

Biochemical traits and yield response of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars to salicylic acid foliar application under terminal heat stress

Sima Ghalambaz¹, Habibolah Roshanfekr^{2*}, Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi³,
Ali Monsefi⁴

¹PhD. Student of Crop Physiology of Department of production engineering and plant genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: sima_gh24@yahoo.com

^{2*} Corresponding author, Associate Professor of Department of production engineering and plant genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: h.roshanfekr@scu.ac.ir

³ Associate Professor of Department of production engineering and plant genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: a.rahnama@scu.ac.ir

⁴ Assistant Professor of Department of production engineering and plant genetic, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: a.monsefi@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-5-7
Accepted: 2025-11-4

Keywords:

Antioxidant enzymes
grain yield
Malondialdehyde
content
Protein percentage
Starch percentage

ABSTRACT

Background and objectives: Quinoa is a pseudocereal plant with high nutritional value. Quinoa seeds are a rich source of protein, iron, magnesium, phosphorus, fiber and vitamin B₂ and have a balanced content of essential amino acids for humans. Climate change, soil salinity and high tolerance of quinoa to abiotic stresses have made this plant a suitable option for sustainable agriculture. Therefore, knowing the appropriate sowing date of this plant is important in order to maximize plant growth and crop yield. On the other hand, salicylic acid (SA) is a plant growth regulator that is used to deal with various environmental stresses. Accordingly, this study aims to identify the most suitable planting date. Furthermore, it evaluates the optimal level of salicylic acid application and identifies the superior quinoa cultivar to achieve desirable performance in the event of delayed planting and exposure to end-of-season heat in Ahvaz. For this purpose, this experiment was designed to investigate the yield and some biochemical indices of quinoa under the influence of sowing date and foliar spraying with SA.

Materials and Methods: This experiment carried out in the crop year 2021-2022, in the form of split split plots based a randomised complete block design with three replications in the research farm of the Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz. In this experiment, three factors were investigated: a) sowing date including October 12, November 11, and December 11 as the main factor, b) foliar application of salicylic acid at three levels including no application, 1.5 mM and 3 mM as a sub-factor, and c) quinoa cultivars including Titicaca, Giza and Redcarin as a sub-sub-factor.

Results: The results of the variance analysis of traits showed a significant difference in the interaction effect of sowing date × salicylic acid foliar application × cultivar in all studied traits. The application of 3 mM salicylic acid on the sowing date of October 12 in the Redcarin cultivar resulted in the highest seed yield. The highest activity of

antioxidant enzymes, superoxide dismutase, peroxidase and catalase, was obtained in the treatment of 3 mM salicylic acid on the sowing date of December 11. The lowest malondialdehyde content also belonged to the treatment of 3 mM salicylic acid on the sowing date of October 12 in the Redcarin cultivar. The treatment of 3 mM salicylic acid on the sowing date of October 12 in the Giza cultivar showed the highest starch content.

Conclusion: According to the results of this study, the application of 3 mM salicylic acid on the planting date of October 12 in the Redcarin cultivar resulted in the highest seed yield, therefore, the cultivation of this plant (Redcarin cultivar) on the planting date of October 12 was evaluated as the superior treatment due to the provision of better growth and development conditions and the application of 3 mM salicylic acid with the aim of improving photosynthetic characteristics, in order to achieve the practical goals of cultivating this plant. Of course, it should be noted that considering the complete confrontation of plant cultivation with environmental and climatic conditions and the lack of sufficient time to prepare the land after the previous crop in some agricultural lands, the choice of a second planting date (November 11) may also be unavoidable.

Cite this article: Ghalambaz, S., Roshanfekr, H., Rahnama Ghahfarokhi, A., Monsefi A. 2025. Biochemical traits and yield response of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars to salicylic acid foliar application under terminal heat stress. *Crop Production Journal*, 18 (3), 17-60.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2025.23607.2683](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23607.2683)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



واکنش صفات بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa*) به محلول پاشی

اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش گرمای آخر فصل

سیما قلمباز^۱، حبیب‌اله روشنفکر^{۲*}، افراسیاب راهنما^۳، علی منصفی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

رایانامه: sima_gh24@yahoo.com

* ^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: h.roshanfekr@scu.ac.ir

^۳ دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.rahnama@scu.ac.ir

^۴ استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: a.monsefi@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: کینوا، گیاهی شبه غله با ارزش غذایی بالا است. دانه‌های کینوا منبعی غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فسفر، فیبر و ویتامین B₂ هستند و دارای محتوای متعادلی از اسیدهای آمینه ضروری برای انسان است. تغییرات اقلیمی، شوری خاک و تحمل بالای کینوا در برابر تنش‌های غیرزیستی، این گیاه را به گزینه مناسبی برای کشاورزی پایدار مبدل ساخته است. لذا شناخت تاریخ کاشت مناسب این گیاه با هدف به حداکثر رساندن رشد گیاه و عملکرد محصول حائز اهمیت است. از سوی دیگر اسیدسالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی بوده که برای مقابله با انواع تنش‌های محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا هدف از این مطالعه تعیین بهترین تاریخ کاشت، ارزیابی مطلوب ترین سطح کاربرد سالیسیلیک اسید و معرفی رقم برتر کینوا جهت رسیدن به عملکرد مطلوب در صورت تأخیر در تاریخ کاشت مناسب و مواجه شدن با گرمای آخر فصل اهواز بود. به این منظور آزمایشی با هدف بررسی عملکرد و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه کینوا تحت تأثیر تاریخ کاشت و محلول پاشی با اسیدسالیسیلیک طراحی و اجرا گردید.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۱۴	
واژه‌های کلیدی: آنتی اکسیدان آنزیمی در صد پروتئین در صد نشاسته عملکرد دانه محتوای مالون دی آلدئید	مواد و روش‌ها: آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. در این آزمایش عامل تاریخ کاشت شامل ۲۰ مهر، ۲۰ آبان و ۲۰ آذر به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در سه سطح شامل عدم کاربرد، ۱/۵ و ۳ میلی مولار به عنوان عامل فرعی و ارقام کینوا شامل تی تی کاکا، گیزا و ردکارین به عنوان عامل فرعی فرعی مورد بررسی قرار گرفتند.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد برهم کنش تاریخ کاشت × محلول پاشی اسیدسالیسیلیک × رقم در تمامی صفات مورد بررسی معنی دار بود. کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه

در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد دانه (۷۸۳ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی تی کاکا سبب مشاهده کمترین میزان عملکرد دانه (۵۶ کیلوگرم در هکتار) شد. در تاریخ کشت دوم (۲۰ آبان ماه) و سوم (۲۰ آذرماه) نیز کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک بر رقم ردکارین بیشترین عملکرد دانه را نشان داد. کاربرد ۱/۵ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم ردکارین نیز سبب دستیابی به بیشترین عملکرد زیست توده به میزان ۲۵۳۸ کیلوگرم در هکتار شد. نتایج همبستگی صفات نشان داد که افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ($0/68^{**}$) و کاهش محتوای مالوندی آلدئید ($0/63^{**}$) سبب افزایش عملکرد زیست توده شد. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز در تیمار کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر مشاهده شد. کمترین محتوای مالوندی آلدئید نیز به تیمار کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم ردکارین تعلق داشت. تیمار کاربرد ۳ میلی مولار سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم گیزا بیشترین محتوای نشاسته را نشان داد. کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد پروتئین شد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد دانه شد، لذا کشت رقم ردکارین در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه به دلیل فراهم سازی بهتر شرایط رشد و نمو و کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک با هدف بهبود ویژگی های فتوسنتزی، به منظور برآورد اهداف کاربردی کشت این گیاه تیمار برتر ارزیابی گردید. اگرچه باتوجه به رویارویی کامل کشت گیاه با شرایط محیطی و آب و هوایی و عدم فرصت کافی برای تهیه زمین پس از محصول قبلی در برخی اراضی زراعی ممکن است انتخاب تاریخ کاشت دوم و یا حتی سوم را نیز اجتناب ناپذیر سازد. در تاریخ کشت دوم (۲۰ آبان ماه) و سوم (۲۰ آذرماه) نیز کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک بر رقم ردکارین بیشترین عملکرد دانه را نشان داد.

