Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

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

(OPEN ACCESS)

The effect of foliar application of cytokinin and salicylic acid on yield and physiological characteristics of sunflower under drought stress conditions

Foad Hosseini[1], Moosa Meskarbashee[*2], Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi[3]

1. Ph.D. Graduate of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: eng_foad@yahoo.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: mmeskarbashee@scu.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: a.rahnama@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 10.14.2024
Revised: 11.25.2024
Accepted: 12.11.2024

Keywords:
Antioxidant activity,
Catalase activity,
Deficit irrigation,
Oil content,
Photosynthetic rate,
Stomatal conductance

ABSTRACT

Background and Objective: Oil is one of the essential food resources required by humans, and more than 90% of the demand is met through imports. Sunflower is the most important oilseed crops that can be cultivated twice a year in Khuzestan. Drought stress is one of the most important abiotic stresses that reduces the genetic potential of crops, resulting in reduced yield. In recent years, it has become one of the main obstacles to agricultural development, especially in arid regions of the world. This study aimed to to investigate the effects of foliar application of two hormones, cytokinin and salicylic acid, on morphological traits and the quantitative and qualitative yield of sunflower under drought stress.

Materials and Methods: The experiment was conducted as a split-plot arrangement within a randomized complete block design with three replications at Shahid Chamran University of Ahvaz, during the 2021-2022 growing season. Main plots consisted of three levels of irrigation intervals (8, 12, and 16 days), and and sub-plots consisted of five levels of hormone treatments (control, cytokinin at 25 and 50 µmol L^{-1} and salicylic acid at 200 and 400 mmol L^{-1}).

Results: The interaction between irrigation interval and hormone levels was significant for all measured traits. The photosynthesis rate, stomatal conductance, leaf area index, chlorophyll index, and relative water content decreased as the irrigation interval increased from 8 to 12 and 16 days, while the activity of antioxidant enzymes (catalase, peroxidase, and superoxide dismutase) increased. Seed and oil yields decreased as the irrigation interval increased. Foliar application of cytokinin and salicylic acid under the 16-day irrigation interval improved seed and oil yield. Seed yield increased by 69%, 72%, 37%, and 64% with cytokinin at 25 and 50 µM L^{-1} and salicylic acid at 200 and 400 mM L^{-1}, respectively. Cytokinin at 50 µM L^{-1} increased seed yield by 33%, 16.5%, and 72% and oil yield by 33.5%, 19.5%, and 50% under irrigation intervals of 8, 12, and 16 days, respectively.

Conclusion: Overall, the results of this experiment showed that, seed and oil yields decrease due to reductions in leaf area index, relative water content, stomatal conductance, photosynthetic rate, and chlorophyll content under drought stress. Reactive oxygen species (ROS) increased with longer irrigation intervals, leading to higher activity of antioxidant enzymes such as catalase, peroxidase, and superoxide dismutase. Foliar application of cytokinin and salicylic acid enhanced seed and oil yields across all irrigation intervals. Cytokinin at 50 µmol L^{-1} resulted in the most pronounced improvement. However, increasing cytokinin from 25 to 50 µmol L^{-1} under the 16-day irrigation interval reduced both oil percentage and seed yield, indicating that higher doses may not always be advantageous. Given the higher cost of cytokinin compared to salicylic acid, salicylic acid may recommended for farmers facing water deficits, especially when extending the irrigation interval from 8 to 12 days.

Cite this article: Hosseini, Foad, Meskarbashee, Moosa, Rahnama Ghahfarokhi, Afrasyab. 2025. 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*, 32 (3), 97-115.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2024.22633.3163
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

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

اثر محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

فواد حسینی[۱]، موسی مسکر باشی[*۲]، افراسیاب راهنما قهفرخی[۳]

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: eng_foad@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mmeskarbashee@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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۱

واژه‌های کلیدی:
درصد روغن،
سرعت فتوسنتز،
فعالیت آنتی‌اکسیدانی،
کم‌آبیاری،
هدایت روزنه‌ای

چکیده

سابقه و هدف: روغن یکی از مواد غذایی اساسی موردنیاز انسان است و بیش از ۹۰ درصد روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تأمین می‌گردد. آفتابگردان از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که امکان کشت دو بار در سال آن در خوزستان وجود دارد. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که مانع تحقق کامل پتانسیل ژنتیکی گیاهان زراعی شده و درنتیجه موجب کاهش عملکرد آن‌ها می‌شود. در سال‌های اخیر، تنش خشکی به یکی از موانع اصلی توسعه کشاورزی به‌ویژه در مناطق کم‌آب جهان تبدیل‌شده است. هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر محلول‌پاشی برگی دو هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر صفات ریخت‌شناسی و عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دانشگاه شهید چمران اهواز و به‌صورت طرح اسپلیت‌پلات در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل دور آبیاری در سه سطح ۸، ۱۲ و ۱۶ روز و عامل فرعی نیز شامل پنج سطح هورمون شامل: عدم مصرف هورمون (شاهد)، سیتوکینین از نوع بنزیل‌آمینوپورین (فرم تجاری سیتوکینین شرکت سیگما، آمریکا) در دو سطح ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک در دو سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار بود که به‌صورت محلول‌پاشی برگی در مراحل غنچه‌دهی (R2) و شروع گلدهی (R5) اعمال شد. از رقم اسکار به‌عنوان رقم مورد کشت استفاده گردید.

یافته‌ها: برهم‌کنش دور آبیاری و سطوح هورمون برای تمامی صفات معنی‌دار بود. افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز باعث کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح

برگ، شاخص سبزینگی و محتوای نسبی آب شد. هم‌چنین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز) افزایش یافت و به دنبال آن سبب کاهش عملکرد دانه و روغن شد. در آبیاری ١٦ روز، تیمارهای سیتوکینین با غلظت‌های ٢٥ و ٥٠ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک با غلظت‌های ٢٠٠ و ٤٠٠ میکرومولار به ترتیب موجب افزایش ٦٩/٦، ٧٢/٣، ٣٦/٦ و ٦٤ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شدند. هم‌چنین سیتوکینین ٥٠ میکرومولار در شرایط آبیاری ٨، ١٢ و ١٦ روز به ترتیب باعث افزایش ٣٣، ١٦/٥ و ٧٢/٣ درصدی عملکرد دانه و افزایش ٥٠/٣، ٢٤/٣ و ١٠٠/٤ درصدی عملکرد روغن نسبت به تیمار شاهد گردید.

نتیجه‌گیری: در شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه و روغن به دلیل کاهش شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و شاخص کلروفیل کاهش یافت. افزایش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر موجب افزایش فعالیت کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز شد. محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر روی اندام هوایی گیاه آفتابگردان، تحمل گیاه به خشکی را بهبود داده و باعث افزایش عملکرد دانه و روغن گردید. اگرچه هر دو هورمون مؤثر بودند، اما سیتوکینین در غلظت ٥٠ میکرومولار کارایی بیش‌تری نشان داد، به‌طوری‌که افزایش غلظت آن از ٢٥ به ٥٠ میکرومولار در تنش شدید توانست کاهش عملکرد دانه و درصد روغن را نسبت به شاهد تا حدودی کنترل نماید. به هر حال، با توجه به تفاوت هزینه، کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط کم‌آبی متوسط و افزایش دور آبیاری از ٨ به ١٢ روز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر بوده و دارای کارایی بالاتری است.

