

Foliar application of salicylic acid effect on photosynthetic properties, enzymatic antioxidant activities, and yield of canola (*Brassica napus* L.) cultivars under terminal heat stress

Maral Dinarvandi¹, Afrasyab Rahnema^{2*}, Moosa Meskarbashee³,
Parzhak Zoufan⁴

¹ Ph.D. student, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: dinarvandimaral@gmail.com

^{*2} Corresponding author, Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: a.rahnema@scu.ac.ir

³ Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: mmeskarbashee@scu.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: p.zoufan@scu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-04-11

Accepted: 2025-07-18

Keywords:

Catalase
Chlorophyll index
High temperature
Peroxidase
Stomatal conductance

ABSTRACT

Background and objectives: High temperature stress is a major environmental stress that limits crop growth, metabolism, and productivity worldwide. Humid tropical areas are thought to threaten primarily by high temperature stress during reproductive phase which causes a drastic change in physiological and biochemical behavior of the major crops under future climates. Canola (*Brassica napus* L.) is an oilseed crop cultivated for purposes relating to household consumption and industry. Delay in sowing date are known to accelerate the crop development and shorten the growing period and distance of the plant from suitable growing conditions. Salicylic acid (SA), as a plant growth regulator, plays a major role in plant growth and development and promote photosynthesis under heat stress by influencing various biochemical reactions and physiological processes. SA is known to alleviate adverse effects of heat stress on crop production through changes in photosynthesis traits and enzymatic antioxidant activities. The aim of this study was to evaluate the effect of SA foliar on the yield, photosynthetic characteristics, and enzymatic antioxidant activities of canola cultivars under terminal heat stress caused by late autumn winter sowing dates in Ahvaz conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of SA foliar application on the yield, photosynthetic characteristics, and enzymatic antioxidant activities of canola cultivars in two sowing dates, a field experiment carried out in a split plot factorial in randomized complete block design with three replicates per treatment at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2023-2024 growing season. Main plots consisted of two sowing dates; November 11, and December 11 (Normal and late sowing dates, respectively), and sub plot consisted of factorial arrangement of different concentrations of SA (0, and 200 $\mu\text{m l}^{-1}$, SA), and canola cultivars (Hyola4815, Agamax, Hyola50, and Trapper). SA treatments were implemented at stem elongation (32 BBCH stage) and inflorescence emergence (53 BBCH

stage). Data related to stomatal conductance, chlorophyll index, catalase, peroxidase, ascorbate peroxidase, superoxide dismutase, glutathione reductase, hydrogen peroxide and malondialdehyde concentrations, and seed and oil yield were also recorded.

Results: Results showed that the interaction between sowing date, hormone foliar application, and cultivars significantly affected most of the traits. Heat stress in late sowing date led to a significant reduction in seed (28%) and oil yield (35%), chlorophyll index (11%), stomatal conductance (36%), but increased catalase (26%), peroxidase (32%), ascorbate peroxidase (76%), superoxide dismutase (79%), glutathione reductase (80%) enzyme activities and hydrogen peroxide (335%) and malondialdehyde (MDA) concentration (33%) compared to normal sowing date. A significant difference was found among cultivars in terms of all traits. The concentration of $200 \mu\text{m l}^{-1}$ SA improved the studied traits in both sowing dates. In late sowing date, foliar application of salicylic acid enhanced stomatal conductance (15%), chlorophyll index (2%), seed (23%) and oil yield (31%), catalase (16%), peroxidase (11%), ascorbate peroxidase (8%), superoxide dismutase (10%), glutathione reductase (12%) enzyme activities, but decreased hydrogen peroxide (5%) and MDA (21%), when compared to salicylic acid -deficient plants. According to these results, Agamex and Trapper cultivars perform better than other cultivars and largely maintain their high yield through improvement of the mentioned traits under heat stress conditions caused by late sowing time.

Conclusion: The adverse effects of heat stress were mitigated by the application of SA as a foliar spray. SA treatment played a crucial role in maintaining gas exchange, promoting the production of enzymatic antioxidants and reducing hydrogen peroxide and MDA concentrations. These findings provide evidence that exogenous SA ($200 \mu\text{m l}^{-1}$) can be an effective strategy in improvement of seed and oil yield of canola cultivars under late autumn sowing date conditions in tropical regions such as Khuzestan.

Cite this article: Dinarvandi, M., Rahnama, A., Meskarbashee, M., Zoufan, P. 2025. Foliar application of salicylic acid effect on photosynthetic properties, enzymatic antioxidant activities, and yield of canola (*Brassica napus* L.) cultivars under terminal heat stress. *Crop Production Journal*, 18 (2), 87-112.



© The Author(s).

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23526.2674](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23526.2674)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های فتوسنتزی، فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و عملکرد ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش گرمای آخر فصل

مارال دیناروندی^۱، افراسیاب راهنما^۲، موسی مسکرباشی^۳، پرژک ذوفن^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: dinarvandimaral@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: a.rahnama@scu.ac.ir

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

^۴ دانشیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، رایانامه: p.zoufan@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	سابقه و هدف: تنش دمای بالا یک تنش محیطی اصلی است که رشد، متابولیسم و تولید گیاهان را در سراسر جهان محدود می‌کند. به نظر می‌رسد که در شرایط آب و هوایی آینده، مناطق گرم و مرطوب اولین مناطقی باشند که توسط تنش دمای بالا در طول دوره زایشی، که باعث تغییر در فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌شود، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. کلزا یک گیاه دانه روغنی است که برای مصارف خوراکی و صنعتی کشت می‌شود. تأخیر در کشت باعث تسریع رشد، کوتاه شدن دوره رشد و عدم بهره‌وری گیاه از شرایط رشد مناسب می‌شود. اسید سالیسیلیک به عنوان یک تنظیم کننده رشد گیاه، نقش عمده‌ای در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کند و با اثر بر واکنش‌های مختلف بیوشیمیایی و فرآیندهای فیزیولوژیک، سبب بهبود فتوسنتز تحت تنش گرما می‌شود. اسید سالیسیلیک از طریق تغییر در ویژگی‌های فتوسنتزی و فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی، اثرات نامطلوب تنش گرمایی بر تولید محصول را کاهش می‌دهد. هدف از این مطالعه بررسی اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر عملکرد، ویژگی‌های فتوسنتزی و فعالیت آنتی اکسیدان‌های ارقام کلزا در شرایط تنش گرمای آخر فصل ناشی از کشت دیر هنگام پاییزه بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸	
واژه‌های کلیدی:	مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تأثیر تنش گرمای آخر فصل در مرحله رشد زایشی بر برخی ویژگی‌های فتوسنتزی و فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی کلزا، پژوهشی مزرعه‌ای به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. دو تاریخ کاشت به هنگام و دیر هنگام (به ترتیب ۲۰ آبان و ۲۰ آذر) در کرت‌های اصلی، و محلول پاشی غلظت‌های هورمون اسید سالیسیلیک (شاهد و ۲۰۰ میکرومولار در لیتر) و ارقام کلزا (هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمار اسید سالیسیلیک در مرحله ساقه‌دهی و غنچه‌دهی (به ترتیب مرحله ۳۲ و ۵۳ بر اساس مقیاس BBCH) اعمال شد. داده‌های مربوط به هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل، فعالیت آنزیم کاتالاز، پراکسیداز،
پراکسیداز	
پراکسید هیدروژن	
دمای بالا	
کاتالاز	
هدایت روزنه‌ای	

آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، گلوکاتینون ریداکتاز، غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید، عملکرد دانه و روغن نیز ثبت شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد برهم‌کنش تاریخ کاشت، محلول‌پاشی هورمون و ارقام کلزا بر بیشتر صفات معنی‌دار بود. کاشت دیر هنگام در همه ارقام و سطوح تنظیم‌کننده رشد، سبب کاهش عملکرد دانه (۲۸ درصد) و روغن (۳۵ درصد)، شاخص کلروفیل (۱۱ درصد)، هدایت روزنه‌ای (۳۶ درصد)، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (۲۶ درصد)، پراکسیداز (۳۲ درصد)، آسکوربات پراکسیداز (۷۶ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۷۹ درصد) و گلوکاتینون ریداکتاز (۸۰ درصد) و همچنین غلظت پراکسید هیدروژن (۳/۳۵ برابر) و مالون دی آلدئید (۳۳ درصد) شد. بین ارقام نیز از نظر تمامی صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت ۲۰۰ میکرومولار در لیتر سبب بهبود صفات مورد مطالعه در هر دو تاریخ کاشت شد. در تاریخ کاشت دیر هنگام و همه ارقام محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در مقایسه با عدم محلول‌پاشی، باعث افزایش هدایت روزنه‌ای (۱۵ درصد)، شاخص کلروفیل (۲ درصد)، عملکرد دانه (۲۳ درصد) و عملکرد روغن (۳۱ درصد)، فعالیت آنزیم کاتالاز (۱۶ درصد)، پراکسیداز (۱۱ درصد)، آسکوربات پراکسیداز (۸ درصد)، سوپراکسید دیسموتاز (۱۰ درصد) و گلوکاتینون ریداکتاز (۱۲ درصد) شد، در حالی که غلظت پراکسید هیدروژن (۵ درصد) و مالون دی آلدئید (۲۱ درصد) را کاهش داد. ارقام آگامکس و تراپر از طریق بهبود صفات ذکر شده، تحت شرایط تنش گرمای ناشی از کشت دیر هنگام عملکرد بالاتری را حفظ کردند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه تیمار اسید سالیسیلیک توانست اثرات منفی تنش گرما را با بهبود صفات فتوسنتزی و آنتی اکسیدانی و کاهش غلظت پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید بهبود بخشد و از این رو سبب بهبود عملکرد دانه و روغن گردد. همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک (۲۰۰ میکرومولار در لیتر) می‌تواند یک راهبرد مؤثر در بهبود عملکرد دانه و روغن ارقام کلزا در شرایط تأخیر در کاشت پاییزه در مناطق گرمسیر مانند خوزستان باشد.

استناد: دیناروندی، مارال؛ راهنما، افراسیاب؛ مسکرباشی، موسی؛ ذوفن، پرژک. (۱۴۰۴). محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های فتوسنتزی، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و عملکرد ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش گرمای آخر فصل. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۲)، ۸۷-۱۱۲.



© نویسندگان.