استناد: قلمباز، سیما؛ روشنفکر، حبیب اله؛ راهنما، افراسیاب؛ منصفی، علی. (۱۴۰۴). واکنش صفات بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa*) به محلول پاشی اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش گرمای آخر فصل. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۸ (۳)، ۶۰-۴۱.



[10.22069/ejcp.2025.23607.2683](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23607.2683)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) گیاهی متعلق به خانواده آمارانتاسه، شبه غله، علفی، یک ساله، با ارزش غذایی و قابلیت هضم بالا است (۱). ارزش غذایی کینوا به ترکیبات اسید آمینه‌ای، محتوای کلسیم، فسفر، آهن بالا و سدیم کم آن بستگی دارد (۲، ۳). دانه‌های کینوا منبعی غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فسفر، فیبر و ویتامین B₂ هستند و کمیت و کیفیت پروتئین دانه این گیاه بیشتر از گیاهان غلات بوده و در مقایسه با گندم، دارای محتوای متعادلی از اسیدهای آمینه ضروری برای انسان است (۴). در سال‌های اخیر، کینوا به دلیل ویژگی‌های خاص و توانایی رشد خوب آن در شرایط نامساعد آب و هوایی به عنوان یک محصول بالقوه برای افزایش امنیت غذایی در سراسر جهان تبدیل شده است (۵). تغییرات آب و هوایی (گرم شدن زمین و خشک شدن خاک‌ها)، شوری خاک و تحمل بالای کینوا در برابر تنش‌های غیرزیستی نشان دهنده اهمیت بالقوه کینوا برای کشاورزی پایدار است (۶).

تغییرات اقلیمی آینده، رویدادهای آب و هوایی و در نتیجه کمیت و کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار خواهد داد (۷). تاریخ کاشت یکی از عوامل مهم برای بهینه‌سازی مراحل فنولوژیک گیاه به منظور به حداکثر رساندن رشد و عملکرد محصول بوده و اولین عاملی است که هنگام رشد گیاه در یک منطقه جدید در نظر گرفته می‌شود و بر اساس رقم و آب و هوای منطقه تعیین می‌شود (۸). نتایج تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که کاشت زودهنگام منجر به از دست دادن آب از طریق تبخیر و عرق می‌شود و کاشت دیرهنگام ممکن است باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (۹). گفته شده است که با توجه به تأثیر مثبت دمای بهینه بر تولید مواد فتوسنتزی بیشتر برای ذخیره در دانه، انتخاب تاریخ کاشت بهینه منجر به عملکرد دانه بالاتر

و تاریخ کاشت نامناسب سبب بروز تنش دمایی در گیاه می‌شود (۱۰). در بررسی تاریخ‌های کاشت مختلف کشت کینوا در شرایط کرمانشاه، کاشت تأخیری کاهش حدود ۷۰ درصدی عملکرد را نشان داد و تعداد پانیکول در بوته و تعداد دانه در پانیکول بیشترین اثر مستقیم و تعداد شاخه جانبی بیشترین اثر غیرمستقیم را بر عملکرد دانه کینوا داشتند (۱۱). در شرایط استان گلستان تاریخ کاشت ۱۵ بهمن نسبت به سایر تاریخ‌های مورد بررسی، بهترین تاریخ کاشت کینوا در شرایط خاک شور و کشت دیم بوده در نظر گرفته شد و تأخیر در کشت، کاهش قابل ملاحظه‌ای در عملکرد و سایر صفات را موجب شد (۱۲).

با توجه به نتایج تحقیقات پیشین، کاربرد تنظیم-کننده‌های رشد گیاهی در شرایط بروز تنش‌های محیطی، کاهش اثرات منفی تنش را در پی دارد. اسیدسالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد گیاهی بوده که برای مقابله با انواع تنش‌های محیطی (۱۳) و نیز بهبود و تقویت فرآیندهای مختلف گیاهی از جمله فتوسنتز، تعرق و جذب مواد غذایی (۱۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسیدسالیسیلیک، جوانه‌زنی بذر، استقرار، رشد سلول، تنفس، بسته شدن روزنه‌ها، بیان ژن‌های مرتبط با پیری و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۵). همچنین با اثر بر سنتز هورمون‌هایی مانند آبسزیک اسید، جیبرلین، متیل جاسمونات و اتیلن و با القای پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش جذب مواد غذایی بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک و رشد گیاهان را بهبود می‌دهد، بنابراین موجب سازگاری گیاهان به تنش‌های محیطی می‌شود (۱۶). حیدری و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاربرد اسیدسالیسیلیک موجب افزایش هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین، فلاونوئیدها، کربوهیدرات‌های محلول، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز،

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. سه تاریخ کاشت (به ترتیب ۲۰ مهر، ۲۰ آبان و ۲۰ آذر) به عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی، محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک (عدم کاربرد و کاربرد ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار) به عنوان عامل فرعی در کرت‌های فرعی و ارقام کینوا (تی‌تی‌کاکا، گیزا و ردکارین) به عنوان عامل فرعی فرعی در کرت‌های فرعی فرعی قرار گرفت. رقم تی‌تی‌کاکا زودرس با طول دوره رشد ۸۵-۹۰ روز، رقم گیزا زودرس با طول دوره رشد ۹۵-۹۰ روز و رقم ردکارین دیررس با طول دوره رشد ۱۳۵-۱۲۵ روز بود (۲۱). براساس اطلاعات هواشناسی منطقه مورد کشت، در تاریخ کاشت دیر هنگام مراحل زایشی گیاه با هوای گرم آخر فصل روبرو شد (جدول ۱).

پیش از کاشت به منظور کنترل علف‌های هرز و تسهیل عملیات شخم، ماخار صورت گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین نیز شامل شخم، دیسک، جوی و پشته و احداث کانال آبیاری بود. هر واحد آزمایشی شامل دو پشته با عرض ۶۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر و هر پشته شامل دو خط کاشت بود. به منظور جلوگیری از اختلاط بین تیمارها، بین هر تیمار فرعی و فرعی فرعی یک پشته فاصله گذاشته شد. با در نظر گرفتن تراکم ۲۲ بوته در مترمربع، تعداد شش عدد بذر در هر حفره روی خط داغاب و در دو طرف پشته به صورت زیگزاک کشت شد. کودهای شیمیایی مورد نیاز گیاه براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) و توصیه کودی منطقه برای گیاه کینوا شامل اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره دارای ۹۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر

پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز شد (۱۷). گزارش شده است که کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش با افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز آسیب ناشی از گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر را کاهش می‌دهد (۱۸). مشخص شده است که اسیدسالیسیلیک سبب افزایش محتوای کلروفیل برگ و در نهایت افزایش سرعت فتوسنتز و عملکرد گیاه شد (۱۹). با بررسی تأثیر کاربرد اسیدسالیسیلیک بر دو ژنوتیپ کینوا در شرایط تنش خشکی گزارش شد که با افزایش تنش خشکی ویژگی‌های جوانه‌زنی کینوا کاهش یافت و کاربرد اسیدسالیسیلیک باعث بهبود این صفات شد. همچنین مصرف ۱ و ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید و افزایش تحمل این گیاه در برابر تنش خشکی شد (۲۰). محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر بوته‌های کینوا در تاریخ‌های کاشت مختلف و تنش خشکی نشان داد که تأخیر در کاشت و تنش خشکی باعث کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه شد و استفاده از اسیدسالیسیلیک توانست در کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر رشد و نمو این گیاه مؤثر باشد (۱۴).