استناد: حسینی، فواد، مسکر باشی، موسی، راهنما قهفرخی، افراسیاب (١۴٠۴). اثر محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک آفتابگردان در شرایط تنش خشکی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ٣٢ (٣)، ١١٥-٩٧.
DOI: 10.22069/jopp.2024.22633.3163

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

مقدمه

روغن یکی از مواد غذایی اصلی موردنیاز انسان است و حدود ۲۰ درصد انرژی مورد نیاز روزانه، بسته به نوع رژیم غذایی از طریق روغن تأمین می‌شود (۱). آفتابگردان، یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که به‌دلیل داشتن طول دوره رشد کوتاه، رشد و نمو سریع و بی‌نیاز بودن به فتوپریودیسم، امکان دوبار کشت در سال را در استان خوزستان دارد (۲). کاهش پتانسیل آب خاک و تنش اسمزی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای شده و در نتیجه غلظت دی‌اکسید کربن در دسترس گیاه کاهش یافته و در نهایت منجر به کاهش فتوسنتز و عملکرد می‌گردد (۳). تنش خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو، باعث تخریب دستگاه فتوسنتزی، مهار فرآیندهای سوخت‌وساز، کلروزه شدن، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی، تغییر نفوذپذیری غشا و افزایش نشت یون‌ها می‌شود. گیاهان از طریق تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی، ساختارهای سلولی خود را در برابر رادیکال‌های آزاد تولیدشده در شرایط تنش محافظت می‌کنند (٤). بر این اساس، پژوهش‌های پیشین نیز کاهش عملکرد و درصد روغن دانه را در شرایط کم‌آبی گزارش کرده‌اند (۵، ٦ و ۷).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل هورمون‌های طبیعی و مصنوعی هستند که در تنظیم و کنترل فرآیندهای رشدی و فیزیولوژی موجودات زنده، افزایش تحمل به تنش‌ها و بهبود عملکرد و کیفیت گیاه مشارکت می‌کنند (۸). سیتوکینین با افزایش تقسیم سلولی، تحریک رشد نمو گیاه و ایجاد واکنش‌های سازگاری در واکنش به تنش‌های زیستی و غیر زیستی عمل می‌کند. هم‌چنین از پیری گیاه جلوگیری کرده و در جذب و انتقال مواد غذایی تأثیرگذار است (۸). علاوه بر این، سیتوکینین‌ها هم‌چنین باعث تحریک تشکیل جوانه، توسعه اندام‌های هوایی، رشد جوانه‌های جانبی، گسترش برگ و افزایش تولید کلروفیل می‌شوند. هم‌چنین پیری برگ را به تأخیر انداخته و باعث افزایش تحمل به خشکی، دمای پایین و سایر تنش‌ها شده و در برخی گونه‌ها باعث باز شدن روزنه‌ها می‌شوند (۹).

در پژوهشی، کاربرد سیتوکینین (٦- بنزیل‌آمینوپورین) به‌صورت محلول‌پاشی برگی بر گیاهچه‌های ذرت تحت شرایط خشکی (۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) به‌طور معنی‌داری موجب بهبود سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک و تر ریشه، پایداری غشای سلول و مقدار کلروفیل شد (۱۰). هم‌چنین در بررسی اثر تیمارهای سیتوکینین (۱۰۰ میکرومولار) بر ارقام مختلف گندم، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود واکنش گیاه در مرحله پر شدن دانه تحت تنش خشکی مشاهده شد (۱۱).

در سال‌های اخیر، نقش اسید سالیسیلیک به‌عنوان مادهٔ تنظیم‌کننده رشد در القای تحمل به بسیاری از تنش‌های زیستی و غیر زیستی هم‌چون تنش خشکی موردتوجه قرارگرفته است (۱۲). در آزمایشی با هدف بررسی اثر اسیدسالیسیلیک بر عملکرد کلزا تحت تنش خشکی پایان فصل، نتایج نشان داد که اسیدسالیسیلیک و تنش خشکی بر صفاتی مانند طول خورجین و تعداد دانه در خورجین اثر معنی‌داری داشتند. تنش خشکی موجب کاهش ٤۰ درصدی عملکرد شد، اما کاربرد اسیدسالیسیلیک با غلظت دو میلی‌مولار توانست کاهش عملکرد را در حدود ۱۳ درصد جبران کند (۱۳).

توجه روزافزون به کشت و توسعه دانه‌های روغنی در ایران و استان خوزستان، که از اولویت‌های برنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی محسوب می‌شود، اهمیت محصولات روغنی را نشان می‌دهد. با توجه به گرمای شدید آخر فصل کشت در جنوب خوزستان و تنش خشکی وارده بر گیاه در این منطقه، به نظر می‌رسد استفاده از تیمارهای هورمونی بتواند از کاهش کمیت و کیفیت بذر تولیدی آفتابگردان جلوگیری

کرده و در نهایت منجر به عملکرد مطلوب دانه و روغن شود. با بررسی منابع و شرایط تولید در خوزستان، هدف این پژوهش بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و کاربرد غلظت‌های متفاوت هورمون‌های سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه و روغن آفتابگردان بود. هم‌چنین تعیین رژیم آبیاری بهینه برای دستیابی به عملکرد مطلوب کمی و کیفی روغن رقم اسکار در شرایط تنش خشکی و شناسایی غلظت‌های هورمونی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بهینه برای کاهش اثرات تنش خشکی بر رشد و عملکرد آفتابگردان در شرایط آب و هوایی اهواز نیز از اهداف این مطالعه محسوب می شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد برگی دو هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه و روغن آفتابگردان رقم اسکار تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۰ در مزرعه آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی، شامل سه سطح دور آبیاری (۸ روز معادل ۸۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه، ۱۲ روز معادل ٦۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه و ۱٦ روز معادل ٤۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه) و عامل فرعی شامل پنج سطح هورمون (شاهد بدون مصرف هورمون، هورمون سیتوکینین در دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک در دو غلظت ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومولار) در نظر گرفته شد. به‌منظور اطمینان از اعمال تنش خشکی، درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد. پس از اجرای آماده‌سازی زمین، پشته‌بندی و ایجاد نهرهای آبیاری، براساس نقشه طرح اقدام به کشت شد. نیازهای کودی خاک با توجه به نتایج آزمون خاک تأمین شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه.

Table 1. The physical and chemical properties of the soil in the experimental field.

عمق خاک Soil depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (ds. m^{-1})	اسیدیته pH (1:2)	بافت خاک Texture Soil	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg. kg^{-1})	پتاسیم K (mg. kg^{-1})
0-30	1.61	7.41	لومی رسی (Caly loam)	0.216	26	55
30-60	1.29	7.45	لومی رسی (Caly loam)	0.199	21.8	99

تمامی کود فسفر و پتاس به‌علاوه نیمی از کود نیتروژن از منبع اوره به‌صورت کود پایه و هم‌زمان با کاشت مصرف شد و بقیه کود اوره در اوایل مرحله گلدهی به‌صورت سرک مصرف گردید. کاشت بذرها در تاریخ ۳۰ بهمن‌ماه با فاصله ردیف ٦۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. آبیاری مزرعه مطابق با تیمارهای آبیاری به‌صورت نشتی و وجین علف‌های هرز به‌طور منظم انجام شد. زمان اعمال تنش آبی در اوایل مرحله غنچه‌دهی بود و کاربرد غلظت‌های مختلف هورمون‌های سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک نیز در همین مرحله انجام شد. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه شاخص سطح برگ‌سنج، هدایت روزنه‌ای برگ با استفاده از دستگاه پرومتر (Leaf Porometer model SC-1, USA)

بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ ظهر و شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter, Japan) از برگ‌های توسعه‌یافته انتهایی سه بوته از وسط هر کرت آزمایشی ثبت و میانگین مقادیر محاسبه گردید. محتوی نسبی آب برگ با استفاده از روش والتوویک (١٤) اندازه‌گیری شد. پس از رسیدگی دانه‌ها، از دو خط وسط هر کرت ارتفاع ساقه، تعداد دانه‌های هر طبق و وزن دانه‌های هر طبق محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز در مرحله ظهور طبق از روش بیر و سیر (١٥)، آنزیم پراکسیداز از روش ناکانو و آسادا (١٦) و سوپراکسیددیس‌موتاز از روش دینداسا (١٧) استفاده شد. جهت برآورد عملکرد دانه بوته‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل و در آون در دمای ٧٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت نگهداری شدند و وزن ماده خشک نمونه‌های آزمایشی توزین گردید. پس از جدا کردن دانه‌های نمونه هر کرت، عملکرد دانه در واحد مترمربع محاسبه شد. جهت تعیین درصد روغن از دستگاه سوکسله بر پایه تغییرات وزنی استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.2 انجام و برای مقایسه میانگین از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثرات ساده دورهای آبیاری و سطوح مختلف هورمونی و برهم‌کنش دو عامل برای تمامی صفات معنی‌دار بودند (جدول ٢).

