018). Water stress effects on chlorophyll fluorescence and chlorophyll content in sugarcane cultivars with contrasting tolerance. *Bioscience Journal*, 34(1), 75-87.
47. Gholamin, R., & Khayatnezhad, M. (2020). Study of bread wheat genotype physiological and biochemical responses to drought stress. Helix The Scientific Explorer| Peer *Reviewed Bimonthly International Journal*, 10(5), 87-92.
48. Moustakas, M., Ángeles, C., & Lucia, G. (2021). Chlorophyll fluorescence imaging analysis in biotic and abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 12, 658500.
49. Pai, R., Sharma, & P. K. (2023). Exogenous application of salicylic acid mitigates salt stress in rice seedlings by regulating plant water status and preventing oxidative damage. *Ecotoxicology environmental biology*, 20(4), 193-204. **https://doi.org/10.22364/eeb.20.18.**
50. Guru, A., Kumar, K., & Dwivedi, P. (2023). Hydrogen Sulfide Metabolism and Its Role in Regulating Salt and Drought Stress in Plants. In: Aftab, T., Corpas, F.J. (eds) Gasotransmitters Signaling in Plants under Challenging Environment. *Plant in Challenging Environments*, vol 5. Springer, Cham. **https://doi.org/10.1007/978-3-031-43029-9_12.**
51. La, V. H., Lee, B. R., Zhang, Q., Park, S. H., Islam, M. T., & Kim, T. H. (2019). Salicylic acid improves drought-stress tolerance by regulating the redox status and proline metabolism in Brassica rapa. Horticulture, *Environment, and Biotechnology*, 60, 31-40.
52. Tayyab, N., Naz, R., Yasmin, H., Nosheen, A., Keyani, R., Sajjad, M., Hassan, M. N., & Roberts, T. H. (2020). Combined seed and foliar pre-treatments with exogenous methyl jasmonate and salicylic acid mitigate drought induced stress in maize. *PLoS One*. 15, e0232269. **https:// doi.org/10.1371/journal.pone. 0232269.**
53. Brahimova, U., Kumari, P., Yadav, S., Rastogi, A., Antala, M., Suleymanova, Z., Zivcak, M., Tahjib-Ul-Arif, M., Hussain, S., & Abdelhamid, M. (2021). Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. *Journal of Biotechnology*. 329, 180-191. **https:// doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.02.007.**