با توجه به نتایج تحقیقات گذشته و مشاهده اثرات منفی تسریع و یا تأخیر در تاریخ کاشت و نیز تأیید اثرات مثبت و بهبوددهنده اسیدسالیسیلیک در شرایط بروز تنش دمایی بر رشد و تولید گیاهان و مسأله تغییرات اقلیمی (از جمله گرمایش جهانی و کاهش منابع آبی به دلیل کاهش بارندگی) و توانایی گیاه کینوا در مقابله با شرایط تنش و ویژگی‌های تغذیه‌ای ویژه آن، آزمایش حاضر با هدف بررسی برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی گیاه کینوا در شرایط اعمال تاریخ‌های کاشت مختلف و کاربرد اسیدسالیسیلیک اجرا شد.

فسفات تریپل دارای ۴۶ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر) و سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، با احتساب ۵۰ درصد ماده موثره، ۷۵ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم) مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی ماهانه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

Table 1. Mean monthly temperature and precipitation in 2021-22

ماه Month	October آبان	November آبان	December آبان	January دی	February بهمن	March اسفند	April فروردین	May اردیبهشت	June خرداد
میانگین دمای حداقل Minimum temperature (°C)	21.9	15.8	12.2	8.3	7.5	13.1	17.1	22.9	26.8
میانگین دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	40	31.4	25	18.9	21	25.4	33.9	37.5	45.9
بارندگی Precipitation (mm)	0	4.6	35.3	36.7	12.6	3.7	0	4.3	0

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2. Some physical and chemical properties of the studied soil

Depth عمق	Texture بافت	EC هدایت الکتریکی	pH واکنش خاک	N نیتروژن	P فسفر	K پتاسیم
cm	-	dS m ⁻¹	-	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
0-30	Sandy loam	4.3	7.8	0.039	13	159

محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک با غلظت‌های صفر (محلول‌پاشی با آب مقطر)، ۱/۵ میلی مولار، ۳ میلی مولار در مراحل غنچه‌دهی و شروع گلدهی (به ترتیب مرحله ۵۱ و ۶۰ بر اساس مقیاس BBCH) توسط افشانه دستی انجام شد. تعیین زمان محلول‌پاشی بر اساس نتایج سایر محققین، زمان وقوع ۵۰ درصد گلدهی (حدود ۳۰ روز پس از کاشت) یا زمانی که ارتفاع گیاه ۲۵ سانتی‌متر و گل‌آذین در انتهای ساقه قابل مشاهده بود، در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی اثر تیمارهای مورد بررسی بر صفات عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه، از هر کرت آزمایشی، دو خط کاشت وسط هر کرت در نظر گرفته شد و نیم‌متر از ابتدا و انتهای کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای حذف شد. سپس گیاهان سطح باقی‌مانده برداشت شده و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه تعیین گردید.

عمل تنک کردن، زمانی که ارتفاع گیاه به پنج سانتی‌متر (BBCH14) انجام شد و یک گیاهچه در هر حفره کشت باقی ماند. آبیاری گیاه در طول دوره رشد بر اساس نیاز گیاه، شرایط محیطی و توصیه‌های علمی مراکز تحقیقاتی برای گیاه کینوا (۲۲) به تعداد پنج بار انجام شد. به دلیل حساسیت بذر کینوا در مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن به رطوبت خاک، آبیاری اول بلافاصله پس از هر کشت در هر تاریخ کاشت و آبیاری دوم سه تا پنج روز پس از آن صورت گرفت. حجم آب مصرفی از طریق محاسبه مقدار آب مصرفی (مجموع بارش در طی فصل رشد گیاه و حجم آب وارد شده به صورت آبیاری به کمک پارشال فلوم) در نظر گرفته شد. وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، غلظت مالون‌دی-آلدئید و محتوای نشاسته نمونه‌برداری در مرحله خمیری دانه (مرحله ۸۵ برا ساس مقیاس BBCH-۴۰ تا ۵۰ روز پس از محلول‌پاشی) بر روی آخرین برگ‌های توسعه یافته انجام شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش ککمک و مارشنر (۱۹۹۲)، فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش دیزی و همکاران (۲۰۰۸)، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش بیکمپ و فردریچ (۱۹۷۱) و غلظت غلظت مالون‌دی‌آلدئید نیز به روش استوارت و بیولی (۱۹۸۰) سنجش شد (۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶). به منظور اندازه‌گیری محتوای نشاسته بر اساس روش اشلیگل (۱۹۸۶) و با استفاده از ترکیبات اسیدپرکلریک، فنل و اسیدسولفوریک عمل شد. محتوای نشاسته با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ قرائت شد. نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و در نهایت به درصد برآورد گردید (۲۷). اندازه‌گیری درصد نیتروژن به روش ماهری و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد (۲۸). به منظور برآورد درصد پروتئین، درصد نیتروژن در عدد ۵/۲۸ ضرب شد و در نهایت عملکرد پروتئین محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار SAS (9.4) صورت گرفت. برای مقایسات میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش این سه عامل بر عملکرد دانه در سطح یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین سبب دستیابی به

بیشترین عملکرد دانه (۷۸۳ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی‌تی‌کاکا سبب مشاهده کمترین میزان عملکرد دانه (۵۶ کیلوگرم در هکتار) شد (جدول ۴).

انتخاب تاریخ کاشت مناسب به دلیل اثرگذاری بر دو عامل دما و بارندگی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد و هرگونه تسریع و یا تأخیر در کاشت گیاه سبب بروز تنش دمایی شده و با کاهش دوره رشدی، موجب اختلال در تکمیل مراحل نمو گیاه و کاهش فتوسنتز می‌شود (۲۹). این نتایج با نتایج آزمایش حاضر که وقوع دماهای پایین‌تر و بارندگی بیشتر در طول دوره رویشی و دماهای بالاتر در انتهای دوره رویشی و در طول دوره زایشی در آذرماه مشاهده و سبب اختلال در رشد و فتوسنتز شد، مطابقت داشت. در شرایط تنش دمایی (تاریخ کاشت آذرماه در آزمایش حاضر)، کلروپلاست تخریب شده و تعداد و اندازه کلروپلاست‌ها دچار تغییر می‌شود و غلظت کلروفیل کاهش می‌یابد. درحالی‌که کاربرد اسیدسالیسیلیک به عنوان یک تنظیم‌کننده رشدی از طریق فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و تحریک سنتز کلروفیل و کاروتنوئید سبب بهبود فتوسنتز و در نتیجه عملکرد می‌شود (۳۰، ۳۱). نتایج این پژوهش نشان داد که تأخیر در کاشت (۲۰ آذر) با کاهش طول دوره رشد رویشی و تسریع نمو حاصل از افزایش دمای محیط در زمان رشد زایشی گیاه سبب کاهش تجمع ماده خشک در اندام‌های زایشی و عملکرد دانه شد. درحالی‌که به نظر می‌رسد شرایط بهتر دمایی و بارش‌های بیشتر (و در زمان نیاز گیاه) در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و آبان سبب افزایش رشد و توسعه گیاه، تولید و تجمع ماده خشک و در نتیجه افزایش عملکرد گردیده است. مقدار و توزیع بارندگی نیز در طول مراحل رشد رویشی و زایشی گیاهان کشت شده در تاریخ‌های مختلف یکنواخت نبود. در تاریخ کاشت مهرماه، بارش به طور