صفات فیزیولوژیک: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش فواصل آبیاری تأثیر معنی‌داری بر سرعت فتوسنتز خالص، هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ در سطوح مختلف محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و سیتوکینین داشت (جدول ٣).

جدول ٢- میانگین مربعات کاربرد سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه آفتابگردان تحت تنش خشکی.

Table 2. Mean squares of cytokinin and salicylic acid application on physiological, biochemical traits and seed yield of sunflower under drought stress.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	شاخص سطح برگ LAI	محتوی نسبی آب برگ RWC
تکرار Rep	2	55.75*	27.09**	2.27^{ns}	0.13^{ns}	20.20^{ns}
دور آبیاری Deficit intervals (II)	2	11453**	14390.4**	114.14**	12.3**	1313.7**
خطای اصلی Ea	4	9.2	39.41	0.637	0.097	21.258
هورمون Hormone (H)	4	1001.89**	984.15*	17.36**	1.182**	238.77**
آبیاری × هورمون II × H	8	122.85**	473.03**	0.642**	0.37**	82.56**
خطای فرعی Eb	24	5.37	240.77	0.251	0.0267	14.7
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		3.4	9.89	2.37	8.52	6.1

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	فعالیت سوپراکسید دیس‌موتاز SOD activity	فعالیت پراکسیداز CAT activity	فعالیت کاتالاز POD activity	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد روغن Oil yield
تکرار Rep	2	2955^{ns}	0.0000038 ^{ns}	0.0000016^{ns}	0.024*	2520**
دور آبیاری Deficit intervals (II)	2	64122**	0.00012**	0.0000106**	3.46**	320491**
خطای اصلی Ea	4	1405.87	0.000002	0.0000013	0.0027	142
هورمون Hormone (H)	4	19592.5**	0.0000092**	0.0000022**	0.443**	28695.6**
آبیاری × هورمون II × H	8	8825.15**	0.0000128**	0.0000015**	0.0647**	2817.51**
خطای فرعی Eb	24	926.04	0.0000059	0.0000018	0.0019	131.81
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)		7.6	10.09	12.61	2.2	3.51

^{ns} غیرمعنی‌دار، ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

*, **, and ^{ns} indicate significance at the 5% and 1% probability levels, and non-significance, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین کاربرد برگی هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه آفتابگردان تحت تنش خشکی.

Table 3. Mean comparison of the effects of foliar application of cytokinin and salicylic acid on physiological, biochemical traits and seed yield of sunflower under drought stress.

تیمارها Treatments		هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance (mm m^{-2}.s^{-1})	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate (µmol.m^{-2}.s^{-1})	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	شاخص سطح برگ LAI	محتوی نسبی آب برگ RWC (%)
دور آبیاری Irrigation intervals	تیمار هورمونی Hormonal treatment					
۸ روزه 8 Day	0 (Control)	112.66^{cd}	72.53^{b}	25^{d}	2.2^{ed}	64.58^{c-e}
	200µM Salicylic acid	115.33^{c}	50.47^{b-d}	29.2^{c}	2.43^{d}	66.576^{b-d}
	400 µM Salicylic acid	121.33^{b}	70.13^{b}	34.3^{b}	3.2^{b}	70.05^{cb}
	25 µM Kinetin	117.66^{bc}	56.21^{bc}	29.5^{c}	2.736^{c}	71.43^{b}
	50 µM kKinetin	131.33^{a}	82.77^{a}	43.2^{a}	4^{a}	91.663^{a}
۱۲ روزه 12 Day	0 (Control)	68.44^{g}	21.32^{ef}	18.68^{gh}	1.66^{gh}	58.086^{fghi}
	200µM Salicylic acid	71.33^{g}	24.89^{ef}	20.26^{fg}	1.53^{g-i}	59.38e^{f-i}
	400 µM Salicylic acid	91.33^{e}	30.92^{c-f}	27^{e}	1.76^{gf}	62.43^{d-g}
	25 µM Kinetin	79.55^{f}	29.16^{d-f}	20.8^{ef}	1.6^{g-i}	61.03^{d-h}
	50 µM kKinetin	109.66^{d}	38.34^{c-e}	29.8^{cd}	1.96^{ef}	63.79^{c-f}
۱٦ روزه 16 Day	0 (Control)	43.02^{k}	9.44^{f}	10.^{1k}	0.76^{k}	48.97^{j}
	200µM Salicylic acid	57.16^{j}	9.9^{f}	12.8^{jk}	1.1^{j}	53.593^{ij}
	400 µM Salicylic acid	62.33^{hi}	14.68^{ef}	15.2^{hi}	1.3^{ij}	57.04^{g-i}
	25 µM Kinetin	60.241^{ij}	12.99^{ef}	13.6^{ij}	1.1^{j}	55.086^{h-j}
	50 µM kKinetin	66.33^{gh}	15.33^{ef}	16.3^{hi}	1.4^{hi}	57.313^{g-i}

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

عملکرد روغن Oil yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	پراکسیداز POD activity (unit.mg protein)	فعالیت کاتالاز CAT activity (unit.mg protein)	سوپر اکسید دیس‌موتاز SOD activity (unit.mg protein)	تیمارها Treatments: تیمار هورمونی Hormone	تیمارها Treatments: دور آبیاری Irrigation intervals
978.71^{e}	2190^{d}	0.00102^{o}	0.00013^{m}	45.57^{j}	0 (Control)	۸ روزه 8 Day
1025.1^{d}	2270^{c}	0.00134^{n}	0.000163^{l}	48.51^{j}	200 µM Salicylic acid	
1122.1^{c}	2346^{c}	0.00149^{m}	0.000209^{j}	68.078^{i}	400 µM Salicylic acid	
1152.9^{b}	2490^{b}	0.00161^{l}	0.000184^{k}	78.273^{f}	25 µM Kinetin	
1471.9^{a}	2913^{a}	0.00177^{k}	0.000225^{i}	88.74^{h}	50 µM kKinetin	
731.12^{i}	1803^{g}	0.00193^{j}	0.00034^{h}	94.83^{g}	0 (Control)	۱۲ روزه 12 Day
710.79^{i}	1810^{g}	0.00262^{g}	0.000406^{g}	98.45^{g}	200 µM Salicylic acid	
756.77^{h}	1853^{g}	0.00288^{f}	0.000586d^{e}	110.684^{f}	400 µM Salicylic acid	
785.81^{g}	1966^{f}	0.00218^{i}	0.000462^{f}	113.442^{f}	25 µM Kinetin	
909.34^{f}	2103^{e}	0.00252^{h}	0.000687^{c}	124.663^{e}	50 µM kKinetin	
328.4^{m}	1000^{k}	0.00327^{e}	0.0004582^{e}	116.63^{d}	0 (Control)	۱۶ روزه 16 Day
477.28^{l}	1366^{j}	0.00814^{c}	0.000543^{d}	150.663^{c}	200 µM Salicylic acid	
591.71^{k}	1640^{i}	0.00820^{b}	0.00069^{c}	220.884^{b}	400 µM Salicylic acid	
627.18^{l}	1696^{hi}	0.00787^{d}	0.000781^{b}	217.661^{b}	25 µM Kinetin	
658.19^{j}	1723^{h}	0.00931^{a}	0.000960^{a}	401.563^{a}	50 µM kKinetin	

میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر صفت با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند

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

برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون در سرعت فتوسنتز و سایر صفات فیزیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش فاصله آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز، سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب کاهش یافت، اما این کاهش با کاربرد هورمون نسبت به شاهد در هر دور آبیاری تا حدی جبران شد. سرعت فتوسنتز در دور آبیاری ۱۲ روز تحت کاربرد هورمون و در هر غلظتی نسبت به شاهد (عدم کاربرد هورمون) افزایش داشت، به‌طوری‌که کاربرد سیتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار نسبت به سایر تیمارهای هورمونی این صفت را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد و نسبت به شاهد، سرعت فتوسنتز را تا ٤٤ درصد ارتقا داد. بیش‌ترین سرعت فتوسنتز در آبیاری ۸ روز و با مصرف سیتوکینین ۵۰ میکرومولار (۸۲/۷۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) و کم‌ترین مقدار در شرایط دور آبیاری ۱٦ روز شاهد (۹/٤۷ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه) به‌دست آمد. هم‌چنین، در دور آبیاری ۱٦ روز بالاترین سرعت فتوسنتز تحت محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین با میانگین ۱۵/۳۳ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه مشاهده شد. این نتایج برای صفات هدایت روزنه‌ای، شاخص کلروفیل، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ نیز صادق بود؛ به‌طوری‌که میزان کاهش این صفات در دور آبیاری ۱٦ روز نسبت به ۸ روز در تیمارهای بدون مصرف هورمون، سیتوکینین ۲۵ و ۵۰

میکرومولار و اسیدسالیسیلیک ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومولار به‌ترتیب به میزان ۸٦، ۷٦، ٦۳، ۸۰ و ۸۰ درصد برای صفت هدایت روزنه‌ای، به میزان ٦۱، ۵۰، ٤۸، ٤۸ و ۵۰ درصد برای محتوای نسبی آب در دور آبیاری ۱٦ روزه به میزان ۲۵، ۲۳، ۳۷، ۱۹ و ۱۹ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در دور آبیاری ۸ روز، شاخص کلروفیل با محلول سیتوکینین ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومولار به ترتیب به میزان ۱٦، ۷۲، ۱٦ و ۳٦ درصد، شاخص سطح برگ به میزان ۲٤، ۸۱، ۱۰ و ٤۵ درصد و محتوی نسبی آب برگ ۱۱، ٤۲، ۳ و ۹ درصد افزایش یافت. این مقادیر در دور آبیاری ۱٦ روز به‌ترتیب برای شاخص کلروفیل ۳۵، ٦۰، ۲۸ و ۵۰ درصد، شاخص سطح برگ ٤٤، ۸٤، ٤٤ و ۷۱ درصد و محتوی نسبی آب برگ ۱۲، ۱٦، ۸ و ۱٦ درصد بود (جدول ۳). بنابراین، می‌توان گفت در بین تیمارها، محلول‌پاشی با سیتوکینین ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک در هر دو غلظت با تأثیر مثبت توانسته‌اند از کاهش صفات فیزیولوژیک در شرایط تنش جلوگیری کنند و با افزایش سرعت فتوسنتز و سایر صفات فیزیولوژیک در هر سه دور آبیاری، تحمل گیاه را نسبت به تنش افزایش دهند. در تیمار سیتوکینین ۵۰ میکرومولار و دور آبیاری ۸ روز، نسبت به شاهد، افزایش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به ترتیب ۱٤ و ۱٤ درصد بود، در حالی‌که در آبیاری ۱٦ روز این افزایش به ٦٦ و ٤٤ درصد رسید (جدول ۳). در شرایط تنش خشکی، کاهش اندازه سلولی رخ می‌دهد که از طریق تغییر در ساختار تیلاکوئیدها و میزان کلروفیل، موجب کاهش فتوسنتز می‌شود (۱۸). خشکی باعث بسته شدن روزنه‌ها برای حفظ و نگهداری آب درون برگ، کاهش تعرق و به حداقل رساندن تلفات آب می‌شود (۱۹)، که منجر به کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در سلول‌های مزوفیل برگ (۲۰)، تجمع NADPH در کلروپلاست (۲۱) و در نهایت کاهش فتوسنتز می‌گردد (۲۲).

در شرایط تنش شدید خشکی، مقادیر کلروفیل به‌دلیل پراکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست و غشاهای تیلاکوئیدی کاهش می‌یابد (۲۳). گیاهانی که در شرایط تنش قرار می‌گیرند، کاهش زودهنگام سبزینگی برگ (غلظت کلروفیل) را تجربه می‌کنند و عدد سبزینگی برگ ثابت یا کاهش می‌یابد (۲٤). با این‌حال، نیوکولاوا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که در شرایط تنش خشکی با قطع آبیاری به‌مدت ۳، ۵ و ۷ روز، مقدار کلروفیل در گندم افزایش یافت که این موضوع به افزایش محتوای کلروفیل، کوچک شدن سلول‌های برگ به‌علت کاهش سطح برگ و ضخیم‌تر شدن آن‌ها نسبت داده شد (۲۵). مطابق با نتایج این پژوهش، افزایش شاخص کلروفیل در اثر محلول‌پاشی با هورمون سیتوکینین در گندم تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است (۲٦). در اتیوپی نیز گزارش شده که تنش آبی در دوره‌های حساس گل‌دهی و پر شدن غلاف در نخود و لوبیا باعث کاهش سطح برگ به‌دلیل کاهش تأمین فتوآسیمیلات‌ها می‌شود (۲۷). هم‌چنین، محلول‌پاشی سیتوکینین بر گیاهچه‌های ذرت تحت تنش خشکی باعث بهبود شاخص سطح برگ به‌طور قابل‌توجهی شده است (۱۰). در پژوهشی دیگر بر روی گیاه کلزا، رضایی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که با افزایش شدت تنش گرما (دمای ۲۲/۳۵ درجه روز/شب در اتاقک رشد)، محتوی آب نسبی گیاه تا ٦۱ درصد کاهش می‌یابد (۲۸). مطالعه‌ای در چین نیز نشان داده که تنش خشکی در محدوده ۳۰-٤۰ درصد ظرفیت مزرعه باعث کاهش ٦۰/۹ درصدی هدایت روزنه‌ای در گندم می‌شود که هم‌سو با نتایج پژوهش حاضر است (۲۹). در آزمایشی دیگر بر روی چهار رقم آفتابگردان و