DOI: [10.22069/ejcp.2025.23526.2674](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23526.2674)

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کلزا با نام علمی (*Brassica napus* L.)، یک گیاه دانه روغنی برای مصارف خوراکی و صنعتی است. تغییرات اقلیمی همراه با شرایط گرمای شدید می‌تواند بر عملکرد و روغن دانه کلزا تأثیر بگذارد و ظرفیت تولید آن را برای همگام شدن با تقاضای رو به رشد آن محدود کند. سطح زیر کشت کلزا در ایران حدود ۹۹ هزار هکتار و تولید آن ۱۹۷ هزار تن است. همچنین سطح زیر کشت در استان خوزستان ۲۸ هزار هکتار و تولید آن ۵۳ هزار تن است (۱). گرمایش جهانی، رویدادهای اقلیمی را به طور گسترده متأثر خواهد کرد و منجر به تغییرات زیادی در الگوهای اقلیمی می‌شود و علاوه بر تأثیر بر کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی، تهدیدی جدی برای امنیت غذایی جهان محسوب می‌گردد (۲، ۳). تنش گرما، به عنوان یکی از عوامل مهم محدود کننده تولید محصولات زراعی سبب تغییرات مورفولوژیک، آناتومیک و بیوشیمیایی در گیاهان می‌شود و بر رشد و نمو آن‌ها تأثیر منفی می‌گذارد و منجر به کاهش قابل توجه عملکرد اقتصادی می‌شود (۴). تنش گرما فعالیت‌های مختلف مانند جوانه‌زنی، رشد، نمو، فتوسنتز و تولیدمثل را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت منجر به اثرات قابل توجهی بر رشد کلی گیاه و همچنین عملکرد می‌شود (۴). اثرات منفی تنش گرما را می‌توان با توسعه گیاهان متحمل به گرما با استفاده از انواع تکنیک‌های فیزیولوژیک و ژنتیکی کاهش داد. بر این اساس، دیدگاه سازوکارهای تحمل گرما، واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان به دماهای بالا، و رویکردهای بالقوه برای افزایش بهره‌وری محصول در شرایط تنش بسیار مهم است (۵، ۶). مواجهه گیاهان با دماهای بالا باعث تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر می‌شود (۷). گیاهان به منظور محافظت در برابر تنش اکسیداتیو و انطباق با تنش

گرما، یک سیستم دفاعی پیچیده آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی و آنزیمی ایجاد کرده‌اند و میزان فعال بودن آن با بهبود تحمل گرما مرتبط است (۷).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند اسید سالیسیلیک باعث بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود و به عنوان یک راهکار برای جلوگیری از آثار مخرب تنش‌های محیطی به شمار می‌رود (۸). اسید سالیسیلیک به عنوان یک ترکیب فنلی و مولکول پیام‌رسان درون‌زا، رشد و نمو گیاه را در محیط‌های مساعد و پر تنش کنترل می‌کند و برای کنترل رشد، نمو و برهم‌کنش با سایر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و واکنش به تنش‌های محیطی ضروری است (۹، ۱۰). از آنجایی که اسید سالیسیلیک در سیستم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های زیستی یا غیرزیستی نقش دارد، ممکن است به گیاهان در مقابله با دماهای بالا نیز کمک کند (۱۱، ۱۲، ۱۳). مشخص شده است که اسید سالیسیلیک از طریق تنظیم چندین فرآیند فیزیولوژیک حیاتی مانند فتوسنتز، متابولیسم نیتروژن و پرولین، بیوسنتز گلیاسین بتائین، سازوکارهای آنتی‌اکسیدانی و وضعیت آب گیاه، گیاهان را در برابر تنش‌های غیرزیستی محافظت می‌کند. به تازگی نقش اسید سالیسیلیک در واکنش به تنش‌های غیرزیستی از جمله ازن، مواجهه با فلزات سنگین، اشعه ماورای بنفش، خشکی، شوری و دماهای بالا و پایین بسیار مورد توجه واقع شده است (۱۴). همچنان که گزارش‌ها در مورد کاربرد برون‌زای اسید سالیسیلیک نشان می‌دهد که این تنظیم‌کننده رشد گیاهی بر طیف وسیعی از فرآیندهای فیزیولوژیک از جمله بهبود تحمل به دمای بالا در یونجه (۱۶) و شنبلیله (۱۷) تأثیر می‌گذارد. تأثیر سطوح درون‌زای اسید سالیسیلیک در گیاهان با مرحله رشدی و مواجهه با محرک‌های خارجی مرتبط است (۱۸). از سوی دیگر اعمال تیمار اسید سالیسیلیک می‌تواند انعطاف

فعالیت فتوسنتزی و سیستم دفاع آنتی اکسیدانی کلزا در شرایط دماهای بالای آخر فصل ناشی از کاشت دیر هنگام پاییزه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲، به صورت اسپلینت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آموزشی دانشگاه شهید چمران اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه و با ۱۲ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. اقلیم محل اجرای آزمایش در گروه اقلیم خشک و نیمه گرمسیری قرار می‌گیرد. دو تاریخ کاشت به هنگام و دیر هنگام (به ترتیب ۲۰ آبان و ۲۰ آذر) در کرت‌های اصلی، محلول‌پاشی غلظت‌های هورمون اسید سالیسیلیک (شاهد و ۲۰۰ میکرومولار در لیتر) و ارقام (هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر) نیز به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفت، برخی ویژگی‌های ارقام مورد بررسی در این آزمایش در جدول ۱ آورده شده است (۲۲).

پذیری گیاه را در برابر عوامل تنش‌زای مختلف مانند خشکی، شوری، گرما، سرما و فلزات سنگین افزایش دهد (۱۹، ۲۰). برای مثال، در آزمایشی گزارش شد تیمار دمای بالا سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز شد، در حالی که پیش تیمار اسید سالیسیلیک فعالیت این دو آنزیم را افزایش داد (۲۱). اگرچه گزارش‌های متعددی برای ارزیابی اثرات تنش گرما بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی ناشی از تنش دمای بالا در گیاهان زراعی مختلف انجام شده است، اما مطالعات اندکی در زمینه تأثیر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاه کلزا در شرایط تنش گرما وجود دارد. در مطالعات قبلی مشخص شده که کاربرد اسید سالیسیلیک تحمل به تنش دماهای بالا را در گیاه افزایش می‌دهد (۱۶، ۱۷) و این فرضیه وجود دارد که این تنظیم کننده رشد گیاهی تحمل به تنش گرما را از طریق تغییر در ویژگی‌های فتوسنتزی و سیستم دفاع آنتی اکسیدانی در شرایط دماهای بالا افزایش دهد. بر اساس همین فرضیه، هدف از اجرای پژوهش حاضر بررسی اثرات اسید سالیسیلیک بر

جدول ۱- ویژگی ارقام کلزای مورد استفاده در آزمایش (۲۲)

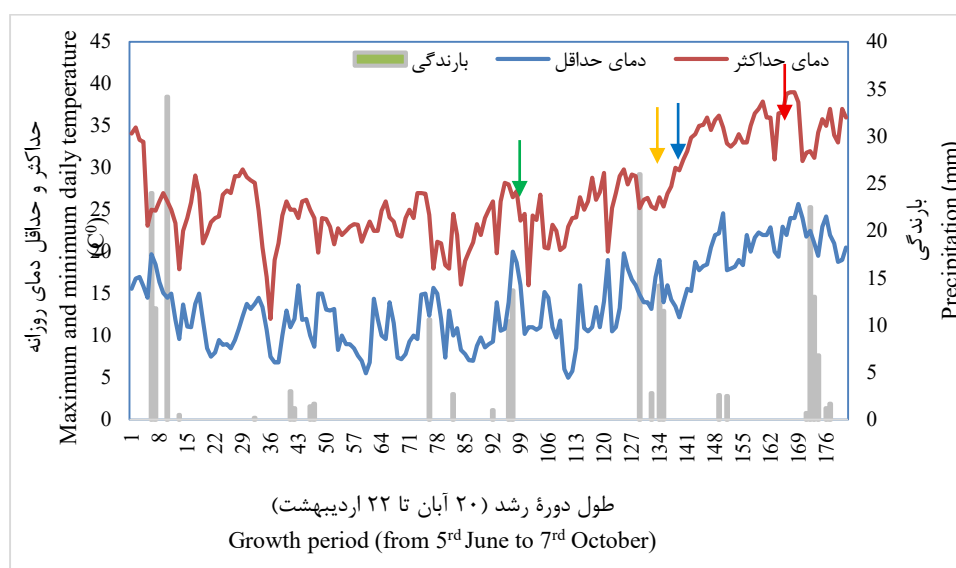
Table 1. Characters canola cultivars (22)

رقم	زمان رسیدگی	عادت رشدی	منشأ	تحمل به گرما
Cultivars	Time of maturity	Growth habit	Origin Type	Heat tolerance
هایولا ۴۸۱۵	زودرس	بهاره	هیبرید استرالیایی	پایین
Hyola 4815	Early	Spring	Australian hybrid	Low
آگامکس	میان رس	بهاره	هیبرید آلمانی	متوسط
Agamax	Medium	Spring	Germany hybrid	Moderate
هایولا ۵۰	دیررس	بهاره	هیبرید استرالیایی	بالا
Hyola50	Late	Spring	Australian hybrid	High
تراپر	میان رس	بهاره	هیبرید آلمانی	متوسط
Trapper	Medium	Spring	Germany hybrid	Moderate

دانه (به ترتیب پیکان سبز و آبی) با دماهای مطلوب (دماهای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) روبرو شد، در حالی که در کاشت دیر هنگام شروع این مراحل (به

در تیمار شاهد نیز همزمان با اعمال تیمار اسید سالیسیلیک، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام شد. در تاریخ کاشت به هنگام شروع مراحل گلدهی و پرشدن

ترتیب پیکان نارنجی و قرمز) تا انتهای دوره رشد با تنش دمای بالای آخر فصل (دماهای بالای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) روبرو شد (شکل ۱) (جدول ۲).



شکل ۱- دمای حداکثر و حداقل روزانه ایستگاه هواشناسی اهواز

Figure 1. Daily maximum and minimum temperature of Ahvaz metrological station

جدول ۲- میانگین دما و بارندگی ماهانه در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Table 2. The mean monthly temperature and precipitation in 2022-23

ماه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
Month	November	December	January	February	March	April	May
میانگین دمای حداکثر Maximum Temperature (°C)	31	24	23	23	25	31	36
میانگین دمای حداقل Minimum temperature (°C)	17	10	10	11	12	18	22
بارندگی Rainfall (mm)	80.6	0.7	7.3	38.4	61.3	59.6	46.4

گیاه ادامه یافت. برای این منظور نیز درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) (ProCheck, Decagon) (Devices, USA) اندازه‌گیری شد.