یکنواخت در فاز رویشی و زایشی توزیع شد، در حالی که در تاریخ کاشت آذرماه، بارش عمدتاً در فاز رویشی متمرکز بود (جدول ۱). دمای محیط نیز در تاریخ کاشت‌های مختلف، متفاوت بود و در تاریخ کاشت تأخیری (آذر) در انتهای دوره رویشی و طی دوره زایشی دما بالاتر بود (جدول ۱). بررسی داده‌های بارندگی و دما نشان داد که در تاریخ کاشت مهرماه در مقایسه با تاریخ کاشت آذرماه، دسترسی به آب در طول دوره رویشی و زایشی بیشتر و دمای محیط بهینه‌تر بود. سپهوند و شیخ (۲۰۱۱) بیان کردند که گیاه کینوا در اوایل رشد به دمای حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد در طول روز و ۱۲ ساعت روشنایی نیاز دارد، ولی برای مراحل زایشی و رسیدگی به طول روز کوتاه حدود ۸ ساعت و دماهای پایین نیاز دارد (۳۲). حسینی و همکاران (۲۰۲۴) نیز بیان کردند که تاریخ-های کاشت مختلف می‌توانند از طریق تأثیر بر درجه حرارت و طول روز بر ویژگی‌های فنولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن تأثیر معنی‌دار بگذارند (۱۸). با کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت‌های مختلف نیز افزایش در عملکرد دانه مشاهده شد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که افزایش کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر توانست تأثیر افزایش‌دهنده‌ای بر عملکرد دانه داشته باشد (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین مربعات ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک

Table 3. Mean square for biochemical and yield characteristics of quinoa cultivars under different sowing dates and foliar application salycilic acid

منابع تغییرات Source of variation	Df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد پانیکول در بوته Number of panicle in plant	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Superoxid dismutase activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	فعالیت کاتالاز Catalase activity
Block بلوک	2	232ns	1306ns	4.19ns	16.97ns	16.97 ns	0.0003ns	0.00002 ns
Sowing date (A) تاریخ کاشت	2	1529224**	437455**	4304.80**	2297.26**	2297.26 **	0.1070**	0.00021*
Error (a) خطای (a)	4	3279	4037	0.2	38.46	38.46	0.0009	0.00002
Salicylic acid (B) اسیدسالیسیلیک	2	566662**	24368**	5.612ns	173.69**	173.69 **	0.094**	0.00012*
B × A	4	924168**	30059**	0.006ns	0.015ns	0.015 ns	0.065**	0.00090**
Error (b) خطای (b)	12	45	1444	2.6	2.29ns	2.2900	0.0006	0.00001
Cultivar (C) رقم	2	5819931**	620934**	1177.41**	683.21**	683.21**	0.267 **	0.0038**
C × A	4	1658397*	6136**	183.75**	980.54**	980.54**	0.112 **	0.0002**
C × B	4	1130383**	9730**	158.54**	1722.64**	1722.64**	0.134 **	0.00008ns
C × B × A	8	754738**	9603**	60.14**	76.18*	76.18*	0.037**	0.0005**
Error (c) خطای (c)	36	4224	2260	4.8	34.79	34.7896	0.0012	0.00005
C.V (%)	-	4.8	14.4	8.0	8.6	8.6	14.0	17.2

* و ** به ترتیب دارای تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns is non-significant.

ادامه جدول ۳- میانگین مربعات ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک

Table 3. Mean square for biochemical and yield characteristics of quinoa cultivars under different sowing dates and foliar application salicylic acid

منابع تغییرات Source of variation	Df	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde content	محتوای نشاسته Starch content	درصد نیتروژن Nitrogen percentage	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
Block بلوک	2	0.006 ns	4.07ns	0.010ns	0.27ns	1306ns
Sowing date (A) تاریخ کاشت	2	0.029**	106.43**	0.137**	3.74**	437455**
Error (a) خطای (a)	4	0.001	23.14	0.004	0.12	4037
Salicylic acid (B) اسیدسالیسیلیک	2	0.019*	2.85 ns	0.006ns	0.17ns	24368**
B × A	4	0.003 ns	41.95**	0.003ns	0.07ns	30059**
Error (b) خطای (b)	12	0.005	4.85	0.001	0.03	1444
Cultivar (C) رقم	2	0.223**	2998.57**	0.001ns	0.04ns	620934**
C × A	4	0.229**	133.80**	0.0010ns	0.03ns	6136*
C × B	4	0.090 **	73.01**	0.009ns	0.26ns	9730**
C × B × A	8	0.107**	63.05**	0.0014**	0.113**	9603**
Error (c) خطای (c)	36	0.004	10.05	0.004	0.12	2260
C.V (%)	-	11.2	8.9	2.8	2.8	14.4

* و ** به ترتیب دارای تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns is non-significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک

Table 4. Mean comparison for some biochemical and yield characteristics of quinoa cultivars under different sowing dates and foliar application of salicylic acid

تاریخ کاشت Sowing date	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	رقم Cultivar	عملکرد دانه Seed yield (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده Biological yield (Kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	تعداد پانیکول در بوته Number of panicle in plant	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase activity (U mg ⁻¹ Protein)	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity (U mg ⁻¹ Protein)	فعالیت کاتالاز Catalase activity (U mg ⁻¹ Protein)
۲۰ مهر October 12	عدم کاربرد No application	Titicaca	i-348 g	1068 j-l	32.62 cd	16.6 a	53ij	0.04 kl	0.013 hi
	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Redcarin	496 cd	826 op	51.09 a	14.7 a-d	74b-e	0.027 l	0.01 i
		Giza	m-265 j	923 no	28.69 de	15.5a-c	77b-d	0.05 i-l	0.017 g-i
		Titicaca	j-342 g	1122 h-k	30.44 d	9.8f	71d-f	0.077 f-l	0.03 d-f
		Redcarin	639b	1178 gh	51.11 a	13.8a-e	80a-c	0.1 f-j	0.02 f-i
		Giza	392 e-g	1044 k-m	37.53 b	12.5c-f	80a-c	0.067 f-l	0.017 g-i
	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	335 g-j	1177 g-i	28.47 de	10.5ef	88a	0.12 ef	0.057 b
		Redcarin	783 a	1529 e	51.19 a	15.1a-c	82a-c	0.17 de	0.03 d-f
۲۰ آبان November 11	عدم کاربرد No application	Titicaca	204 lm	718 q	28.44 de	12.5c-f	56hi	0.05f i-l	0.037 c-e
	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Redcarin	463c-e	2336 c	19.84 gh	13.6a-f	51ij	0.11 f-h	0.017 g-i
		Giza	233k-m	1438 ef	16.22 ij	14.7a-d	67e-g	0.057 h-l	0.023 f-h
		Titicaca	199 lm	945 mn	21.14 gh	10.9d-f	72c-f	0.07 f-l	0.04 cd
		Redcarin	497cd	1858 d	26.73 ef	14.1a-e	63f-h	0.107 f-i	0.02 f-i
		Giza	294 h-k	1254 g	23.48 f	14.2a-e	44j	0.26 c	0.02 f-i
	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	196 m	1173 g-j	16.67 ij	12.7b-f	88a	0.087 f-k	0.043 c
		Redcarin	530 c	1380 f	38.40 b	16.4ab	74b-e	0.117 e-g	0.017 g-i
۲۰ آذر December 11	عدم کاربرد No application	Titicaca	56 n	368 r	16.32 ij	13.1 a-f	59g-i	0.06 g-l	0.02 f-i
	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Redcarin	277 i-l	2446 b	11.20 kl	14.5a-d	59g-i	0.043 j-l	0.013 hi
		Giza	193 m	1954 d	10.33 kl	14.1a-e	51ij	0.07 f-l	0.013 hi
		Titicaca	58 n	768 pq	7.55 l	13.1a-f	74b-e	0.06 l	0.043 c
		Redcarin	354 f-i	2538 a	13.93 jk	13.4a-f	74b-e	0.12 ef	0.013 hi
		Giza	197 m	1465 ef	13.47 jk	13.8a-e	59g-i	0.067 f-l	0.03 d-f
	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	60 n	1169 g-j	4.79 m	14.2a-e	89a	0.063 f-l	0.073 a
		Redcarin	431 d-f	1231 g	22.50 fg	14.0a-e	68e-g	0.2 d	0.02 f-i
		Giza	202 lm	976 l-n	19.77 gh	15.3a-c	67e-g	0.85 a	0.027 e-g