چهار سطح تنش خشکی (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)، تنش خشکی رشد را در تمامی ارقام کاهش داد. با این‌حال، کاربرد خارجی اسیدجاسمونیک در غلظت‌های ٤۰ و ۸۰ پی‌پی‌ام موجب افزایش محتوای کلروفیل (۳٦ درصد)، سرعت فتوسنتز (۲۲ درصد)، نرخ تعرق (٤۰ درصد)، فنولیک (۱۹ درصد)، پراکسید هیدروژن (۷ درصد)، پرولین (۲۸ درصد) و گلیسین بتائین (۱۵-۳۰ درصد) شد. هم‌چنین، دوز ۸۰ پی‌پی‌ام جاسمونیک مناسب‌ترین میزان برای کاهش اثر تنش آبی در گونه‌های آفتابگردان بود (۳۰). افزایش محتوی نسبی آب برگ توسط کاربرد سیتوکینین به‌دلیل افزایش قدرت سامانه دفاع آنتی‌اکسیدانی، کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش پایداری غشا و تنظیم اسمزی از طریق افزایش مقاومت سلول بوده که البته غلظت محلول‌پاشی در تأثیرگذاری محلول نسبت به گیاه نیز بر آن مؤثر است (۱۰). اثر مثبت اسیدسالیسیلیک بر محتوی نسبی آب برگ نیز تحت تنش‌های مختلف محیطی در گیاهان متعددی گزارش شده است. برای مثال، در گلرنگ، اثر اسیدسالیسیلیک ۰/۵ میلی‌مولار در شرایط تنش شوری موجب افزایش محتوی نسبی آب برگ گردید (۳۱). در مطالعه‌ای دیگر بر روی گندم، مصرف اسیدسالیسیلیک ۲۵ و ٤۰ روز پس از کاشت تحت تنش آبی متوسط باعث کاهش محتوی نسبی آب برگ شد که بامطالعه حاضر همخوانی دارد (۳۲). تحت تنش خشکی، کاهش فشار تورژسانس سلول‌های نگهبان موجب کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود که در نهایت سرعت فتوسنتز را به‌دلیل بی‌ثباتی در ساختار پروتئین‌های فتوسیستم I و II تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (۳۳). کاهش محتوای نسبی آب با کاهش انتقال آب از طریق آوند چوبی به سلول‌های برگ به‌دلیل کاهش تعرق از طریق روزنه همراه است (۳٤). تنش آبی باعث کاهش فشار تورژسانس در سطح سلولی می‌شود که منجر به کاهش محتوای نسبی آب در سلول‌های مزوفیل و سلول‌های محافظ می‌شود (۳۵). به‌نظر می‌رسد کاربرد سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک، واکنش پیش سازگاری به تنش را در گیاهان القا می‌کند که با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و میزان کلروفیل (۳٦) و بهبود سریع عملکرد فتوسیستم II منجر به تنظیم فتوسنتز، تعرق و فعالیت آنزیم‌های دخیل در این فرآیندها می‌شود و این امر در بهبود رشد گیاه منعکس می‌گردد (۳۷ و ۳۸). گلچین و همکاران (۱٤۰۱) نیز در بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف سیتوکنین بر روی گلرنگ تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند که هورمون سیتوکینین باعث افزایش هدایت روزنه‌ای شده و کاربرد ۷۵ میکرومولار سیتوکنین، باعث افزایش ۲۸ درصدی هدایت روزنه‌ای نسبت به تیمار شاهد شد (۳۹). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با سرعت فتوسنتز (r=۰/۸۲**)، هدایت روزنه‌ای (r =۰/۹۳**)، شاخص کلروفیل (r=۰/۹۳**)، شاخص سطح برگ (r=۰/۹۲**) و محتوی نسبی آب برگ (r=۰/۸۸**) بود (جدول ٤). به‌عبارت دیگر، با کاربرد سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک روزنه‌ها باز می‌ماند و افزایش تبادلات روزنه‌ای و سرعت فتوستنز منجر به افزایش شاخص سطح برگ و درنهایت بزرگ‌تر شدن منبع برای پرشدن دانه‌ها می‌شود.

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی.

Table 4. Correlation coefficients between physiological, biochemical traits and seed yield of sunflower under drought stress conditions.

Row	Traits صفات	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Sc هدایت روزنه‌ای	1									
2	Pr سرعت فتوسنتز	0.83**	1								
3	Ci شاخص کلروفیل	0.91**	0.84**	1							
4	LAI شاخص سطح برگ	0.90**	0.87**	0.96**	1						
5	RWC محتوی نسبی آب	0.82**	0.84**	0.93**	0.91**	1					
6	SOD سوپراکسیددیس‌موتاز	0.76*	0.58*	0.74*	0.72*	0.69*	1				
7	Kat کاتالاز	0.71*	0.77*	0.77*	0.87*	0.82*	0.93**	1			
8	Peroxidase پر اکسیداز	0.57*	0.63*	0.52*	0.52*	0.77*	0.86**	0.73*	1		
9	Gy عملکرد دانه	0.93**	0.82**	0.93**	0.92**	0.88**	0.86**	0.84**	0.56*	1	
10	Oy روغن عملکرد	0.74*	0.86**	0.96**	0.97**	0.89**	0.79*	0.79*	0.57*	0.83**	1

ns غیرمعنی‌دار، ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

*, **, and ns indicate significance at the 5% and 1% probability levels, and non-significance, respectively

*SC: Stomatal conductance, PR: Photosynthesis rate, CI: Chlorophyll index, SY: Seed yield, OY: Oil yield

صفات بیوشیمیایی: در گیاهان برای جلوگیری و کاهش اثرات زیان‌بار تنش اکسیداتیو تحت تنش‌های غیرزیستی و حذف گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن، مسیرهای آنتی‌اکسیدانتی فعال می‌شوند. آنزیم‌های کاتالاز، پرکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز از آنتی‌اکسیدان‌هایی هستند که با فعالیت خود باعث تجزیه سریع پراکسید هیدروژن می‌شوند (٤۰). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که افزایش فواصل آبیاری تأثیر معنی‌داری بر فعالیت این سه آنزیم برگ در سطوح مختلف محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک و سیتوکینین داشت (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین فعالیت کاتالاز، پرکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز نشان داد که فعالیت این آنزیم‌ها تحت تنش شدید آبیاری ۱٦ روز نسبت به آبیاری ۸ روزه به ترتیب ۲۵۲، ۲۲۰ و ۱۵٦ درصد افزایش یافت (جدول ۳).

فعالیت آنزیم‌ها با محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک تفاوت معنی‌داری را نشان داد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی سیتوکینین ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک ٤۰۰ میکرومولار در دور آبیاری ۸ روزه به ترتیب فعالیت کاتالاز را ۷۳ و ٦۰، پراکسیداز را ۷۳ و ٤٦ و سوپراکسیددیس‌موتاز را ۹۵ و ۷۷ درصد افزایش داد (جدول ۳). در شرایط آبیاری ۱٦ روزه در تیمارهای بدون مصرف هورمون، سیتوکینین ۲۵، ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک ۲۰۰ و ٤۰۰ میکرومولار در لیتر به ترتیب افزایش فعالیت آنزیم‌ها را به میزان ۲۷۰، ۳۲٤، ۳۳۱، ۲۳۳ و ۲۳۰ درصد نسبت به دور آبیاری ۸ روز نشان دادند، به‌طوری‌که مصرف سیتوکینین ۵۰ میکرومولار بیش‌ترین و تیمار بدون مصرف هورمون کم‌ترین فعالیت این آنزیم را داشتند (جدول ۳). این روند برای دو آنزیم پراکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز نیز صادق بود. حداکثر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در شرایط دور آبیاری ۱٦ روز و کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین و حداقل میزان فعالیت این آنزیم در شرایط عدم کاربرد هورمون و در دور آبیاری ۸ روز به‌دست آمد (جدول ۳). این روند برای دو آنزیم کاتالازو و سوپراکسید