بذرها در دو ردیف کاشت روی هر پشته با فاصله ۳۰ سانتی‌متر در عمق دو تا سه سانتی‌متری، با تراکم ۷۰ تا ۸۰ بوته در متر مربع کاشت شدند. کود پایه نیز با توجه به نتایج آزمون خاک، و در نظر گرفتن حد بحرانی و بهینه و همچنین توصیه کودی قبل از کاشت در زمان آماده‌سازی زمین به خاک مزرعه اضافه شد

کشت قبلی زمین مورد استفاده در این پژوهش به گندم اختصاص یافته بود. در پایان مهرماه پس از آبیاری مزرعه و گاوارو شدن خاک، زمین توسط گاواهن برگردان‌دار شخم زده شد. از دیسک و ماله به منظور خرد کردن کلوخه‌ها و تسطیح زمین استفاده شد. کرت‌های فرعی به ابعاد ۲ در ۳ متر شامل سه پشته با فاصله ۶۰ سانتی‌متر و طول سه متر در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه به روش سیفونی انجام شد. آبیاری‌ها پس از رسیدن میزان رطوبت خاک به حدود ۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام و تا پایان فصل رشد

(تمامی شرایط آزمایش برای ارقام یکسان در نظر گرفته شد). تیمار اسیدسالیسیلیک در دو مرحله رشدی ساقه‌دهی و غنچه‌دهی (به ترتیب مرحله ۳۲ و ۵۳ براساس مقیاس BBCH) و براساس محاسبه هزار لیتر برای یک هکتار و نیاز محلول‌پاشی هر کرت آزمایشی با میانگین یک لیتر اعمال شد. بر اساس نتایج آزمون خاک مزرعه (جدول ۳)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم در هنگام کاشت و ۱۵۰

کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و به صورت سرک در مرحله ۷-۸ برگی به خاک اضافه شد. برای محاسبه مجموع واحدهای دریافت شده توسط گیاه از درجه روزهای رشد استفاده شد. دمای پایه برای رشد ارقام پنج درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (۲۳). درجه روز رشد با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$GDD = \Sigma \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right]$$

جدول ۳- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 3. The results of physical and chemical analysis of soil

عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dSm ⁻¹)	مواد آلی O.M (%)
0-30	لومی رسی Clay loam	0.044	12.6	174	7.7	2.46	0.55

در آغاز مرحله پرشدن دانه (مرحله ۸۱ بر اساس مقیاس BBCH)، هدایت روزنه‌ای برگ با استفاده از دستگاه پرومتر (Leaf Porometer model SC-1-USA) بین ساعت ۱۰ صبح تا ۱۳ ظهر بر روی آخرین برگ‌های توسعه یافته سه بوته اندازه‌گیری شد. شاخص کلروفیل نیز در آغاز مرحله پر شدن دانه، با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan) در پنج نقطه از برگ‌های برگ‌های توسعه یافته انتهایی سه بوته از وسط هر کرت آزمایشی انجام و میانگین مقادیر ثبت شد. نمونه برداری جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و گلووتاتیون ریداکتاز و همچنین غلظت مالون‌دی‌آلدهید در مرحله گلدهی کامل بر روی آخرین برگ‌های توسعه یافته انجام شد. فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش بیرز و سیزر (۱۹۸۱)، فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش ناکانو و آسادا (۲۰۰۳)، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش رانیری و همکاران (۱۹۹۷) و فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به روش جیانوپولیتیس و ریس

(۲۰۱۵)، و فعالیت گلووتاتیون ریداکتاز به روش نهار و همکاران (۲۰۰۱) سنجش شد (۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸). غلظت پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش پراکسید هیدروژن با یدور پتاسیم (KI) و به روش الکسیوا و همکاران (۱۹۶۸) اندازه‌گیری شد (۲۹). غلظت غلظت مالون‌دی‌آلدهید نیز و به روش هیث و پاکر (۲۰۱۰) اندازه‌گیری شد (۳۰). برداشت در تاریخ کاشت به‌هنگام با میانگین دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد و بیشینه دمای ۳۴ درجه سانتی‌گراد در اوایل اردیبهشت ماه (۱۰ اردیبهشت) و در تاریخ کاشت دیر هنگام با میانگین دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد و با بیشینه دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد در ۲۲ اردیبهشت‌ماه انجام شد. تفاوت زمانی برداشت دو تاریخ کاشت ۱۲ روز بود. در زمان رسیدگی کامل دانه‌ها و رسیدن رطوبت دانه به حدود ۱۰ درصد (اوایل و اواخر اردیبهشت ماه)، نمونه برداری عملکرد دانه و زیست‌توده با رعایت اثر حاشیه از مساحت یک متر مربع در هر واحد آزمایشی انجام و محاسبه شد. محتوای روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله (FOSS, Model SOCCET 2050)

اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل‌ضرب عملکرد دانه و محتوای روغن محاسبه شد. تجزیه و تحلیل داده‌های صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۴- درجه روز رشد مراحل نموی ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت

Table 4. Growth degree days (GDD) of developmental stages in canola cultivars under different sowing dates

[illegible]

نتایج و بحث

هدایت روزنه‌ای: بین اثر اصلی تاریخ کاشت، هورمون، و تمامی برهم‌کنش‌ها از نظر هدایت روزنه‌ای تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). کاشت به‌هنگام بیش‌ترین و کاشت دیر هنگام کم‌ترین میزان هدایت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند، به طوری که میزان هدایت روزنه‌ای در ارقام هیولا ۴۸۱۵، آگامکس، هیولا ۵۰ و تراپر در کشت دیر هنگام تحت شرایط عدم محلول‌پاشی، به ترتیب به میزان ۹، ۵۴، ۳۷ و ۲۷ درصد کاهش یافت (جدول ۶). در شرایط تنش گرما، گیاهان از طریق بستن نسبی روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌توانند تلفات آب را کاهش دهند. در شرایط تنش، یکی از شاخص‌هایی که شواهد کافی را برای بررسی تفاوت‌های ژنوتیپی گیاهان فراهم می‌کند، هدایت روزنه‌ای می‌باشد (۳۱). به عبارتی تنش دمای بالا سبب بسته شدن نسبی روزنه‌ها جهت حفظ آب درون روزنه‌ها، کاهش تعرق

و تلفات آب گیاه می‌شود (۳۲). در آزمایش حاضر ارقام نسبت به اثرات تنش گرما بر هدایت روزنه‌ای، واکنش متفاوتی را از خود نشان دادند. در حقیقت افزایش دما، رنگدانه‌های فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد (۳۳). کاربرد اسید سالیسیلیک سبب افزایش هدایت روزنه‌ای در هر دو تاریخ کاشت به‌هنگام و دیر هنگام شد، به طوری که در کشت به هنگام محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب سبب افزایش ۱۸، ۳، ۵۳ و ۳۸ درصدی و در کشت دیر هنگام منجر به افزایش ۲۷، ۲۷ و ۳۴ درصدی هدایت روزنه‌ای به ترتیب در ارقام آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر شد، درحالی که رقم هایولا ۴۸۱۵ کاهش ۱۷ درصدی را از خود نشان داد، که می‌توان آن را به واکنش مختلف ارقام نسبت به محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ربط داد (جدول ۵).

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی صفات ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی هورمون اسید سالیسیلیک

Table 6- Mean comparison for some traits of canola cultivars under different sowing dates and foliar application of salycilic acid hormone

تیمارها Treatments			هدایت روزنه‌ای (مول بر متر مربع بر ثانیه)	شاخص کلروفیل (عدد اسپد)	فعالیت پراکسیداز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	فعالیت سوپراکسید دیسموتاز (واحد بر میلی گرم پروتئین)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم بر هکتار)
تاریخ کاشت Sowing date	رقم cultivar	هورمون Hormone	Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	Chlorophyll index (SPAD value)	Peroxidase activity (u mg ⁻¹ protein)	Superoxide dismutase activity (u mg ⁻¹ protein)	Seed yield (kg ha ⁻¹)	Oil yield (kg ha ⁻¹)
کاشت به هنگام Normal sowing date	هایولا ۴۸۱۵	0	275 d*	33.1 de	0.044 h	20 fg	2258 e-g	789 ef
	(Hyola 4815)	200	327 bc	34.5 cd	0.051 gh	24.2 f	2693 cd	1023 bc
	آگامکس	0	329 bc	37.1 ab	0.058 ef	21 fg	2876 bc	998 cd
	(Agamax)	200	339 b	38.6 a	0.068 cd	23.3 fg	3148 ab	1282 a
	هایولا ۵۰	0	259 d	36.2 bc	0.047 h	18.2 g	2336 ef	854 de
	(Hyola50)	200	397 a	38.3 ab	0.06 ef	19.3 fg	3303 a	1288 a
	تراپر	0	265 d	39 a	0.057 gf	23.7 fg	2516 de	890 c-e
(Trapper)	200	362 ab	37.9 ab	0.055 gf	25 ef	3178 ab	1187 ab	
کاشت دیر هنگام Late sowing	هایولا ۴۸۱۵	0	251 de	32.3 d-f	0.064 de	39 bc	1989 g-i	669 fg
	(Hyola 4815)	200	209 ef	29.6 g	0.060 ef	39.9 bc	1782 ijk	590 gh
	آگامکس	0	151 g	30.6 fg	0.082 b	34.8 cd	1570 k	480 h
	(Agamax)	200	192 fg	32 e-g	0.095 a	31.2 de	2336 ef	834 e
	هایولا ۵۰	0	162 fg	34 c-e	0.068 cd	34.7 cd	1681 jk	575 gh
	(Hyola50)	200	206 ef	37.3 ab	0.071 c	47.4 a	2155 f-h	811 ef
	تراپر	0	194 fg	33 def	0.061 d-f	40.9 b	1881H-J	615 gh
(Trapper)	200	285 cd	34.3 cd	0.074 c	41.4 b	2637 cd	921 c-e	

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

غلظت پراکسید هیدروژن ($r = -0.49^*$) در تاریخ کاشت دیر هنگام داشت، که می‌تواند حاکی از نقش تبادلات گازی در ایجاد واکنش سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی گیاهان، در شرایط تنش باشد (جدول ۸).