در هر ستون اعداد دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the numbers with the same letters have no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

ادامه جدول ۴- مقایسه میانگین برخی بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک

Table 4. Mean comparison for some biochemical and yield characteristics of quinoa cultivars under different sowing dates and foliar application of salicylic acid

تاریخ کاشت Sowing date	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	رقم Cultivar	محتوای مالون دی آلدئید Malondialdehyde (mg.g ⁻¹ FW)	محتوای نشاسته Starch content (%)	درصد پروتئین Protein percentage (%)	درصد نیتروژن Nitrogen percentage (%)	عملکرد پروتئین Protein yield (Kg.ha ⁻¹)
۲۰ مهر October 12	عدم کاربرد No application	Titicaca	0.8 bc	32.50 gh	11.95 g	2.26 g	41.7 d-f
		Redcarin	0.813 bc	26.29 kl	11.84 g	2.24g	58.9c
		Giza	0.677 d-f	45.93 c-e	11.89 g	2.25g	31.8f-h
	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Titicaca	0.653 e-g	32.51 gh	12 fg	2.27fg	41.0d-f
		Redcarin	0.490 i-m	26.59 j-l	11.89 g	2.25g	76.1 b
		Giza	0.47 j-m	53.66 b	11.95 g	2.26g	46.8d
	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	0.51 i-l	32.53 gh	12.04 efg	2.28efg	40.3d-f
		Redcarin	0.173 p	25.99 kl	11.93 g	2.26g	93.4 a
		Giza	0.263 op	61.39 a	12.01 fg	2.27fg	61.6c
	عدم کاربرد No application	Titicaca	0.58 f-i	32.25 gh	12.29 c-g	2.33c-g	25.1h
		Redcarin	0.763 b-d	24.61 kl	12.01 fg	2.27fg	58.2c
		Giza	0.623 e-h	43.85 d-f	12.34 b-g	2.34b-g	28.8gh
۲۰ آبان November 11	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Titicaca	0.523 h-k	32.42 gh	12.31 b-g	2.33 b-g	24.6h
		Redcarin	0.677 d-f	26.85 i-l	12.29 c-g	2.33c-g	61.0 c
		Giza	0.52 h-k	47.24 cd	12.36 b-g	2.34 b-g	36.5 e-g
	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	0.46 k-n	32.59 gh	12.33 b-g	2.34 b-g	24.0h
		Redcarin	0.593 f-i	29.09 g-k	12.56 b-f	2.38 b-f	63.6c
		Giza	0.41 l-n	50.63 bc	12.37 b-g	2.34 b-g	44.2ed
	عدم کاربرد No application	Titicaca	0.413 l-n	31.96 g-i	12.61 b-e	2.39 b-e	7.5h
		Redcarin	1.01 a	23.22 l	12.09 d-g	2.29d-g	57.3c
		Giza	0.57 g-j	39.86 f	12.67 bc	2.40bc	25.3h
	۱/۵ میلی مولار 1.5 mM	Titicaca	0.39 mn	32.33 gh	12.62 b-d	2.39 b-d	7.3i
		Redcarin	0.86 b	27.41 h-l	12.68 bc	2.40bc	44.9de
		Giza	0.567 g-j	40.82 ef	12.77 a-c	2.42a-c	25.2h
۲۰ آذر December 11	۳ میلی مولار 3 mM	Titicaca	0.36 no	32.69 g	12.63 b-d	2.39 b-d	7.0i
		Redcarin	0.713 c-e	31.59 g-j	13.28 a	2.52a	33.5f-h
		Giza	0.56 g-k	41.77 ef	12.86 ab	2.44ab	25.0h

در هرستون اعداد دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the numbers with the same letters have no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد زیست‌توده شد. اسیدسالیسیلیک باعث افزایش تقسیم سلولی درون مریستم گیاه شده و از این طریق ارتفاع بوته و در نتیجه تجمع ماده خشک در اندام هوایی را بهبود می‌بخشد (۱۵). همچنین، گزارش شده است که به نظر می‌رسد اسیدسالیسیلیک از طریق سنتز پروتئین-های خاصی به نام پروتئین‌کیناز که وظیفه تنظیم تقسیم، تمایز و ریخت‌زایی سلول را بر عهده دارد، فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف مثل رشد و نمو گیاه را تنظیم می‌کند و نقش مؤثری در افزایش تجمع ماده خشک در گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد زیست‌توده دارد (۳۳).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر اصلی تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم

عملکرد زیست‌توده: بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش سه‌جانبه آن‌ها بر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳). کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد زیست‌توده به میزان ۲۵۳۸ کیلوگرم در هکتار شد. عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی‌تی‌کاکا سبب مشاهده کمترین میزان عملکرد زیست‌توده (۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) شد (جدول ۴).

با توجه به نتایج به دست آمده کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذرماه

و برهم‌کنش تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم بر شاخص برداشت در سطح یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). کاربرد ۱/۵ و ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین شاخص برداشت و کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی‌تی‌کاکا سبب مشاهده کمترین میزان شد (جدول ۴).

تعداد پانیکول در بوته: بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش سه‌جانبه آن‌ها بر تعداد پانیکول در بوته در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳). عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم تی‌تی‌کاکا سبب دستیابی به بیشترین تعداد پانیکول در بوته شد. کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم تی‌تی‌کاکا سبب مشاهده کمترین تعداد پانیکول در بوته شد (جدول ۴).

فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی حاکی از وجود اختلاف آماری معنی‌دار میان سطوح مختلف تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش آنها بود (جدول ۳). بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شرایط کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی‌تی‌کاکا با میزان ۸۹ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی مشاهده شد. کمترین میزان نیز به تیمار کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آبان در رقم گیزا (۴۴ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) تعلق داشت (جدول ۴).

فعالیت آنزیم پراکسیداز: کمترین و بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز به ترتیب در تیمار عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین (با میزان ۰/۰۲۷ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) و تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم گیزا (۰/۸۵ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) مشاهده شد که افزایش ۳۱/۴۸ درصدی داشت (جدول ۴).

فعالیت آنزیم کاتالاز: مقایسه میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز میان تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین فعالیت این آنزیم در تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی‌تی‌کاکا (۰/۰۷۳ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) به دست آمد (جدول ۴). کمترین فعالیت این آنزیم در تیمار در تیمار عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین (۰/۰۱ واحد آنزیمی در میلی‌لیتر عصاره آنزیمی) مشاهده شد (جدول ۴).

افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نشان‌دهنده توانایی آن برای پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و بنابراین ایجاد تحمل به تنش است. فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز) در شرایط کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر بیشترین میزان بود. تغییر رادیکال‌های سوپراکسید به پراکسید هیدروژن و اکسیژن یک گام مهم در حفاظت از سلول است و در این تبدیل آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز به عنوان آنزیم‌های کلیدی محسوب می‌شوند (۳۴). آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز، سیستم‌های سلولی گیاهان را از اثرات سمی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر حفاظت می‌کنند و افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در

شرایط تنش دمایی پیش از این نیز گزارش شده است (۳۵). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز عمدتاً در جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن از سلول‌ها جهت محافظت از آنزیم‌ها و اندام‌های مهم درگیر در مسیرهای مختلف متابولیسمی فعالیت می‌کند و فعالیت بالای آن یکی از عوامل مهم برای افزایش ظرفیت تحمل گیاه است و گیاه از طریق سوپراکسید دیسموتاز به تنش واکنش می‌دهد (۳۶). آنزیم کاتالاز نیز تبدیل پراکسید هیدروژن به سطوح غیرسمی و یا تشکیل آب و اکسیژن را انجام می‌دهد و افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز می‌تواند در حفاظت از گیاهان از آسیب‌های تجمع بالای پراکسید هیدروژن در برگ‌های گیاه در واکنش به تنش نقش داشته باشد (۳۷). با توجه به نتایج به دست آمده آزمایش حاضر مشاهده شد که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی با افزایش سطح کاربرد سالیسیلیک‌اسید در تاریخ‌های کاشت مختلف افزایش داشت، بنابراین می‌توان دریافت که اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش توان آنتی‌اکسیدانی سبب کاهش تنش اکسیداتیو در گیاه کینوا می‌گردد (۴۰، ۳۹، ۳۸). همبستگی منفی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های

آنزیمی و محتوای مالون دی‌آلدئید نیز این مسأله را تأیید نمود (جدول ۵). همبستگی معنی‌داری بین عملکرد زیست‌توده با فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (**۰/۷۱) و محتوای مالون دی‌آلدئید (**۰/۶۶-) مشاهده شد (جدول ۵). این مسأله نشان داد که افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید سبب افزایش عملکرد زیست‌توده شد.