دیس‌موتاز نیز صادق بود. با افزایش تولید گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن در شرایط تنش، اکسیداسیون پروتئین‌ها، لیپیدها و DNA افزایش می‌یابد و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیس‌موتاز نیز بالا می‌رود. بنابراین، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها نشان‌دهنده مهار مؤثر و کارآمد گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن، به‌ویژه پراکسید هیدروژن، است. در شرایط تنش، پراکسید هیدروژن، به‌عنوان یک مولکول پیام‌رسان، باعث ایجاد واکنش‌های حفاظتی در گیاه می‌شود، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های پراکسید هیدروژن افزایش میزان کاتالاز هست (۷). در آزمایشی مصرف ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار اسیدسلیسیلیک در پاسخ به تنش شوری روی گیاه جربرا (*Gerbera jamesonii* L. *Amaret*to) فعالیت‌های سوپراکسیددیس‌موتاز و پراکسیداز، محتوای مالون دی‌آلدئید، نشت الکترولیت و هم‌چنین تجمع پرولین افزایش یافت. بااین‌وجود، پیش‌تیمار اسید سالیسیلیک به‌طور قابل‌توجهی محتوای مالون دی‌آلدئید و نشت الکترولیت را کاهش داد (٤١). می‌توان گفت اسیدسالیسیلیک و سیتوکینین از طریق تأثیر بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌توانند اثر تنش خشکی را کاهش دهند. در گزارشی به افزایش فعالیت کاتالاز با کاربرد اسیدسالیسیلیک ۱۰۰ میکرومولار در پنبه اشاره شده است که مطابق یا یافته‌های این پژوهش است (٤٢). رشیدی و همکاران (۱۳۹۸) در طی پژوهشی بر روی بذرهای زوال‌یافته ذرت گزارش کردند که زمانی که این بذرها با هورمون سیتوکینین تیمار شدند فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت (٤٣). امیدی‌نسب و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهش‌های خود بر روی آفتابگردان نشان دادند تنش کم‌آبیاری موجب افزایش میزان کاتالاز و سوپراکسیددیس‌موتاز می‌گردد، در تنش آبیاری متوسط، بیش‌ترین میزان کاتالاز متعلّق به رقم اسکار با میانگین ۰/۰۰٤۹ یونیت در هر میلی‌لیتر در هر گرم وزن تازه برگ بود (٤٤). کورلتو و همکاران (۲۰۰۸) افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر کاربرد اسیدسالیسیلیک در شرایط تنش در گیاه گلرنگ را تأیید کردند و با توجه به نتایج مشخص شد که اسیدسالیسیلیک موجب القای فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش شدید گردید و این میزان بیش‌تر از گیاهان شاهد بود (٤٥). سیدیکو و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف باقلا گزارش دادند که با افزایش سطح تنش خشکی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سوپراکسیددیس‌موتاز و پراکسیداز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت (٤٦). آنزیم کاتالاز ($r=۰/۸٤^{**}$)، پراکسیداز ($r=۰/٥٦^{*}$) و سوپراکسید دیس‌موتاز ($r=۰/۸٦^{**}$) با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ٤). این نشان می‌دهد که افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط کاربرد برگی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود.

عملکرد دانه: مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری، تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کم‌ترین عملکرد دانه را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک عملکرد دانه افزایش یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱٦ روز عملکرد دانه به ترتیب ۲۱ و ٥٤ درصد کاهش یافت. (جدول ۳). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه در تمام‌دورهای آبیاری داشت. بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ٥۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی ٥۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روزه به‌دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱٦ روز دارای کم‌ترین عملکرد دانه بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روز کاربرد سیتوکینین در سطح ٥۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک ٤۰۰

میکرومولار به ترتیب باعث افزایش ۳۳ و ۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۱۶/۵ و ۳ درصد دور آبیاری ۱۶ روز ۷۲ و ٦٤ درصد بود (جدول ۳). نتایج این پژوهش نشان داد وقوع تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه هر سه سطح هورمون شد و با افزایش دور آبیاری و اعمال تنش خشکی در دور آبیاری ۱٦ روز به لحاظ تسریع در سپری شدن مراحل تلقیح و پرشدن دانه و کوتاه شدن مدت‌زمان پرشدن دانه عملکرد محصول به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر تنش قرار گرفت. در شرایط تنش خشکی با بسته شدن روزنه‌ها و کاهش محتوی نسبی آب برگ و کاهش مواد فتوسنتزی عملکرد دانه به‌شدت کاهش یافت. سیتوکینین از طریق بهبود تحریک تقسیم سلولی (٤٧)، شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، تأخیر در پیری برگ پیری (٤٨)، بهبود فتوسنتز (٣٤) و رنگیزه‌های کلروفیل (٤٩)، بهبود جذب عناصر غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی و افزایش قدرت منبع و مخزن (٥٠) درنهایت عملکرد دانه را افزایش می‌دهد. به‌نظر می‌رسد هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک با ایجاد رابطه مخزن منبع جدید موجب جابجایی مواد غذایی می‌شود یا ممکن است سوخت‌وساز محل تیمار با سیتوکینین تحریک شود درنتیجه مواد غذایی به آن‌طرف حرکت می‌کنند. کاربرد هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش سطح برگ و افزایش سطح فتوسنتزکننده گیاه باعث کاهش اثرهای نامطلوب تنش شده و درنهایت عملکرد دانه افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش‌ها بر روی آفتابگردان نشان داد که تنش کم‌آبیاری نسبت به حالت بدون تنش موجب کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه گردیده است، به‌طوری‌که رقم اسکار در تیمار شاهد بدون تنش با میانگین عملکرد دانه ٥/٣٤ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد دانه در هکتار را تولید نمودند (٤٤). در بررسی اثر هورمون سیتوکینین در شرایط تنش گرما بر عملکرد دانه آفتابگردان مشخص شد که تنش گرمای ناشی از کشت تأخیری و دیرهنگام به ترتیب باعث کاهش ۱۸ و ۳٦ درصدی عملکرد دانه نسبت به کشت به‌هنگام می‌شود. هم‌چنین، غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین موجب بهبود عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و عدم تنش گرمایی شد (٥١).

عملکرد روغن: مقایسه میانگین برهمکنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کم‌ترین عملکرد روغن را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک درصد روغن افزایش‌یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱٦ روز درصد روغن به‌ترتیب ۲۵ و ٦٦ درصد کاهش یافت (جدول ۳). تنش خشکی، باعث بروز اختلال در پر شدن دانه‌ها می‌شود و طول دوره پر شدن دانه‌ها را کاهش می‌دهد؛ بنابراین فرصت برای تجمع پروتئین دانه فراهم می‌شود و درنتیجه درصد روغن کاهش می‌یابد. درواقع تنش خشکی به‌ویژه در هنگام رسیدگی دانه‌ها، درصد روغن را کاهش و درصد پروتئین را افزایش می‌دهد و در این حالت، فرصت کافی برای تولید روغن از پروتئین‌ها فراهم نمی‌شود (٥٢). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد روغن در تمام‌دورهای آبیاری داشت. بیش‌ترین میزان عملکرد روغن در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به‌دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیش‌ترین عملکرد روغن مربوط به سطح محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکنین در دور آبیاری ۸ روزه و کم‌ترین مقدار آن در سطح محلول‌پاشی شاهد (صفر) در دور آبیاری ۱٦ روزه به‌دست آمد (جدول ۲). در شرایط دور آبیاری ۸ روزه کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ٤٠٠

میکرومولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۳۳/۵ و ۱۲/۸ درصدی عملکرد روغن نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۱۹/۵ و ٤ درصد در دور آبیاری ١٦ روزه ۵۰ و ٤٤/۵ درصد بود (جدول ۳). ستیوکینین با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم روابط منبع و مخزن، باعث افزایش وزن دانه شده است و این درحالی‌که است که سیتوکینین‌ها با افزایش انتقال شیره پرورده به دانه، باعث افزایش مغز دانه به پوسته دانه می‌شوند؛ با افزایش نسبت مغز دانه به پوسته آن، درصد روغن نیز افزایش می‌یابد (۵۳). نورین و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند غلظت بالای اسیدسالیسیلیک به‌طور قابل‌توجهی عملکرد دانه، محتوی روغن و اسیدهای چرب غیراشباع ضروری را افزایش می‌دهد (٥٤). در پژوهشی بر روی آفتابگردان عملکرد روغن در کشت تأخیری و دیرهنگام به میزان ۲۲ و ۵۸ درصد در مقایسه با کاشت به هنگام کاهش یافت و غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین، نسبت به سایر غلظت‌ها سبب افزایش معنی‌دار عملکرد روغن شد و از این نظر با تیمار بدون محلول‌پاشی و ۲۵ میکرومولار اختلاف معنی‌داری نشان داد (۵۱). در پژوهش دیگر بر گلرنگ نشان داده شد تنش خشکی موجب کاهش عملکرد روغن در هردو تیمار کاربرد و عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک می‌گردد، به‌نحوی‌که بالاترین میزان عملکرد روغن در شرایط شاهد تنش خشکی و تحت کاربرد ٤۰۰ میکرومولار اسیدسالیسیلیک حاصل گردید و کم‌ترین مقدار این صفت نیز تحت تنش شدید و در شرایط عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک به‌دست آمد (۵۵). داوود و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند اسیدسالیسیلیک باعث القای گلدهی، افزایش عمر گل، تأخیر در پیری و افزایش ماده خشک و افزایش درصد روغن می‌شود (٥٦). ازآن‌جایی‌که میزان عملکرد دانه در میزان عملکرد روغن تأثیر به‌سزایی دارد، بنابراین بالا بودن عملکرد روغن در آفتابگردان به‌علت بالا بودن عملکرد دانه است. در این آزمایش نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد روغن با عملکرد دانه ($r=۰/۸۳^{**}$) بود (جدول ٤).

نتیجه‌گیری

در شرایط تنش شدید آبیاری (دور آبیاری ١٦ روز) شاخص سطح برگ، محتوی نسبی آب برگ، میانگین هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز و شاخص کلروفیل و درنتیجه عملکرد دانه و روغن کاهش یافتند. علت کاهش عملکرد دانه و روغن را می‌توان به‌واسطه کاهش هدایت روزنه‌ای، سرعت فتوسنتز، محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و شاخص سطح برگ دانست. محلول‌پاشی سیتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک با غلظت ٤۰۰ میکرومولار در دور آبیاری ۸، ۱۲ و ١٦ روز سبب بهبود این صفات گردید. هم‌چنین محلول‌پاشی سیتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار در تنش ١٦ روزه سبب بهبود تحمل تنش رقم اسکار و درنهایت افزایش قابل‌قبول عملکرد دانه و روغن گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت آبیاری ۸ روز و آبیاری ١٦ روز به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد روغن را نشان دادند. ازآنجایی‌که میزان عملکرد دانه در میزان عملکرد روغن تأثیر به‌سزایی دارد، بنابراین بالا بودن عملکرد روغن در آفتابگردان به‌علت بالا بودن عملکرد دانه است. کاربرد غلظت ۵۰ میکرومولار سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک با غلظت ٤۰۰ میکرومولار توانست در بهبود و یا توقف اثرات مخرب تنش ناشی از افزایش دور آبیاری در آفتابگردان مؤثرتر باشد. به‌نظر می‌رسد کاربرد سیتوکینین به‌صورت محلول‌پاشی بر روی برگ آفتابگردان، با افزایش تحرک و انتقال مواد ذخیره‌ای موجب افزایش تحمل به خشکی و افزایش عملکرد دانه و روغن در آفتابگردان می‌شود. افزایش دور

آبیاری تا ۱۲ روز باعث کاهش ۱۷ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه و روغن می‌گردد اما می‌توان با مصرف هورمون سیتوکینین و سالیسیلیک آن را جبران نمود و در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. مصرف هورمون اسیدسالیسیلیک با دوز ٤٠٠ میکرومولار، با توجه به کم‌ترین کاهش عملکرد دانه (۳۰ درصد) در شرایط آبیاری ١٦ روز، و مصرف سیتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار، به‌دلیل بیش‌ترین میزان عملکرد دانه تولیدی در هر سه سطح آبیاری، توانسته‌اند از کاهش بیش‌تر انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای تحت‌تأثیر تنش از سایر اندام‌ها به دانه‌ها جلوگیری کنند و در نتیجه اختلال کم‌تری در فعالیت فتوسنتز و آنزیم‌ها ایجاد نمایند. بنابراین، این دو هورمون می‌توانند به‌عنوان هورمون‌های مناسب در شرایط کمبود آب معرفی شوند. هر چند اثر سیتوکینین بهتر بوده است، با توجه به اختلاف قیمت بالای سیتوکینین نسبت به اسیدسالیسیلیک، استفاده از هر دو هورمون به کشاورزان در شرایط کم‌آبی، همراه با افزایش دوره آبیاری از ۸ به ۱۲ روز، توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

1. Yegorov, B., Turpurova, T., Sharabaeva, E., & Bondar, Y. (2019). Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound feed industry. *Food Science and Technology*, 13(1), 120-135.
2. Qayyum, A., Khan, S. U., Khan, S. A., Mehmood, A., Bibi, Y., Sher, A., & Jenks, M. (2017). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids evaluation for oil quality and yield attributes under spring planting conditions of haripur. *Planta Daninha*, 35(2), 1-6.
3. 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, 255-263.
4. Bettaieb, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., & Marzouk, B. (2011). Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis L. Acta Physiologiae Plantarum,* 33, 1103-1111.
5. Zandi, R., Rahnama, A., & Meskarbashi, M. (2024). Effects of deficit irrigation management on physiological and biochemical properties of two safflower cultivars. *Applied Field Crops Research,* 35(4), 24-1. [In Persian]
6. Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., Sabaghnia, N., & Amin abbasi, A. (2020). Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production,* 30 (3), 87-111. [In Persian]
7. Valipour, M., Rahnama, A., Hassibi, P., & Monsefi, A. (2025). Evaluation of morphological traits and yield and yield components of oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes in response to deficit irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences,* 18(2), 263-281. [In Persian]
8. Osugi, A., & Sakakibara, H. (2015). How do plants respond to cytokinins and what is their importance?. BMC Biology, 13, 102.
9. Dodd, I. C. (2003). Hormonal interactions and stomatal responses. *Journal of Plant Growth Regulation*, 22, 32-46.