اسید سالیسیلیک سرعت فتوسنتز را از طریق تعدیل فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش هدایت روزنه‌ای کنترل می‌کند، در نتیجه منجر به کاهش اثرات تنش می‌گردد (۳۴). هدایت روزنه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌داری با فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری با ($r = 0.48^*$)

جدول ۵- میانگین مبرعات عملکرد دانه، ویژگی‌های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم اکسیدانی ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول‌پاشی هورمون
Table 5. Mean square for seed yield, photosynthetic characteristics, and antioxidant activity of canola cultivars under different sowing dates and foliar application of hormone

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	فعالیت کاتالاز Catalase activity	فعالیت پراکسیداز Peroxidase activity	فعالیت آسکوربات Ascorbate peroxidase activity	فعالیت سوپراکسیداز Superoxide dismutase activity	فعالیت گلوٲیون Glutathione reductase	هیدروژن پروکسید Hydrogen peroxide	غلظت مالون دی‌آلدهید Malondialdehyde concentration	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	524 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.000006 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	51.3*	0.0002**	0.00001 ^{ns}	0.004**	35535 ^{ns}	22340 ^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date (A)	1	149477*	184*	0.0004*	0.003**	0.06**	3325**	0.003*	0.02**	0.05**	7234804**	1456199**
خطای a	2	2955	9.1	0.000008	0.000006	0.00009	10.7	0.00003	0.00001	0.00009	41543	3691
رقم Ea	3	1298 ^{ns}	40.2**	0.0004**	0.0009**	0.003**	53.9*	0.00007 ^{ns}	0.0004**	0.01**	309489**	48830**
تاریخ کاشت × رقم Cultivar (B)	3	6579**	14.1**	0.00003*	0.0001**	0.0003 ^{ns}	65.4**	0.00004 ^{ns}	0.0003**	0.008**	162449**	8055*
هورمون Hormone (C)	1	34051**	9.7*	0.0002**	0.0005**	0.001*	68.2*	0.00007 ^{ns}	0.00008 ^{ns}	0.02**	3125251**	782842**
تاریخ کاشت × هورمون A × C	1	4911*	0.08 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.000002 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.006**	54741 ^{ns}	34263**
رقم × هورمون B × C	3	6148**	6.4*	0.00002 ^{ns}	0.00005*	0.0005 ^{ns}	31.8 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	237647**	8055**
تاریخ کاشت × رقم × هورمون A × B × C	3	3010*	5.6*	0.000005 ^{ns}	0.0001**	0.0005 ^{ns}	44.8*	0.000008 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	207619**	8055*
خطای b	27	872	2.5	0.000009	0.00001	0.0003	12.2	0.00002	0.00003	0.0006	30479	8055
ضریب تغییرات C.V (%)		11.3	4.1	10.5	6.7	13.5	11.4	17.8	16.8	9.9	7.3	10.5

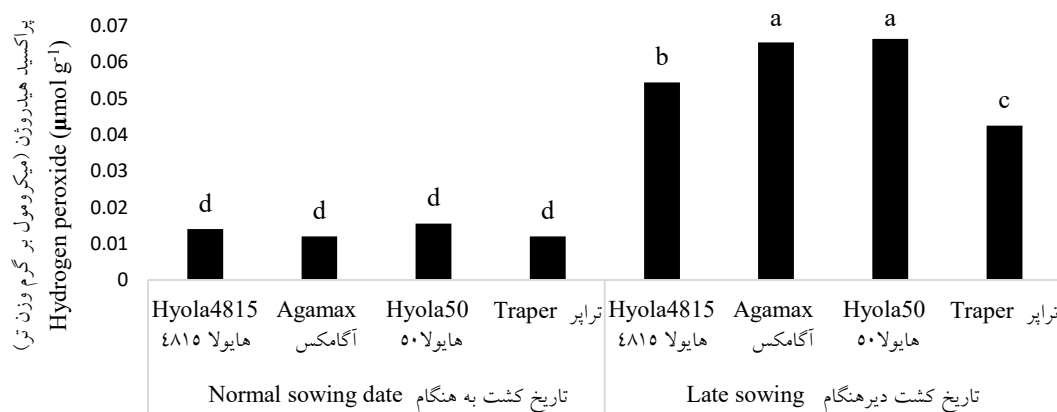
ns: not significant; *and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ns: غیرمعنی دار؛ * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد

شاخص کلروفیل: بین تمامی سطوح اثرات اصلی و برهم‌کنش بین آن‌ها، بجز برهم‌کنش بین تاریخ کاشت و هورمون، تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص کلروفیل وجود داشت (جدول ۵). در تاریخ کشت دیر هنگام، شاخص کلروفیل به‌طور متفاوتی در ارقام مورد نظر کاهش پیدا کرد، به طوری که ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در شرایط عدم کاربرد هورمون، به ترتیب کاهش ۲، ۱۷، ۶ و ۱۵ درصدی را نسبت به تاریخ کشت به‌هنگام از خود نشان دادند (جدول ۶). مقادیر مختلف شاخص کلروفیل در ارقام مختلف در هر دو تاریخ کشت را می‌توان به طول متفاوت دوره رشد و مقادیر مختلف شاخص سطح برگ ارقام نسبت داد، از طرفی کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش شدید دمای بالا، به دلیل پراکسیداسیون غشاهای تیلاکوئیدی و لیپیدهای کلروپلاست گزارش شده است (۳۵). کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی، به‌طور متفاوتی سبب افزایش شاخص کلروفیل ارقام در هر دو تاریخ کاشت شد.

غلظت پراکسید هیدروژن: بین سطوح اثر اصلی تاریخ کشت و رقم، همچنین برهم‌کنش تاریخ کشت و رقم تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت پراکسید هیدروژن مشاهده شد (جدول ۵). غلظت پراکسید هیدروژن در ارقام مختلف کلزا واکنش متفاوتی را نسبت به تاریخ کاشت‌های مختلف نشان داد، به‌طوری که در تاریخ کشت دیر هنگام غلظت پراکسید هیدروژن در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر به‌ترتیب با افزایش ۲۹۴، ۴۴۷، ۳۲۸ و ۲۸۴ درصدی نسبت به تاریخ کشت به‌هنگام، از غلظت ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۲، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۱۲ میکرومول بر گرم وزن تر به

غلظت ۰/۰۵۴، ۰/۰۶۵، ۰/۰۶۶ و ۰/۰۴۲ میکرومول بر گرم وزن تر رسید، با توجه به این نتایج، در تاریخ کشت دیر هنگام، این افزایش در رقم تراپر و هایولا ۴۸۱۵ نسبت به ارقام دیگر کمتر بود، در حالی که در تاریخ کشت به‌هنگام بین ارقام تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). پراکسید هیدروژن نقش دوگانه‌ای در گیاهان دارد، به‌گونه‌ای که در سطوح پایین به عنوان یک پیام برای تولید اتیلن و اسید سالیسیلیک عمل می‌کند و از این طریق منجر به تطابق بیشتر گیاه با شرایط تنش می‌شود (۳۶)، اما در سطوح بالا تخریب بافت و در نهایت مرگ گیاه را در پی دارد (۳۷)، در واقع پراکسید هیدروژن قادر است به‌عنوان یک عامل دفاعی در مقابل تنش‌های محیطی مانند گرما و تنش اکسیداتیو در نظر گرفته شود (۳۸)، همچنین گزارش شده است که پراکسید هیدروژن در تنظیم بیان ژن‌های متعلق به سیستم دفاعی گیاهان به‌طور مستقیم نقش دارد (۳۹)، از طرفی نتیجه تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و تجمع پراکسید هیدروژن در سلول می‌باشد (۴۰). گزارشات متعددی مبنی بر تولید و تجمع پراکسید هیدروژن در گیاهان تحت شرایط تنش دمای بالا وجود دارد، در این راستا افزایش معنی‌دار پراکسید هیدروژن ناشی از قرار گرفتن گیاه برنج در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد، توسط سایر محققان گزارش شده است (۴۱). بین غلظت پراکسید هیدروژن و غلظت مالون‌دی‌آلدهید ($r = 0.62^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۸)، که بیانگر نقش سطوح بالای پراکسید هیدروژن در ایجاد خسارت به غشاهای سلولی می‌باشد.



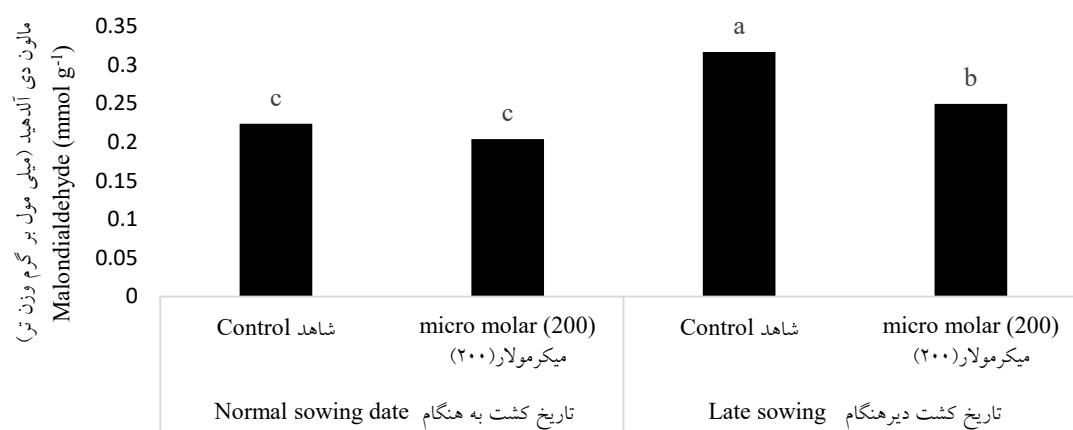
شکل ۲- برهم کنش تاریخ کشت × رقم بر غلظت پراکسید هیدروژن.

میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Figure 2. Interaction of sowing date × cultivar on hydrogen peroxide concentration. Means followed by the same letters using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

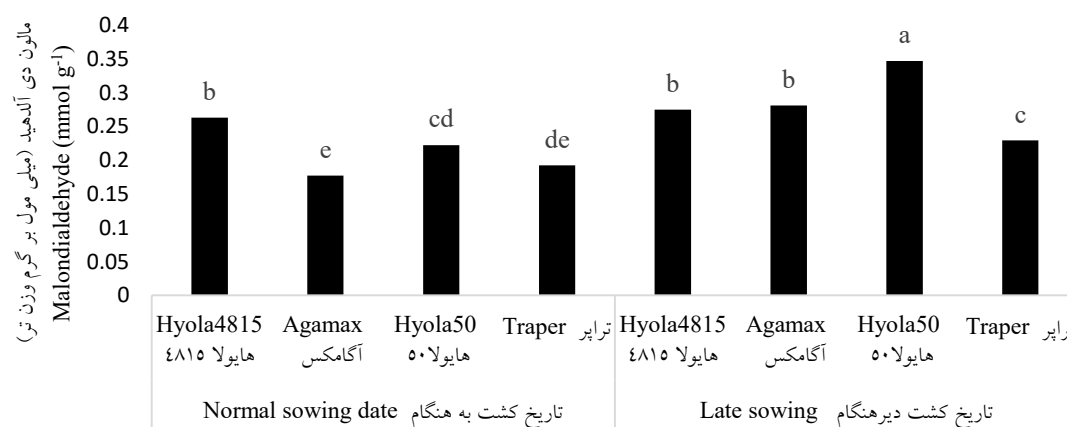
بر گرم وزن تر در تاریخ کشت دیر هنگام رسید (شکل ۴). مالون‌دی‌آلدهید محصول تولید شده از پراکسیداسیون لیپیدها می‌باشد، از طرفی در تاریخ کشت دیر هنگام وقوع میانگین دمای ۳۴-۴۲ درجه سانتی‌گراد در انتهای فروردین و ابتدای اردیبهشت‌ماه منجر به افزایش تنش اکسیداتیو ناشی از تنش گرما و پراکسیداسیون بیشتر لیپیدها در برگ گیاهان شد. محققان نیز در پژوهشی گزارش داده‌اند که، تنش دمایی سیالیت غشای سلول‌ها را کاهش و با پراکسیداسیون لیپیدهای غشا سبب تولید مالون‌دی‌آلدهید شده، همچنین به علت خسارت به یکپارچگی غشای سلولی میزان نشت یونی در برگ افزایش پیدا کرد (۴۲). در شرایط تنش اسید سالیسیلیک به عنوان یک محرک سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی عمل کرده، رادیکال‌های آزاد را خنثی و از اجزای غشای سلولی از جمله لیپیدها حفاظت می‌کند (۴۳)، بنابراین کاهش غلظت مالون‌دی‌آلدهید در اثر استفاده از اسید سالیسیلیک را می‌توان به اثر این هورمون در تنظیم سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از تنش گرمای انتهای فصل، و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپیدهای غشا نسبت داد.