محتوای مالون دی‌آلدئید: با توجه به نتایج تجزیه واریانس صفات، از نظر محتوای مالون دی‌آلدئید میان سطوح مختلف تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش آن‌ها تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین محتوای مالون دی‌آلدئید در تیمار عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم ردکارین با میزان ۱/۰۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر مشاهده شد که در مقایسه با کمترین میزان آن در تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین با میزان ۰/۱۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر افزایش حدود ۵ برابری داشت (جدول ۴).

جدول ۵- همبستگی صفات بیوشیمیایی و عملکردی ارقام کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی هورمون اسیدسالیسیلیک

Table 5. Correlation coefficient between biochemical and yield characteristics of quinoa cultivars under different sowing dates and foliar application of salicylic acid

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	1.00											
۲	0.31	1.00										
۳	-0.26	0.78**	1.00									
۴	0.08	-0.24	-0.28	1.00								
۵	0.71**	0.12	0.51**	-0.20	1.00							
۶	0.03	0.33	0.11	-0.36	0.19	1.00						
۷	0.40*	-0.44*	-0.14	0.22	0.19	-0.24	1.00					
۸	-0.66**	0.26	-0.11	0.05	-0.35	-0.25	-0.26	1.00				
۹	-0.17	-0.16	-0.23	-0.25	0.18	0.72**	-0.07	-0.36	1.00			
۱۰	0.52**	-0.49**	0.82**	0.18	-0.66**	-0.20	0.17	0.24	-0.03	1.00		
۱۱	0.52**	-0.50**	0.82**	0.18	-0.65**	-0.21	0.18	0.24	-0.03	1.00**	1.00	
۱۲	0.31	1.00**	0.78**	-0.24	0.12	0.33	-0.44*	0.25	-0.16	-0.49**	0.50**	1.00

* و ** به ترتیب دارای تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم گیزا سبب دستیابی به بیشترین محتوای نشاسته با میزان ۶۱/۳۹ درصد و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم ردکارین سبب مشاهده کمترین میزان نشاسته (۲۳/۲۲ درصد) شد (جدول ۴).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که بروز تنش دمایی و تأخیر در کاشت سبب کاهش محتوای نشاسته شد و افزایش سطح کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تأخیر در کاشت، تجمع نشاسته را بهبود بخشید (جدول ۴). بررسی اثر تنش دمایی بر برخی صفات فیزیولوژیک و سیستم آنتی اکسیدانی نخود نشان داد که تنش دمایی سبب کاهش محتوای نشاسته شد (۴۲). در مطالعه‌ای تنش دمایی تنش دمایی موجب کاهش میزان نشاسته و افزایش غلظت قندهای محلول برنج نسبت به تیمار شاهد شد (۴۳). کاهش محتوای نشاسته در شرایط تنش می‌تواند به سبب هیدرولیز آن باشد که منجر به تجمع قندهای آزاد مانند ساکارز، کاهش پتانسیل اسمزی سلول و القای اثرات محافظتی می‌شود (۴۴). در شرایط تغییرات دمایی، متابولیسم کربن تغییر یافته که منجر به تغییر در تخصیص کربن تثبیت شده به ساکارز به جای نشاسته می‌شود (۴۵).

درصد نیتروژن، پروتئین دانه و عملکرد پروتئین: اثر اصلی تاریخ کاشت و برهم‌کنش تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم بر درصد نیتروژن و پروتئین تفاوت آماری معنی‌دار نشان دادند (جدول ۳). بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات مشاهده شد که تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک و رقم و برهم‌کنش سه-جانبه آن‌ها بر عملکرد پروتئین در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشتند (جدول ۳). بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین در شرایط کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم ردکارین به ترتیب با میزان ۲/۵۲ و ۱۳/۲۸ درصد مشاهده شد. کمترین میزان نیز به تیمار عدم کاربرد

افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و افزایش نشت مواد محلول شاخصی از کاهش ثبات غشای سلولی گیاهان در شرایط تنش دمایی است و حساسیت به تغییرات دما از طریق پراکسیداسیون لیپیدها توسط گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر منعکس می‌شود، به گونه‌ای که افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید با افزایش دمای هوا در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (۳۵). در آزمایش حاضر نیز با تأخیر در کاشت کینوا و بروز تنش دمایی و به دنبال آن تنش اکسیداتیو، گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر سبب تخریب غشاءهای فسفولیپیدی و افزایش در محتوای مالون‌دی‌آلدئید گردید و افزایش سطح اسیدسالیسیلیک این اثر را قليل بخشید. همبستگی منفی فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی سوپراکسید دیسموتاز (-0.35)، پراکسیداز (-0.25) و کاتالاز (-0.26) با غلظت مالون‌دی‌آلدئید نشان داد که با افزایش در توان آنتی‌اکسیدانی گیاه و پاکسازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، تخریب غشاهای فسفولیپیدی کاهش یافته و میزان غلظت مالون‌دی‌آلدئید به عنوان شاخصی از تخریب غشاء نیز کاهش یافت. دینگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز عنوان کردند که رادیکال‌های آزاد موجود در سلول‌ها باعث صدمه به لیپیدها و اسیدهای چرب غشاء شده و رادیکال‌های لیپید و پراکسی و هیدروپراکسی تولید می‌کنند، این رادیکال‌های تولید شده می‌توانند به واکنش‌های اکسیداسیون لیپیدها (اسیدهای چرب) سرعت بخشند که موجب افزایش در محتوای مالون‌دی‌آلدئید می‌گردد (۴۱).

خصوصیات کیفی دانه

محتوای نشاسته دانه: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثرات اصلی تاریخ کاشت و رقم و برهم‌کنش تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم بر محتوای نشاسته دارای تفاوت آماری معنی‌دار بودند (جدول ۳). کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در

نتیجه گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد دانه شد. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی سوپراکسیددیسموتاز و کاتالاز در تیمار کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ آذر در رقم تی تی کاکا مشاهده شد. این نتایج حاکی از اثرات بهبوددهنده اسیدسالیسیلیک بر گیاه کینوا در شرایط تنش دمایی ناشی از تأخیر در کاشت بود. کمترین محتوای مالون دی آلدئید نیز به تیمار عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم ردکارین تعلق داشت. تیمار کاربرد ۳ میلی مولار سالیسیلیک اسید در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه در رقم گیزا بیشترین محتوای نشاسته را نشان داد. مشاهده بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای مالون دی-آلدئید در تاریخ کاشت ۲۰ آذرماه نشان دهنده عدم وجود شرایط دمایی مناسب در این تاریخ کاشت و بروز تنش دمایی برای گیاه کینوا بود. با توجه نتایج به دست آمده و به اهمیت تولید دانه در گیاه کینوا، کشت این گیاه (رقم ردکارین) در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه به دلیل فراهم سازی بهتر شرایط رشد و نمو و کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک با هدف بهبود ویژگی های فتوسنتزی، به منظور برآورد اهداف کاربردی کشت این گیاه تیمار برتر ارزیابی گردید. البته لازم به ذکر است که باتوجه به رویارویی کامل کشت گیاه با شرایط محیطی و آب و هوایی و عدم فرصت کافی برای تهیه زمین پس از محصول قبلی در برخی اراضی زراعی ممکن است انتخاب تاریخ کاشت دوم و حتی سوم را نیز اجتناب ناپذیر سازد. لذا در تاریخ کشت دوم (۲۰ آبان ماه) و سوم (۲۰ آذرماه)، کاربرد ۳ میلی-مولار اسیدسالیسیلیک بر رقم ردکارین گزینه مناسبی خواهد بود.

اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین (۲/۲۴ و ۱۱/۸۴ درصد) تعلق داشت (جدول ۴). کاربرد ۳ میلی مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم ردکارین سبب دستیابی به بیشترین عملکرد پروتئین (۹۳/۴ کیلوگرم در هکتار) شد (جدول ۴).

محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر شرایط محیطی مانند دما و خشکی در طول دوره پر شدن دانه قرار می گیرد (۴۶، ۴۷). در هر سه تاریخ کاشت، درصد پروتئین در گیاهان محلول پاشی شده با اسیدسالیسیلیک (با افزایش غلظت) افزایش یافت و این افزایش ممکن است به دلیل بهبود فعالیت نیترات-ردوکتاز به دنبال تیمار با اسیدسالیسیلیک باشد (۴۸). یارنیا (۲۰۱۰) نیز بیان کرد که میزان پروتئین تحت تأثیر میزان عملکرد در تاریخ های مختلف کاشت قرار گرفته و محتوای پروتئین دانه در تاریخ کاشت ۲۰ آوریل (۸/۸۱ درصد) بیشتر از دیگر تاریخ های کاشت (۵ می و ۱۸ ژوئن به ترتیب با مقادیر ۵/۱ و ۴/۱ درصد) بود (۴۹). با توجه به نتایج همبستگی صفات (جدول ۵)، درصد پروتئین با عملکرد زیست توده و دانه و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان دارای همبستگی مثبت معنی دار بود. پژوهشگران دریافته اند که تجمع پروتئین و روغن و اندازه دانه، با توزیع مواد غذایی در بین بافت های مختلف دانه ارتباطی ندارد (۵۰). در حالی که برخی دیگر از پژوهشگران گزارش کردند که بین اندازه دانه و محتوای پروتئین همبستگی منفی و بین اندازه دانه و محتوای روغن در کینوا همبستگی مثبت وجود داشت (۵۱، ۵۲). در مطالعات جهان بخش و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده شد که محلول پاشی گیاه کینوا توسط اسیدسالیسیلیک در تاریخ های مختلف کاشت، وجود یک رابطه منفی بین عملکرد دانه و محتوای پروتئین دانه را نشان داده است (۱۴)، که با نتایج آزمایش حاضر مغایرت داشت.

References

1. De Santis, G., Maddaluno, C., & D'Ambrosio, T. (2016). Characterisation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accessions for the saponin content in Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy*, 11, 277–281. DOI:10.4081/ija.2016.774
2. Fathi A., & Kardoni F. (2020). The importance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) cultivation in developing countries: a review: *Cercetări Agronomice în Moldova*, 53(3): 337–356. DOI:10.46909/cerce-2020-030
3. Navruz-Varli, S., & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Sciences*, 69, 371–376. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
4. Sharma, G., & Lakhawat, S. (2017). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*), an ancient Andean grain. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(4), 1488–1489.
5. Choukr-Allah, R., Rao, N.K., & Hirich, A. (2016). Quinoa for marginal environments: toward future food and nutritional security in MENA and Central Asia regions. *Frontiers in Plant Sciences*, 7, 346. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00346>
6. Ruiz, K.B., Biondi, S., & Oses, R. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 349–359.
7. Rahnama, A., Salehi, F., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., Ghorbanpour, M., & Harrison, M.T. (2024). High temperature perturbs physicochemical parameters and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *BMC Plant Biology*, 24, 1080. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05781-3>
8. Baum, M.E., Licht, M.A., Huber, I., & Archontoulis, S.V. (2020). Impacts of climate change on the optimum planting date of different maize cultivars in the central US Corn Belt. *European Journal of Agronomy*, 119, 126101. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126101>
9. Humphreys, E., & Gaydon, D.S. (2015). Options for increasing the productivity of the rice–wheat system of northwest India while reducing groundwater depletion. Part 2. Is conservation agriculture the answer? *Field Crop Research*, 173, 68–80. DOI:10.1016/j.fcr.2014.11.019
10. Rajinder, P., Mahajan, G., Sardana, V., & Chauhan, B.S. (2017). Impact of sowing date on yield, dry matter and nitrogen accumulation, and nitrogen translocation in dry- seeded rice in North-West India. *Field Crop Research*, 206, 138–148. DOI:10.1016/j.fcr.2017.01.025
11. Ghobadi, M., & Norouzi, Y. (2024). Investigation the effects of planting dates on agro-physiological characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) as a second crop in the climatic conditions of Kermanshah. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 3(1), 74–94. DOI: 10.22126/cbb.2024.10354.1067 [In Persian]
12. Etebari, A.R., Galeshi, S., Anaghali, A., & Torabi, B. (2022). Investigating the effect of planting date and density on quinoa plant in saline and rainfed conditions. *Crop Production Journal*, 15(2), 219–236. DOI: 10.22069/EJCP.2022.19996.2489 [In Persian]
13. Mohammadi, H., Rahimpour, B., Pirastehanosheh, H., & Race, M. (2022). Salicylic acid manipulates ion accumulation and distribution in favor of salinity tolerance in *Chenopodium quinoa*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1576. DOI: 10.3390/ijerph19031576
14. Jahanbkhsh, S., Khajoei-Nejad, G., Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2020). Effect of planting date and salicylic acid on some quantitative and qualitative traits of quinoa as affected by drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1149–1167. <http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2313.1595> [In Persian]

15. Vlot, C.A., Dempsey, M.A., & Klessing, D.F. (2009). Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual review of Phytopathology*, 47, 177–206. DOI: 10.1146/annurev.phyto.050908.135202
16. Bideshki, A., & Arvin, M.J. (2010). Effect of salicylic acid (SA) and drought stress on growth, bulb yield and allicin content of garlic (*Allium sativum*) in field. *Plant Ecophysiology*, 2, 73-79.
17. Heidari, N., Shekari, F., Golchin, A., & Sehati, N. (2020). Interaction of nitrogen stress and salicylic acid on physiologic and photosynthetic characteristics of borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 8(34), 37-49. <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1238-en.html> [In Persian]
18. Hossini, F., Meskarbashee, M., & Rahnama, A. (2024). The effect of foliar application of cytokinin and salicylic acid on yield and physiological characteristics of sunflower under drought stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, (In press), doi: 10.22069/jopp.2024.22633.3163 [In Persian]
19. Abdolahi, M., Shekari, F., Saba, J., & Zangani, E. (2018). Seed priming with salicylic acid enhanced gas exchanges parameters and biological yield of wheat under late sowing date. *Agriculture and Forestry*, 64, 145-157. DOI:10.17707/AgricultForest.64.1.17
20. Gholami, S., Rostami, T., Ahmadi, K., Amini Dehaghi, M., & Bagheri, M. (2021). The effect of salicylic acid on germination of tow genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 157-170. DOI: 10.22077/escs.2020.2658.1696 [In Persian]
21. Ghalambaz, S., Roshanfekr, H., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Monsefi, A. (2024). Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Physiological Indices and Induction of Terminal Heat Stress Tolerance of Quinoa in Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 137-154.
22. Abd Allah, M.M.SH., El-Bassiouny, H.M.S., Elewa, T.A.E., & El-Sebai, T.N. (2015). Effect of salicylic acid and benzoic acid on growth, yield and some biochemical aspects of quinoa plant grown in sandy soil. *International Journal of ChemTech Research*, 8(12), 216-225.
23. Cakmak, I., & Marschner, H. (1992). Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant Physiology*, 98, 1222-1227. DOI: 10.1104/pp.98.4.1222
24. Dazy, M., Jung, V., Ferard, J., & Masfaraud, J. (2008). Ecological recovery of vegetation on a coke-factory soil: Role of plant antioxidant enzymes and possible implication in site restoration. *Chemosphere*, 74(1), 57-63. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.09.01
25. Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acryl amide gels. *Analytical Biochemistry*, 44(1), 276- 286. DOI: 10.1016/0003-2697(71)90370-8
26. Stewart, R.C., & Beweley, J.D. (1980). Lipid peroxidation associated with accelerated aging of soybean axes. *Plant Physiology*, 65(2), 245-248. DOI: 10.1104/pp.65.2.245
27. Sheligl, H.G. (1986). Die verwertung orgngischer souren durch chlorella lincht. *Plant Sciences*, 41, 47-51.
28. Mæhre, H.K., Dalheim, L., Edvinsen, G.K., Elvevoll, E.O., & Jensen, I.J. (2018). Protein determination—method matters. *Foods*, 7(1), 5. DOI: 10.3390/foods7010005
29. Salehi, F., Rahnama, A., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., & Ghorbanpour, M. (2023). Physiological and metabolic changes of saflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to terminal heat stress. *Journal of Plant Growth Regulations*, 42, 6585–600.
30. Goodarzian Ghahfarokhi, M., Meskarbashee, M., Rahnama, A., & Smith, D. L. (2020). Evaluation of physiological and yield characteristics of safflower cultivars in response to salicylic acid foliar application and late- season heat stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 59-72. doi:10.22059/ijfcs.2019.279743.654603