10. Brault, M., & Maldiney, R. (1999). Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry,* 37(5), 403-412.
11. Sarafraz Ardakani, M. R. (2018). Antioxidant responses induced by quintine and 24epibrasinosteroid treatments in three wheat cultivars during drought stress in grain filling stage. *Plant Process and Function,* 8(29), 327-314. [In Persian]
12. Sharma, R. R., & Singh, R. (2009). Gibberellic acid influences the production of malformed and button berries, and fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae,* 119(4), 430-433.
13. Heydari, A., Bijanzadeh, A., & Naderi, R. (2013). Effect of end-of-season drought stress and salicylic acid on seed yield and plant shading temperature in two canola cultivars. *Crop Physiology*, 7(27), 53-37. [In Persian]
14. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., & Gasparikova, O. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. *Plant, Soil and Environment*, 52(4), 186-191.
15. Beers, R. F., & Sizer, I. W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Biological Chemistry*, 195(1), 133-140.
16. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880.
17. Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., & Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32(126), 93-101.
18. Esendel, E., Kevesoglu, K. E., Ulsa, N., & Aytac, S. (2013). Performance of late autumn and spring planted safflower under limited environment. Proceedings Third International Safflower Conferance, Beijing, China, June, 14-18.
19. 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 (*Vacciniumcorymbosum* L.). *Scientia Horticulturae,* 246 (2), 251-264.
20. Hamidou, F., Halilou, O., & Vadez, V. (2013). Assessment of groundnut under combined heat and drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 199(1), 1-11. **https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00518.x.**
21. Jam, B. J., Shekari, F. A. R. I. D., Azimi, M. R., & Zangani, E. S. M. (2012). Effect of priming by salicylic acid on germination and seedling growth of safflower seeds under $CaCl_2$ stress. *International Journal of Agricultural Research,* 2(12): 1097-1105.
22. Jameel, J., Anwar, T., Majeed, S., Qureshi, H., Siddiqi, E. H., Sana, S., Zaman, W., & Ali, H. M. (2024). Effect of salinity on growth and biochemical responses of brinjal varieties: implications for salt tolerance and antioxidant mechanisms. BMC Plant Biology, 24, 128.
23. Mohammed, A. R., & Tarpley, L. (2014). Differential response of two important Southern US rice (*Oryza sativa* L.) cultivars to high night temperature. *Australian Journal of Crop Science,* 8(2), 191-199.
24. Zhang, Y., Xu, S., Yang, S., & Chen, Y. (2015). Salicylic acid alleviates cadmiuminduced inhibition of growth and photosynthesis through upregulating antioxidant defense system in two melon cultivars (*Cucumis melo*). *Protoplasma,* 252(6), 911-92.
25. Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G., & Bukhov, N. G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat

cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology,* 57(2), 87-95.

26. Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Erinle, K. O., Iqbal, R., & Ahmad, S. (2019). Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 50(20), 2521-2533.
27. Tesfay, K., Walker, S., & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use eff-iciency of three grain legumes under water deficit conditions in semi-arid conditions. *European Journal of Agronomy,* 25 (2), 60-70.
28. Rezaei, A., Mohammadi Zinali, H., & Zali, A. 2018. Physiological responses of tolerant and sensitive canola cultivars to heat stress. *Agricultural Plant Science.* 50 (4), 89-98.
29. Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., & Wu, J. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield and water use efficiency in winter wheat. *Water*, 12(8), 2127.
30. Ashraf, F., & Siddiqi, E. H. (2024). Mitigation of drought-induced stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) via foliar application of Jasmonic acid through the augmentation of growth, physiological, and biochemical attributes. *BMC Plant Biology*, 24(1), 1-16.
31. El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley gains to the interactive effect of salinity and salicylic. *Plant Growth Regulation,* 45(13), 215-225.
32. Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Meena, R. C. (2005). Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. Biologia Plantarum, 49(4), 541-550.
33. Nguyen, T. H., Goossens, A., & Lacchini, E. (2022). Jasmonate. A hormone of primary importance for plant metabolism. *Current Opinion in Plant Biology,* 67, 102197.
34. Xie, Z., Jiang, D., Dai T., Jing, Q., & Cao, W. (2004). Effect of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regul*. 44 (2), 25-32.
35. Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Nadeem, M., Razmjoo, J., & Cheema, M. (2019). Foliage applications of jasmonic acid modulate the antioxidant defense under water deficit growth in sugar beet. *Spanish Journal of Agricultural Research,* 17, 0805-0805.
36. Maslenkova, L., Peeva, V., Stojnova, Z., & Popova, L. (2009). Salicylic acid-induced changes in photosystem II reactions in barley plants. *Biotechnology & Biotechnological Equipment,* 23(1), 297-305.
37. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany,* 68(3), 14-25.
38. Tas, S., & Tas, B. (2017). Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *World Journal of Agriculture Science,* 3(2), 178-183.
39. Golchin, Tavakoli, Afshin, & Mohseni Fard. (2022). The effect of cytokinin application on photosynthesis, gas exchange and safflower seed yield (*Carthamus tinctorius*) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 53(1), 149-160. [In Persian]
40. Moller, I. M., Jensen, P. E., & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plant. *Annual Review of Plant Biology,* 58 (2), 459-481.
41. Kumara, K. G. D., Xia, Y., Zhu, Z., Basnayake, B. M. V. S., & Beneragama, C. K. (2010). Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative enzyme activities and physiological characteristics in gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) grown under NaCl stress. Journal of Zhejiang University China, 36(3) 591-601.

42. Dabbert, T. A., & Gore, M. A. (2014). Challenges and perspectives on improving heat and drought stress resilience in cotton. *Journal of Cotton Science,* 18(2), 393-409.
43. Rashidi, S., Abbas Dekht, H., Gholami, A., & Tawakkul Afshari, R. (2018). The effect of seed priming hormone in the field on quantitative and qualitative characteristics of deteriorated corn cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science,* 50(2), 133-144. [In Persian]
44. Omidinasab, D., Meskarbashee, M., & Rahnama, A. (2020). Evaluation of quantitative and qualitative traits of promising sunflower cultivars for plant nutrition, competition Intraspecies and water scarcity stress in the conditions of North Khuzestan. PhD thesis. 414 p.
45. Corleto, A. (2008). A note on safflower plant ideotype suitable for Mediterranean environments. Waga Waga Conference, 1-4. Retrieved from *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4999-5013.
46. Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Al-Qutami, M. A., Al-Whaibi, M. H., Grover, A., Ali, H. M., & Al-Wahibi, M. S. (2015). Morphological and physiological characterization of different genotypes of faba bean under heat stress. *Saudi Journal of Biological Sciences,* 22(5), 656-663.
47. Roitsch, T., & Ehneb, R. (2000). Regulation of source/sink relations by cytokinins. *Plant Growth Regulation,* 32(2), 359-367.
48. Yang, J., Miao, W., & Chen, J. (2021). Roles of jasmonates and brassinosteroids in rice responses to high temperature stress–a review. *The Crop Journal,* 9 (5), 977-985.
49. Rabert, G. A., Rajasekar, M., & Manivannan, P. (2015). Triazole-induced drought stress amelioration on growth, yield, and pigments composition of *Helianthus annuus* L. (sunflower). *International Multidisciplinary Research Journal,* 5, 6-15.
50. Ullah, F., Bano, A., & Nosheen, A. (2012). Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany,* 44(6), 1873-1880.
51. Khajavi, M., Rahnama, A., Meskarbashi, M., Moosavi, S. A., & Harrison, M. T. (2024). Foliar application of cytokinin hormone on morphophysiological and yield traits of sunflower cultivars in late sowing date. *Applied Field Crops Research,* 36(1), 41-21. [In Persian]
52. Maleki, M., Ebrahimzade, H., Gholami, M., & Niknam, V. (2011). The efect of drought stress and exogenous abscisic acid on growth, protein content and antioxidative enzyme activity in sa_ron (*Crocus sativus* L.). *African Journal of Biotechnology,* 10, 9068-9075.
53. Maherkh, Azizi, Sadeghi, Akram, & Karimi. (2019). The effect of Streptomyces bacteria application on grain yield and its components in Singlecross 260 corn under drought stress conditions. *Seedling and Seed Crops,* 27(2), 165-181.
54. Nouraein, M., Bakhtiarzadeh, R., Janmohammadi, M., Mohammadzadeh, M., & Sabaghnia, N. (2019). The effects of micronutrient and organic fertilizers on yield and growth characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 42 (71), 249-264.
55. Goodarzian Ghafarokhi, M., Maskerbashee, M & Rahnama, A. (2020). Evaluation of physiological characteristics and performance of safflower cultivars in response to salicylic acid foliar application and end-of-season heat stress. *Iranian Journal of Plant Sciences*, 51(3), 59-72. [In Persian]
56. Dawood, M. G., Sadak, S. M., & Hozayen, M. (2012). hysiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant grown under newly reclaimed sandy soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(4), 82-89.