غلظت مالون‌دی‌آلدهید: بین سطوح اثر اصلی تاریخ کشت، هورمون و رقم، همچنین برهم کنش تاریخ کشت × هورمون و تاریخ کشت × رقم تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت مالون‌دی‌آلدهید مشاهده شد (جدول ۵). تأخیر در کشت سبب افزایش ۳۳ درصدی غلظت مالون‌دی‌آلدهید نسبت به کاشت به هنگام شد، از طرفی کاربرد اسید سالیسیلیک در تاریخ کشت به هنگام منجر به کاهش ۱۰ درصدی و در کشت دیر هنگام سبب کاهش ۲۰ درصدی غلظت مالون‌دی‌آلدهید نسبت به عدم کاربرد آن شد، به طوری که بیشترین غلظت مالون دی آلدهید (۰/۳۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) متعلق به عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در تاریخ کشت دیر هنگام و کمترین آن (۰/۲۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر) متعلق به کاربرد اسید سالیسیلیک در تاریخ کشت به هنگام بود (شکل ۳). واکنش ارقام نسبت به تاریخ کشت متفاوت بود، به طوری که غلظت مالون‌دی‌آلدهید در تاریخ کشت دیر هنگام در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب با افزایش ۵، ۵۸، ۵۶ و ۲۴ درصدی نسبت به تاریخ کشت به هنگام، از غلظت ۰/۲۶، ۰/۱۷، ۰/۲۲ و ۰/۱۹ میلی‌مول بر گرم وزن تر به غلظت ۰/۲۷، ۰/۲۸، ۰/۳۴ و ۰/۲۲ میلی‌مول



شکل ۳- برهم کنش تاریخ کشت × هورمون بر غلظت مالوندی آلدئید. میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی دار نیستند.

Figure 3. Interaction of sowing date × hormone on malondialdehyde concentration. Means followed by the same letters using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.



شکل ۴- برهم کنش تاریخ کشت × رقم بر غلظت مالوندی آلدئید.

میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی دار نیستند.

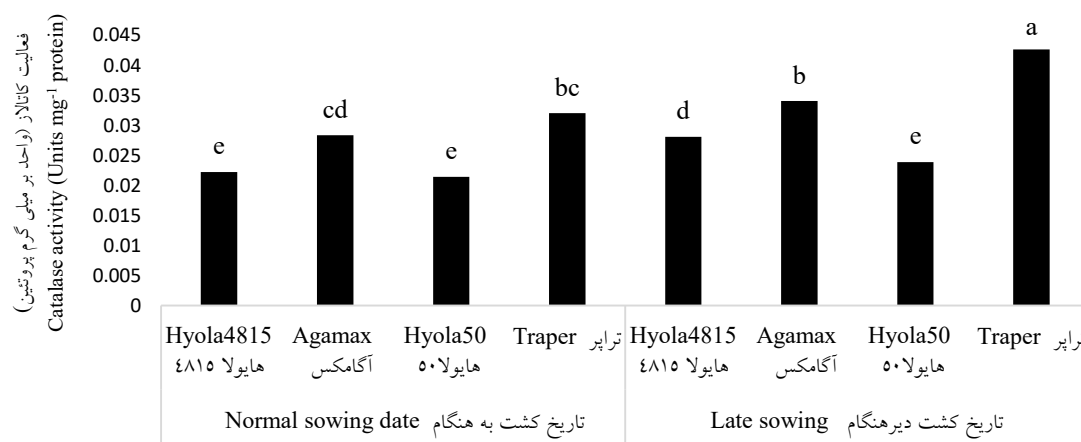
Figure 4. Interaction of sowing date × cultivar on malondialdehyde concentration. Means followed by the same letters using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

پروتئین) و رقم هایولا ۵۰ در کاشت به هنگام کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۰۲۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) را به خود اختصاص دادند (شکل ۵). از آنجایی که دمای بهینه برای رشد گیاه کلزا حدود ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد است، کشت دیر هنگام سبب برخورد دوره گلدهی در اسفندماه با دماهای بالای ۲۵ درجه سانتی گراد شد (شکل ۱). افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی یکی از روش‌های کاهش اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از تنش گرما در گیاهان است، آنزیم

فعالیت آنزیم کاتالاز: بین سطوح تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و برهم کنش بین تاریخ کشت و رقم از نظر فعالیت آنزیم کاتالاز تفاوت معنی داری مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تاریخ کاشت دیر هنگام و کمترین آن در کاشت به هنگام به دست آمد. به عبارتی تنش گرمای ناشی از کشت دیر هنگام منجر به افزایش ۲۵ درصدی فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با کاشت به هنگام شد. رقم تراپر در کاشت دیر هنگام، بیشترین (۰/۰۴۲ واحد بر میلی گرم

محیطی به عنوان یک مولکول پیام رسان مهم، فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی را به صورت مستقیم یا غیر مستقیم سازماندهی می‌کند، بنابراین منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و کاهش صدمات اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیر زیستی می‌گردد (۴۵). تیمار اسیدسالیسیلیک در غلظت مناسب، به عنوان یک فرآیند خوپذیری به تنش عمل می‌کند و منجر به افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و کاهش سطح پراکسید هیدروژن می‌شود (۴۶). آنزیم کاتالاز همبستگی منفی و معنی‌داری را با غلظت پراکسید هیدروژن ($r = -0.54^{**}$) و غلظت مالون‌دی‌آلدهید ($r = -0.74^{**}$) از خود نشان داد، که بر نقش این آنزیم در تجزیه پراکسید هیدروژن و حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، در نتیجه کاهش مالون‌دی‌آلدهید ناشی از پراکسیداسیون لیپیدها در طی تنش دلالت دارد (جدول ۸).

کاتالاز نیز یکی از آنتی اکسیدان‌های آنزیمی می‌باشد که سبب تجزیه پراکسید هیدروژن می‌گردد. کشت دیر هنگام باعث برخورد گیاه با تنش دماهای بالا می‌شود، که ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر را به دنبال دارد، در نتیجه گیاهان برای جلوگیری و کاهش اثرات منفی تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های محیطی و حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، مسیرهای آنتی اکسیدانی خود را فعال می‌کنند (۴۴). کاربرد اسیدسالیسیلیک در هر دو تاریخ کشت سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در ارقام مورد مطالعه شد، به طوری که در تاریخ کشت به هنگام در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب سبب افزایش ۲۸، ۲۹، ۱ و ۲۸ درصدی، و در تاریخ کشت دیر هنگام سبب افزایش ۲۰، ۶، ۷ و ۲۵ درصدی فعالیت این آنزیم نسبت به عدم کاربرد آن شد. در واقع اسید سالیسیلیک در شرایط تنش‌های



شکل ۵- برهم کنش تاریخ کشت × رقم بر فعالیت آنزیم کاتالاز.

میانگین‌های دارای حروف مشترک با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Figure 5. Interaction of sowing date × cultivar on catalase activity. Means followed by the same letters using LSD test at 5% probability level did not differ significantly

ارقام در کاشت دیر هنگام مشاهده شد. بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به رقم آگامکس و کمترین آن مربوط به رقم هایولا ۴۸۱۵ بود، همچنین غلظت ۲۰۰ میکرومولار اسیدسالیسیلیک منجر به افزایش ۱۲

فعالیت آنزیم پراکسیداز: بجز برهم کنش تاریخ کاشت × هورمون، تمام اثرات ساده و برهم کنش بین آن‌ها، تفاوت معنی‌داری از نظر فعالیت آنزیم پراکسیداز داشتند (جدول ۵). بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز

سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان باشد. از طرفی افزایش فعالیت این آنزیم در اثر کاربرد اسیدسالیسیلیک با غظت ۴۰۰ میلی‌مولار گزارش شده است (۴۸). آنزیم پراکسیداز همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه ($r = 0.40^*$) داشت، این امر بر نقش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی در کاهش خسارت ناشی از تنش اکسیداتیو ایجاد شده تحت شرایط تنش گرما دلالت دارد، که تا حدودی منجر به حفظ عملکرد در شرایط تنش می‌شود (جدول ۸).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز: بین سطوح کلیه اثرات اصلی تفاوت معنی‌داری از نظر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مشاهده شد (جدول ۵). تأخیر در کاشت منجر به افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (۷۶ درصد) نسبت به کشت به‌هنگام شد و فعالیت این آنزیم را از ۰/۱۰۲ به ۰/۱۷۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین تغییر داد. سه رقم تراپر، هایولا ۵۰ و آگامکس (به ترتیب با ۰/۱۵۳، ۰/۱۵۰ و ۰/۱۴۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) برتری معنی‌داری نسبت به رقم هایولا ۴۸۱۵ (با ۰/۱۱۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) داشتند. ارقام متحمل نسبت به تنش‌های محیطی، معمولاً از فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی بیشتری برخوردارند. از طرفی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را به میزان ۱۲ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش و فعالیت آن را از ۰/۱۳۴ به ۰/۱۴۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین تغییر داد (جدول ۷). فعالیت این آنزیم با پیدایش آسیب‌های فیزیولوژیک ناشی از تنش‌های دمایی در ارتباط می‌باشد، به طوری که در بافت‌های تحت تنش همراه با سطوح بالای گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر، کاهش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز می‌تواند سبب ایجاد خسارت در گیاه شود (۴۹). آنزیم آسکوربات پراکسیداز از آسکوربات به عنوان دهنده الکترون درون سلول استفاده می‌کند و از این طریق

درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد. به طور کلی محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی رقم آگامکس در کشت دیر هنگام با میانگین ۰/۰۹۵ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بیشترین و عدم کاربرد اسید سالیسیلیک بر روی ارقام هایولا ۴۸۱۵ و هایولا ۵۰ در کاشت به‌هنگام به ترتیب با میانگین ۰/۰۴۴ و ۰/۰۴۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را به خود اختصاص دادند. با توجه به مواجه شدن گیاهان با میانگین دمای ۳۱ درجه سانتی‌گراد در فروردین‌ماه، تنش دمای بالا ناشی از کشت تأخیری در شرایط عدم کاربرد هورمون، باعث افزایش ۴۵، ۴۱، ۴۵ و ۸ درصدی فعالیت آنزیم پراکسیداز، به ترتیب در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر شد (جدول ۶). در ارقام متحمل به تنش دماهای بالا، آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در پاکسازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر نقش دارند، که سبب جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدها می‌شوند، به عبارتی در ارقام متحمل به تنش گرما، فعالیت زیاد سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک راهکار مهم فیزیولوژیک برای کاهش خسارت تنش گرما شناخته شده است، اگرچه واکنش گیاه با توجه به مرحله رشدی گیاه، شدت تنش و ژنتیک گیاه متفاوت است (۴۷). در هر دو تاریخ کاشت محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر بهبود فعالیت آنزیم پراکسیداز در ارقام کلزا داشت، به طوری‌که آنزیم پراکسیداز در ارقام آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در شرایط تنش گرمایی ناشی از کشت دیر هنگام با کاربرد ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک به ترتیب ۱۶، ۵ و ۲۸ درصد نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت در حالی‌که در رقم هایولا ۴۸۱۵ سبب کاهش ۶ درصدی فعالیت این آنزیم شد (جدول ۶). افزایش فعالیت این آنزیم در اثر کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند ناشی از نقش این هورمون در القای فعالیت‌های مربوط به

گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر پراکسید هیدروژن را تجزیه و سطح آن درون سلول را کاهش می‌دهد (۵۰). تنش اکسیداتیو به دنبال تنش‌های دمایی در گیاهان ایجاد می‌شود، بنابراین بیان ژن‌های مربوط به آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی نظیر آسکوربات پراکسیداز در سلول افزایش می‌یابد. کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش دمایی بالا افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را به دنبال داشت (۵۱). در حقیقت اسید سالیسیلیک از طریق تجمع موقتی آب‌سبزیک‌اسید فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی در سلول را کنترل می‌کند (۵۲). بین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با آنزیم گلوکاتایون ریداکتاز ($r = 0.509^*$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد، که بر نقش این دو آنزیم در چرخه گلوکاتایون آسکوربات، تحت تنش‌های اکسیداتیو تأکید دارد (جدول ۸).

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی از صفات ارقام کلزا در تاریخ‌های مختلف کاشت و محلول پاشی هورمون اسید سالیسیلیک
Table 7. Mean comparison for some traits of canola cultivars under different sowing dates and foliar applications of salicylic acid hormone

تیمارها Treatments	محتوای روغن (%) Oil percentage (%)	فعالیت کاتالاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Catalase activity (u mg ⁻¹ Protein)	فعالیت آسکوربات پراکسیداز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Ascorbate peroxidase activity (u mg ⁻¹ Protein)	فعالیت گلوکاتایون ریداکتاز (واحد بر میلی‌گرم پروتئین) Glutathione reductase activity (u mg ⁻¹ Protein)
تاریخ کاشت sowing date				
کاشت به هنگام Normal sowing date	37 a	0.025 b	0.102 b	0.021 b
کاشت دیر هنگام Late sowing date	34.1 b	0.032 a	0.177 a	0.038 a
هورمون Hormone				
۰	34.1 b	0.026 b	0.134 b	0.028 b
۲۰۰ میکرومولار 200 µm	36.9 a	0.031 a	0.149 a	0.032 a
رقم cultivar				
هایولا ۴۸۱۵ Hyola 4815	34.9 b	0.025 c	0.113 b	0.028 b
آگامکس Agamax	35.4 ab	0.031 b	0.149 a	0.030 b
هایولا ۵۰ Hyola50	36.9 a	0.022 c	0.150 a	0.028 b
تراپر Trapper	34.8 b	0.038 a	0.153 a	0.035 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means followed by the same letters for each trait in each column and each experimental factor using LSD test at 5% probability level did not differ significantly.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در کاشت دیرهنگام

ردیف Row	Traits	صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Stomatal conductance	هدایت روزنه‌ای	1										
2	Chlorophyll index	شاخص کلروفیل	0.05 ^{ns}	1									
3	Catalase activity	فعالیت کاتالاز	0.29 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	1								
4	Peroxidase activity	فعالیت پراکسیداز	-0.13 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.28 ^{ns}	1							
5	Ascorbate peroxidase	فعالیت آسکوربات پراکسیداز	0.07 ^{ns}	0.46*	0.41*	0.61**	1						
6	Superoxide dismutase activity	فعالیت سوبراکسید دیسموتاز	0.48*	0.43*	0.21 ^{ns}	-0.40*	0.16 ^{ns}	1					
7	Glutathione reductase	فعالیت گلو تاتیون ریداکتاز	0.37 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.57**	0.15 ^{ns}	0.50*	0.40*	1				
8	Hydrogen peroxide	غلظت پراکسید هیدروژن	-0.49*	0.07 ^{ns}	-0.54**	0.41*	0.14 ^{ns}	-0.54**	-0.37 ^{ns}	1			
9	Malondialdehyde	غلظت مالون دی آلدهید	-0.38 ^{ns}	0.29 ^{ns}	-0.74**	-0.12 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.30 ^{ns}	-0.35 ^{ns}	0.62**	1		
10	Seed yield	عملکرد دانه	-0.02 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.40*	0.38 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.09 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.21 ^{ns}	1	
11	Oil yield	عملکرد روغن	-0.03 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.33 ^{ns}	0.31 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.96**	1

ns: غیرمعنی دار، * و **: معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns: not significant; * and ** significant at 5% and 1% probability levels, respectively

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: بین اثر تاریخ کاشت، رقم و هورمون، همچنین برهم‌کنش دو جانبه تاریخ کشت × رقم و برهم‌کنش سه جانبه تاریخ کشت × رقم × هورمون از نظر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). تنش دمای بالا ناشی از کشت دیر هنگام سبب افزایش ۷۹ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به کاشت به هنگام شد. رقم هایولا ۵۰ در کاشت دیر هنگام با محلول پاشی ۲۰۰ میکرومولار، بیشترین فعالیت این آنزیم را (۴/۷ واحد بر میلی گرم پروتئین) به دست آورد، در حالی که همین رقم بدون محلول پاشی در تاریخ کشت به هنگام کمترین میزان فعالیت را (۲/۱۸ واحد بر میلی گرم پروتئین) به خود اختصاص داد. ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در واکنش به تأخیر در کشت به ترتیب افزایش ۷۹، ۴۹، ۱۱۸ و ۷۶ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نسبت به کشت به هنگام از خود نشان دادند (جدول ۶). مشخص شده که مقادیر تولید گونه‌های اکسیژن واکنش گر به ویژه رادیکال آزاد سوپراکسید در کلروپلاست سلول تحت شرایط تنش دمای بالا افزایش می‌یابد (۵۳). در شرایط تنش، آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، رادیکال سوپراکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی تبدیل می‌کند و از این طریق از سلول‌ها در مقابل تنش اکسیداتیو حفاظت می‌کند. در نتیجه هنگامی که رادیکال سوپر اکسید در سلول افزایش می‌یابد، به دنبال آن فعالیت سوپراکسید دیسموتاز نیز بیشتر می‌شود، که این امر می‌تواند یک سازوکار دفاعی در مقابل تنش اکسیداتیو محسوب شود (۵۳). افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی، تحمل به تنش‌های دمایی در گیاهان را افزایش می‌دهد (۵۴). محلول پاشی اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در تمام ارقام داشت، به طوری که کاربرد آن بر روی ارقام

هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در تاریخ کشت به هنگام به ترتیب سبب افزایش ۲۱، ۱۱، ۶ و ۸ درصدی، همچنین در تاریخ کشت دیر هنگام در هایولا ۴۸۱۵، هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب سبب افزایش ۳، ۳۶ و ۱۳ درصدی فعالیت این آنزیم نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۶). در واقع اسید سالیسیلیک به عنوان یک محرک مسیر سازوکار آنزیمی آنتی‌اکسیدانی عمل می‌کند، و مقدار فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز را افزایش می‌دهد (۵۵).

فعالیت آنزیم گلوکاتایون ریداکتاز: بجز اثر تاریخ کاشت سایر اثرات اصلی و برهم‌کنش بین آن‌ها از نظر فعالیت آنزیم گلوکاتایون ریداکتاز تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). تنش گرما انتهای فصل ناشی از تأخیر در کشت با افزایش ۸۰ درصدی فعالیت آنزیم گلوکاتایون ریداکتاز نسبت به تاریخ کشت به هنگام شد و فعالیت آن را از ۰/۲۱ به ۰/۳۸ واحد بر میلی گرم پروتئین تغییر داد، ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در کشت دیر هنگام به ترتیب با افزایش ۴۹، ۷۳، ۱۰۱ و ۱۰۱ درصدی فعالیت آنزیم گلوکاتایون ریداکتاز نسبت به تاریخ کشت به هنگام مواجه شدند، میزان این افزایش در رقم هایولا ۴۸۱۵ نسبت به سایر ارقام کمتر بود (جدول ۷).

تنش‌های غیرزیستی مانند تنش دمای بالا با تولید گونه‌های اکسیژن واکنش گر خسارت شدیدی را به غشاهای سلولی، پروتئین‌ها، آنزیم‌های سلولی و اندامک‌های سلولی وارد می‌کنند، در واکنش به تنش اکسیداتیو، مسیرهای پیام‌رسانی، که به وجود برخی از مولکول‌های گونه‌های اکسیژن واکنش گر مانند پراکسید هیدروژن در سطوح پایین وابسته هستند ایجاد می‌شوند. سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی در سلول، از مولکول‌های پیام‌رسانی که دمای بالا را درک و سازوکارهای دفاعی را ایجاد می‌کنند،

آغاز می‌شود (۵۶). چرخه گلو تاتیون آسکوربات در ایجاد سیستم دفاعی در مقابل تنش اکسیداتیو نقش مهمی دارد، بنابراین افزایش فعالیت آنزیم‌های این چرخه تحت شرایط تنش منجر به کاهش اثرات تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌گردد (۵۷). آنزیم گلو تاتیون ریداکتاز، یکی از آنزیم‌های مسیر گلو تاتیون آسکوربات است که از NADPH به عنوان دهنده الکترون برای احیای گلو تاتیون استفاده می‌کند و در احیای پراکسید هیدروژن به آب از طریق چرخه هالول-آسادا نقش مهمی دارد (۵۸). این امر افزایش فعالیت آنزیم گلو تاتیون ریداکتاز را تحت تنش گرما، به عنوان یکی از آنزیم‌های چرخه گلو تاتیون آسکوربات تأیید می‌کند.