31. Hayat, Q., Hayat, S.H., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. A review: *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14-25. DOI:10.1016/j.envexpbot.2009.08.005
32. Sepahvand, N., & Sheikh, F. (2011). Familiarity with the new quinoa plant. National Conference on Natural Products and Medicinal Plants. 4-5 Oct. Bojnourd. [In Persian]
33. Shamsaddin Saied, M., & Moradi, R. (2018). Effect of Organic Amendments on Some Quantitative and Qualitative Characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) as Affected by Different Irrigation Levels. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 105-123.
34. Clement, M., Leonhardt, N., Droillard, M., Reiter, I., Montillet, J., Genty, B., Lauriere, C., Nussaume, L., & Noel, L.D. (2011). The cytosolic/nuclear HSC70 and HSP90 molecular chaperones are important for stomatal closure and modulate abscisic acid-dependent physiological responses in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 156(3), 1481-1492. DOI:10.1104/pp.111.174425.
35. Sheikh Mamo, B., Rahnema, A., Hassibi, P. (2023). Evaluation of biochemical traits and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in response to terminal heat stress in Ahvaz, Iran. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 25(3), 275-293. <http://agrobreedjournal.ir/article-1-1323-en.html> [In Persian]
36. Xuejun, H., Weitao, L.V., Bin, L., & Zhang, M. (2011). Proline accumulation is inhibitory to Arabidopsis seedlings during heat stress. *Plant Physiology*, 156(4), 1921-1933. DOI:10.1104/p.111.175810
37. Simaei, M., Khavari-Nejad, R.A., Saadatmand, S., Bernard, F., & Fahimi, H. (2011). Effects of salicylic acid and nitric oxide on antioxidant capacity and proline accumulation in *Glycine max* L. treated with NaCl salinity. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 3775-3782.
38. Hasanuzzaman, M., Matin, M.A., Fardus, J., Hasanuzzaman, M., Hossain, M.S., & Parvin, K. (2019). Foliar application of salicylic acid improves growth and yield attributes by upregulating the antioxidant defense system in Brassica campestris plants grown in lead-amended soils. *Acta Agrobotany*, 72, 1765. DOI: 10.5586/aa.1765
39. Kaur, H., & Hussain, S.J. (2020). Cadmium: Uptake in Plants and Its Alleviation Via Crosstalk Between Phytohormones and Sulfur. In Sustainable Solutions for Elemental Deficiency and Excess in Crop Plants. Mishra, K., Tandon, P.K., Srivastava, S., Eds.; Springer: Singapore. DOI:10.1007/978-981-15-8636-1_15
40. Zaheer, M.M., Yasin, N.A., Ahmad, S.R., Khan, W.U., Ahmad, A., Ali, A., & Rehman, S.U. (2018). Amelioration of cadmium stress in gladiolus (*Gladiolus grandiflora* L.) by application of potassium and silicon. *Journal of Plant Nutrition*, 41, 461-476. DOI:10.1080/01904167.2017.1385808
41. Ding, Y., Bai, X., Ye, Z., Ma, L., & Liang, L. (2019). Toxicological responses of Fe₃O₄ nanoparticles on Eichhornia crassipes and associated plant transportation. *Science of the Total Environment*, 671, 558-567. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.344>
42. Jafarinasab, A.S., Maddah hosseini, S., & Azari, A. (2023). Cold stress effect on some physiological characteristics and antioxidant systems in some grass pea (*Lathyrus sativus*) ecotypes. *Plant Process and Function*, 12(53), 299-314. URL: <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1713-fa.html> [In Persian]
43. Oliver, S.N., Van Dongen, J.T., Alfred, S.C., Mamun, E.A., Zhao, X., Saini, H.S., Fernandes, S.F., Blanchard, C.L., Sutton, B.G., & Geigenberger, P. (2005) Cold -induced repression of the rice anther -specific cell wall invertase gene OSINV4 is correlated with sucrose accumulation and pollen sterility. *Plant Cell Environment*, 28, 1534 -1551. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01390.x
44. Pearce, R.S., & Fuller, M.P. (2001) Freezing of barley studied by infrared video thermography. *Plant Physiology*, 125, 227 -240. DOI: 10.1104/pp.125.1.227
45. Pescador, D.S., Sánchez, A.M., Luzuriaga, A.L., Sierra-Almeida, A., & Escudero, A. (2018). Winter is coming: plant freezing resistance as a key functional trait for the assembly

- of annual Mediterranean communities. *Environmental and Experimental Botany*, 121(2), 335-344. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx166>
46. Naoe, A.M.L., Peluzio, J.M., & Campos, L.J.M. (2021). Effect of water deficit and sowing date on oil and protein contents in soybean co-inoculated with *Azospirillum brasilense*. *Pesquisa Agropecuária Tropical (PAT)*, 51. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5166584>
47. Pípolo, A.E., Hungria, M., & Franchini, J.C. (2015). Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria. *Embrapa Soja-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1025298>
48. Kumar, R.R., Goswami, S., Sharma, S.K., Singh, K., Gadpayle, K.A., Kumar, N., Rai, G.K., Singh, M., & Rai, R.D. (2012). Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 4(4), 83-91. URL: <http://www.academicjournals.org/IJPPB/abstracts/abstracts/abstracts2012/March/Kumar%20et%20al.htm>
49. Yarnia, M. (2010). Sowing dates and density evaluation of Amaranth as a new crop. *Advances in Environmental Biology*, 4(1), 41-46.
50. Curti, R.N., Sanahuja, M., Del, C., & Vidueiros, S.M. (2018). Trade-off between seed yield components and seed composition traits in sea level quinoa in response to sowing dates. *Cereal Chemistry*, 95(5), 734-741. DOI:10.1002/cche.10088
51. Graf, B.L., Rojo, L.E., & Delatorre- Herrera, J. (2016). Phytoecdysteroids and flavonoid glycosides among Chilean and commercial sources of *Chenopodium quinoa*: Variation and correlation to physico- chemical characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 633-643. DOI: 10.1002/jsfa.7134
52. Miranda, M., Vega-Gálvez, A., & Martínez, E.A. (2013). Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: nutritional and functional properties. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73, 108-116. URI: <http://hdl.handle.net/1807/46047>