عملکرد دانه: بین سطوح تمام اثرهای اصلی و برهم‌کنش بین آن‌ها بجز برهم‌کنش تاریخ کاشت و هورمون، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). به طوری که محلول‌پاشی هورمون در رقم هایولا ۵۰ در تاریخ کشت به هنگام با میانگین ۳۳۰۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین و عدم محلول‌پاشی در رقم آگامکس در تاریخ کشت دیر هنگام با میانگین ۱۵۷۰ کیلوگرم در هکتار کمترین میزان عملکرد دانه را به دست آوردند (جدول ۶). واکنش ارقام نسبت به کاهش عملکرد در هر دو تاریخ کشت متفاوت بود، به طوری که در تاریخ کاشت به هنگام برخورد مرحله پر شدن دانه با میانگین دمای ۲۶-۳۴ درجه سانتی‌گراد در اسفند و فروردین‌ماه و در کشت دیر هنگام با میانگین دمای ۳۲-۳۸ درجه سانتی‌گراد در انتهای فروردین و ابتدای اردیبهشت‌ماه، تنش دمای بالا ناشی از کشت تأخیری در ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر به ترتیب باعث کاهش ۱۲، ۴۵، ۲۹ و ۲۴ درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۶). در نتیجه به ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت مقدار کاهش عملکرد دانه برای ارقام به ترتیب معادل ۰/۴، ۱/۵، ۰/۹۷ و ۰/۸۰

درصد بود. از طرفی ارقام مورد مطالعه در تاریخ کاشت به هنگام مجموع واحدهای حرارتی کمتری را نسبت به تاریخ کاشت دیر هنگام دریافت کردند، در کاشت دیر هنگام علاوه بر تأخیر در کاشت و کوتاه شدن طول دوره رشد به مدت ۸ روز، عملکرد دانه به طور چشمگیری تحت تأثیر دماهای بالا در انتهای فصل قرار گرفت (جدول ۴). تأخیر در کاشت، افزایش دما و کاهش طول دوره رشد سبب برخورد دوره گرده‌افشانی کلزا و پر شدن دانه با دماهای بالا در ابتدای فروردین تا ابتدای اردیبهشت‌ماه شد، که کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه را به دنبال داشت. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج سایر محققان روی گیاه گلرنگ (۵۹) و آفتابگردان (۶۰). هم‌خوانی داشت. تنش دمای بالا از طریق اثر بر سرعت رشد (۵۹، ۶۱) و صفات فتوسنتزی (۶۱)، بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان تأثیر می‌گذارد. نتایج این مطالعه نیز حاکی از اثر قابل توجه دماهای بالا بر نمو بذر و طول دوره پر شدن دانه می‌باشد. همچنین عملکرد بالاتر هر چهار رقم کلزا در تاریخ کاشت به هنگام را می‌توان به میزان بیشتر دسترسی به آب در کل دوره رشد محصول (۲۲۲ میلی‌متر) (جدول ۳) و زمان گلدهی زودتر و طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه (داده‌ها نشان داده نشده است) در مقایسه با تاریخ کاشت دیر هنگام نسبت داد، که باعث افزایش تنش گرما در مراحل گلدهی و پر شدن دانه شد.

کاربرد اسید سالیسیلیک روی ارقام در هر دو تاریخ کاشت بر بهبود عملکرد دانه تأثیر داشت، به گونه‌ای که در کشت دیر هنگام ارقام آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر در واکنش به کاربرد اسید سالیسیلیک به ترتیب افزایش ۵۲، ۳۳ و ۳۴ درصدی را نسبت به عدم کاربرد آن نشان دادند، در حالی که در رقم هایولا ۴۸۱۵ کاهش ۱۰ درصدی را از خود نشان داد (جدول ۶). کاربرد اسید سالیسیلیک در کشت تأخیری تاحدودی می‌تواند

کاهش عملکرد دانه را جبران کند، البته این مسئله به غلظت هورمون و ژنوتیپ گیاهان وابسته است. افزایش عملکرد دانه ناشی از کاربرد اسید سالیسیلیک ممکن است به دلیل افزایش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌های گیاه به بخش‌های زایشی باشد، اسیدسالیسیلیک از طریق انتقال بیشتر مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن بهبود رشد و افزایش عملکرد را به دنبال دارد (۶۲). عملکرد دانه و درصد روغن، اجزای تعیین کننده عملکرد روغن هستند، بنابراین وجود همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد دانه با عملکرد روغن ($r^{**}=0/969$)، را می توان به وابستگی عملکرد روغن به عملکرد دانه نسبت داد (جدول ۸).

عملکرد روغن: نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس عملکرد روغن حاکی از وجود تفاوت معنی دار بین سطوح تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و تمامی برهم کنش‌ها بود (جدول ۵). ارقام در تاریخ کاشت به هنگام بیشترین میزان عملکرد روغن را به دست آوردند، به دلیل کوتاه شدن طول دوره رشد و پر شدن دانه در کشت تأخیری، در نتیجه کاهش عملکرد دانه، همچنین فراهم نشدن فرصت کافی جهت سنتز و انباشت روغن در دانه، عملکرد روغن کاهش ۳۴ درصدی را نسبت به تاریخ کشت به هنگام از خود نشان داد. رقم آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر بیشترین و رقم هایولا ۴۸۱۵ کمترین میزان عملکرد روغن را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). واکنش متفاوت ارقام از نظر عملکرد روغن نسبت به تنش دماهای بالا ناشی از کشت تأخیری در مطالعات گذشته نیز گزارش شده است (۵۹، ۶۰). در کشت دیر هنگام ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر با کاهش ۳۰، ۲۹ و ۳۵ درصدی عملکرد روغن نسبت به تاریخ کاشت به هنگام مواجه شدند (جدول ۶). محققان کاهش عملکرد روغن را تحت تأثیر تاریخ کاشت در گیاه گلرنگ (۵۹) و آفتابگردان (۶۰) گزارش

کرده‌اند. در آزمایش حاضر کاربرد هورمون اسید سالیسیلیک عملکرد روغن را به طور معنی داری افزایش داد، به گونه ای که رقم هایولا ۵۰ و آگامکس همراه با محلول پاشی در تاریخ کشت به هنگام بالاترین میزان عملکرد روغن را با میانگین ۱۲۸۸ و ۱۲۸۲ کیلوگرم در هکتار و رقم آگامکس بدون محلول پاشی در تاریخ کشت دیر هنگام کمترین میزان عملکرد روغن را با میانگین ۴۸۰ کیلوگرم در هکتار به دست آوردند (جدول ۶). در واقع عملکرد روغن تحت تأثیر عملکرد دانه و درصد روغن است. در نتیجه علاوه بر اهمیت عوامل ژنتیکی، هرچه طول دوره پرشدن دانه بیشتر باشد فرصت بیشتری برای سنتز روغن ایجاد می شود، بنابراین عملکرد روغن افزایش می یابد (۶۳). محلول پاشی اسیدسالیسیلیک بر روی ارقام هایولا ۴۸۱۵، آگامکس، هایولا ۵۰ و تراپر عملکرد روغن را به میزان به ترتیب ۹، ۵۱، ۴۶ و ۳۴ درصد نسبت به عدم محلول پاشی افزایش داد (جدول ۵). افزایش عملکرد روغن می تواند ناشی از افزایش عملکرد دانه در نتیجه کاربرد این هورمون باشد. بنابراین عملکرد بالای روغن در هایولا ۵۰ را می توان به توان بالای این رقم در عملکرد دانه ربط داد. هورمون اسیدسالیسیلیک عملکرد دانه و روغن را از طریق افزایش فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی، محتوای کلروفیل، محتوای آب و یکپارچگی غشاها افزایش می دهد (۶۴).

نتیجه گیری

براساس یافته های این پژوهش تنش گرمای انتهای فصل ناشی از تأخیر در کشت، بر فعالیت آنتی اکسیدان های آنزیمی، هدایت روزنه ای، شاخص کلروفیل و عملکرد ارقام کلزا اثرات نامطلوبی داشت. در کشت دیر هنگام به دلیل مواجه شدن دوره زایشی و پرشدن دانه گیاهان با دماهای بالا، شاخص کلروفیل، هدایت روزنه ای، عملکرد دانه و روغن کاهش پیدا

دیر هنگام حفظ کنند. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که رقم آگامکس و تراپر جهت کشت در هر دو تاریخ کاشت در منطقه اهواز و مناطق مشابه آن قابل توصیه باشند. به طور کلی کاربرد اسیدسالیسیلیک تا حدودی قادر به برطرف کردن اثرات منفی ناشی از تنش گرمای انتهای فصل بر صفات عملکردی ارقام کلزا شد، در نتیجه سبب بهبود عملکرد دانه و روغن شد.

سپاسگزاری

به این وسیله نویسندگان از حمایت‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به شماره پژوهانه SCU.AA402.96 کمال قدردانی را دارند.

کرد. در مقابل، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گلوکاتیون ریداکتاز، همچنین غلظت پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدهید در واکنش به تنش گرما آخر فصل افزایش یافت. پاسخ ارقام نیز به تنش گرمای آخر فصل متفاوت بود، به گونه‌ای که با توجه به انطباق گیاهان با شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه، ارقام آگامکس و تراپر با شاخص تحمل به تنش متوسط (جدول ۱) توان تولید بالاتری را در مقایسه با ارقام دیگر داشتند. کاربرد غلظت ۲۰۰ میکرومولار اسید سالیسیلیک در کشت دیر هنگام بهبود تمام صفات مورد بررسی را به دنبال داشت. با توجه به نتایج، ارقام آگامکس و تراپر توانستند تا حد زیادی عملکرد بالایی خود را تحت شرایط تنش گرمای ناشی از کشت

References

1. Annual report. 2023. Annual harvested area, production, and yield in 2022-2023. Ministry of Agriculture Jihad. Iran
2. Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84–87.
3. Rahnema, 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.
4. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M.M., & Fujita, M. (2013). Exogenous nitric oxide alleviates high temperature induced oxidative stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings by modulating the antioxidant defense and glyoxalase system. *Australian Journal of Crop Science*, 6, 1314-1323.
5. Driedonks, N., Rieu, I., & Vriezen, W.H. (2016). Breeding for plant heat tolerance at vegetative and reproductive stages. *Plant Reproduction*, 29(1-2), 67-79.
6. Basu, P.S., Kumar Chaturvedi, S., Mall Gaur, P., Mondal, B., Kumar Meena, S., Das, K., Kumar, V., Tewari, K., & Sharma, K. (2022). Physiological mechanisms of tolerance to drought and heat in major pulses for improving yield under stress environments. IntechOpen. In book: Plant Response Mechanisms to Abiotic Stresses.
7. Santos, T.B., dos, Ribas, A.F., Souza, S.G. H. de, Budzinski, I.G.F., & Domingues, D.S. (2022). Physiological responses to drought, salinity, and heat stress in plants: a review. *Stresses*, 2, 113-135.
8. Singh, B., & Usha, K. (2003) Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39, 137-141.
9. Miura, K., & Tada, Y. (2014). Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. *Frontiers in Plant Science*, 23(5), 4.
10. Koo, Y.M., Heo, A.Y., & Choi, H.W. (2020). Salicylic acid as a safe plant protector and growth regulator. *The Plant Pathology Journal*, 36(1), 1-10.

11. Sangwan, S., Shameem, N., Yashveer, S., Tanwar, H., Parray, J.A., Jatav, H.S., Sharma, S., Punia, H., Sayyed, R.Z., Almalki, W.H., & Poczei, P. (2022). Role of Salicylic Acid in Combating Heat Stress in Plants: Insights into Modulation of Vital Processes. *Front Biosci (Landmark Ed)*, 27(11):310.
12. Clarke, S.M., Cristescu, S.M., Miersch, O., Harren, F.J.M., Wasternack, C., & Mur, L.A.J. (2009). Jasmonates act with salicylic acid to confer basal thermotolerance in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist*, 182(1), 175-187.
13. Wong, W.S., Tan, S.N., Ge, L., Chen, X., & Yong, J.W.H. (2015). The importance of phytohormones and microbes in biofertilizers: a critical review. In: Maheshwari DK, editor. *Bacterial Metabolites in sustainable Agroecosystem*. Switzerland: Springer International, p. 58-105.
14. Boamah, S., Ojangba, T., Zhang, S., Zhu, N., Osei, R., John Tiika, R., & Xu, B. (2023). Evaluation of salicylic acid (SA) signaling pathways and molecular markers in *Trichoderma*-treated plants under salinity and *Fusarium* stresses. A Review. *European Journal of Plant Pathology*, 166(3), 74-259.
15. EL Sabagh, A., Islam, M.S., Hossain, A., Iqbal, M.A., Mubeen, M., Waleed, M., Reginato, M., Battaglia, M., Ahmed, S., Rehman, A., Arif, M., Athar, H-U-R., Ratnasekera, D., Danish, S., Raza, M.A., Rajendran, K., Mushtaq, M., Skalicky, M., Brestic, M., Soufan, W., Fahad, S., Pandey, S., Kamran, M., Datta, R., & Abdelhamid, M.T. (2023). Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. *Frontiers in Agronomy*, 4, 765068.
16. Wassie, M., Zhang, W., Zhang, Q., Ji, K., Cao, L., & Chen, L. (2020). Exogenous salicylic acid ameliorates heat stress-induced damages and improves growth and photosynthetic efficiency in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191, 110206.
17. Choudhary, S., Bhat, T.M., Alwutayd, K.M., Abd El-Moneim, D., & Naaz, N. (2024). Salicylic acid enhances thermotolerance and antioxidant defense in *Trigonella foenum graecum* L. under heat stress. *Heliyon*, 11, 10(6), e27227.
18. Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S.A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 259, 108823.
19. Huang, W., Wang, Y., Li, X., & Zhang, Y. (2020). Biosynthesis and regulation of salicylic acid and N-hydroxypipicolinic acid in plant immunity. *Molecular Plant*, 13(1), 31-41.
20. Yang, W., Zhou, Z., & Chu, Z. (2023). Emerging roles of salicylic acid in plant saline stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3388.
21. Cingoz, G.S., & Gurel, E. (2016). Effects of salicylic acid on thermotolerance and cardenolide accumulation under high temperature stress in *Digitalis trojana* Ivanina. *Plant Physiology and Biochemistry*, 105, 145-149.
22. Pakraei, A., & Siahpoosh, M. R. (2023). Evaluation of rapeseed genotypes using heat stress tolerance indices in Ahvaz weather conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(2), 47-58. [in Persian]
23. Morrison, M.J., McVetty, P.B.E., & Shaykewich, C.F. (1989). The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. *Canadian Journal of Plant Science*, 69, 455-464.
23. Beers, R.F., & Sizer, J.W. (1952). Spectrophotometric method for measuring breakdown of hydrogen peroxide catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 195, 133-140.
24. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide Is Scavenged by Ascorbate-Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(7), 867-880.
25. Ranieri, A., Castagna, A., Pacini, J., Baldan, B., Mensuali Sodi, A., & Soldatini, G.F. (2003). Early production and scavenging of hydrogen peroxide in the apoplast of sunflower plants exposed to ozone. *Journal of Experimental Botany*, 54(392), 2529-2540.

26. Giannopolitis, C.N., & Ries, S.K. (1997). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, 59(2), 309-314.
27. Nahar, K., Hasanuzzaman, M., Alam, M.M., & Fujita, M. (2015). Roles of exogenous glutathione in antioxidant defense system and methylglyoxal detoxification during salt stress in mung bean. *Biologia Plantarum*, 59(4), 745-756.
28. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell and Environment*, 24(12), 1337-1344.
29. Heath, R.L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.
30. Rahnama, A., James, R.A., Poustini, K., & Munns, R. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, 37(3), 255-263.
31. Hao, L., Guo, L., Li, R., Cheng, Y., Huang, L., Zhou, H., & Zheng, Y. (2019). Responses of photosynthesis to high temperature stress associated with changes in leaf structure and biochemistry of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae*, 246, 251-264.
32. Haba, P.D., Mata, D.L., Molina, E., & Agüera, E. (2014). High temperature promotes early senescence in primary leaves of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(4), 659-669.
33. Ilyas, M., Maqsood, M.F., Shahbaz, M., Zulfikar, U., Ahmad, K., Naz, N., Fraz Ali, M., Ahmad, M., Ali, Q., Hong Yong, J.W., & Ali, H.M. (2024). Alleviating salinity stress in canola (*Brassica napus* L.) through exogenous application of salicylic acid. *BMC Plant Biology*, 24, 611.
34. Nazar, R., Umar, S., Khan, N.A., & Sareer, O. (2015). Salicylic acid supplementation improves photosynthesis and growth in mustard through changes in proline accumulation and ethylene formation under drought stress. *South African Journal of Botany*, 98, 84-94.
35. Møller, I.M., Jensen, P.E., & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58(2), 459-481.
36. Baily, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 14, 93-107.
37. Hu, Y., Ge, Y., Zhang, C., Ju, T., & Cheng, W. (2009). Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxide pretreatment. *Plant Growth Regulation*, 59(13), 51-61.
38. Villa-Castorena, M., Ulery, A.L., Valencia, E.A.C., & Remmenga, M.D. (2003). Division S-4-soil fertility and plant nutrition. *Soil Science Society of America Journal*, 67(10), 1781-1789.
39. Misra, A., & Srivastava, N.K. (2000). Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 7(11), 51-58.
40. Kürsat, Ç., & Kirdar, K. (2010). Effects of hydrogen peroxide on the germination and early seedling growth of barley under NaCl and high temperature stresses. *European Asian Journal of Biology Sciences*, 4(16), 70-79.
41. Dixit, P., Mukherjee, K., Ramachandran, V., & Eapen, S. (2011). Glutathione transferase from *Trichoderma vireos* enhances cadmium tolerance without enhancing its accumulation in transgenic *Nicotina tabacum*. *Plant and Soil*, 325(1-2), 198-207.
42. Ghosh, A., Kushwaha, H.R., Hasan, M.R., Pareek, A., Sopory, S.K., & Singla-Pareek, S.L. (2016). Presence of unique glyoxalase III proteins in plants indicates the existence of a shorter route for methylglyoxal detoxification. *Scientific Reports*, 6(1), 1-15.
43. Zhao, X.X., Huang, L.K., Zhang, X.Q., Li, Z., & Peng, Y. (2014). Effects of heat acclimation on photosynthesis, antioxidant enzyme activities and gene expression in Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.). *Molecular Biology Reports*, 41(9), 13564-13576.

44. Mohammed, A.R., & Tarpley, L. (2010). Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *European Journal of Agronomy*, 33, 117-123.
45. Möller, I.M., Jensen, P.E., & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58(2), 459-481.
46. Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., & Dixon, K. (2000). Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plant. *Plant Growth Regulation*, 30, 157-161.
47. Noreen, S., Ashraf, M., Hussain, M., & Jamil, A. (2009). Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. *Pakistan Journal of Botany*, 41(1), 473-479.
48. Yun-Ying, C.A.O., Hua, D.U.A.N., Li-Nian, Y.A.N.G., Zhi-Qing, W.A.N.G., Shao-Chuan, Z.H.O.U., & Jian-Chang, Y.A.N.G. (2008). Effect of heat stress during meiosis on grain yield of rice cultivars differing in heat tolerance and its physiological mechanism. *Acta Agronomica Sinica*, 34(12), 2134-2142.
49. Keshavarz, H., & Modarres Sanavy, S.A.M. (2014). Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics and yield of two canola cultivars. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 7(4), 167-178. [in Persian]
50. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199-223.
51. Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K.V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91(2), 179-194.
52. Chakraborty, U., & Tongden, C. (2005). Evaluation of heat acclimation and salicylic acid treatments as potent inducers of thermotolerance in *Cicer arietinum* L. *Current Science*, 89, 384-389.
53. Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). *Salicylic Acid: A Plant Hormone*. Springer.
54. Sharma, P., & Dubey, R.S. (2005). Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation*, 46(3), 209-221.
55. Jahan, M.S., Wang, Y., Shu, S., Zhong, M., Chen, Zh., Wu, J., Sun, J., & Guo, S. (2019). Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. *Scientia Horticulturae*, 247(3), 421-429.
56. El-Esawi, A.M., Elansary, H.O., El-Shanhorey, N.A., Abdel-Hamid, A.M.E., Ali, H.M., & Elshikh, M.S. (2017). Salicylic Acid-Regulated Antioxidant Mechanisms and Gene Expression Enhance Rosemary Performance under Saline Conditions. *Frontiers in Physiology*, 8, 1-14.
57. Tutar, O., Marín-Guirao, L., Ruiz, J.M., & Procaccini, G. (2017). Antioxidant response to heat stress in seagrasses. A gene expression study. *Marine Environmental Research*, 132, 94-102.
58. Wang, X., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., & Cao, W. (2011). Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. *Journal of Plant Physiology*, 168(6), 585-593.
59. Liu, J., Qiu, G., Liu, C., Li, H., Chen, X., Fu, Q., Lin, Y., & Guo, B. (2022). Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plant. *Life*, 12(6), 1-25.
60. Rahnama, A., Salehi, F., Meskarbashee, M., Khanlou, K.M., 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.
61. Sheikh Mamo, B., Rahnama, A., & Hassibi, P. (2023). The influence of terminal heat stress on physiological and yield characteristics of promising sunflower cultivars in Ahvaz climate condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 16(3), 835-851. [in Persian]

62. Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Momčilović, I., & Ristić, Z. (2011). Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(6), 430-441.
63. Modarres Sanavy, S.A.M., & Keshavarz, H. (2014). Effect of salicylic acid on chlorophyll, some growth characteristics, and yield of two canola cultivars. *Journal of Crop Production*, 7(4), 161-171.
- 64- Khajavi, M., Rahnema, A., Meskarbashee, M., Moosavi, S. A., & Tom Harrison, M. (2023). Effect of cytokinin hormone on morphological and yield traits of sunflower under terminal heat stress. *Crop Physiology Journal*, 14(56), 63-78. [in Persian]