دانش
کشاورزی و تولید پایدار

Journal of Agricultural Science and Sustainable Production
Volume 36, Issue 1, 2026, Pages 135-150

Journal URL: https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir
Online ISSN: 2476-4329

Foliar Application of Cytokinin Hormone and Salicylic Acid on Morphological Traits and Yield of Sunflower Under Drought Stress

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

Received: 19 June 2024	Accepted: 28 November 2024

1- Ph.D. Student, Dept. of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
*Corresponding Author Email : a.rahnama@scu.ac.ir

Abstract

Background and Objectives: Sunflower productivity is strongly influenced by water availability, especially under drought stress. Plant growth regulators such as cytokinins and salicylic acid can enhancestress tolerance and improve yield by stimulating physiological processes. This study aimed to evaluate the effects of different irrigation intervals and foliar application of cytokinins and salicylic acid on seed and oil yield of sunflower under drought conditions.

Materials and Methods: The experiment was conducted using a split-plot arrangement based on a randomized complete block design at Shahid Chamran University of Ahvaz during the 2021–2022 growin g season. Irrigation intervals were assigned to the main plots, while hormone treatments were allocated to subplots. The main factor consisted of three irrigation intervals (8, 12, and 16 days). The sub-factor included five hormone treatments: control (no hormone), cytokinin at 25 and 50 µmol. L^{-1}, and salicylic acid at 200 and 400 mmol. L^{-1}.

Results: Increasing the irrigation interval from 8 days to 12 and 16 days led to a significant reduction in plant height, stem diameter, number of seeds per plant, 1000-seed weight, seed yield, biomass yield, oil yield, and oil percentage, while empty seeds increased under water deficit conditions. Results indicated the negative impact of prolonged irrigation intervals on sunflower productivity. However, the application of plant growth regulators partially alleviated these adverse effects. Under the 16-day irrigation intreval, seed yield increased by 69%, 72%, 37%, and 64% with the application of cytokinin at 25 and 50 µmol. L^{-1} and salicylic acid at 200 and 400 mmol. L^{-1}, respectively, compared with the control treatment. Furthermore, the application of cytokinin at 50 µmol. L^{-1} under irrigation intervals of 8, 12, and 16 days increased seed yield by 33%, 16.5%, and 72%, respectively. Similarly, oil yield was improved by 33.5%, 19.5%, 50%, and 24% under the same conditions compared with hormone-deficit plants, highlighting the positive role of cytokinin in yield performance under both optimal and drought stress conditions.

Conclusion: Cytokinin and salicylic acid can be considered effective strategies for improving the allocation of photosynthetic assimilates, seed yield, and oil yield in sunflower under both optimal irrigation and drought stress conditions. Although both hormones showed beneficial effects, cytokinin at a concentration of 50 µmol. L^{-1} was the most effective.

Keywords: Benzylaminopurine, Empty Seeds, Irrigation Round, Oil Percentage, Yield Components

This is an open-access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)
Copyright@ 2026 Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi Email : a.rahnama@scu.ac.ir
https://doi.org/ 10.22034/saps.2024.61745.3224

نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، صفحات ۱۵۰-۱۳۵

دانش کشاورزی و تولید پایدار

اثر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک و عملکرد آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸

۱-دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲-استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

مقدمه و اهداف: عملکرد آفتابگردان به شدت تحت تأثیر میزان دسترسی به آب به ویژه در شرایط تنش خشکی قرار دارد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین‌ها و اسید سالیسیلیک می‌توانند با تقویت فرآیندهای فیزیولوژیکی، تحمل گیاه به تنش و عملکرد آن را بهبود دهند. این مطالعه با هدف بررسی اثرات فواصل مختلف آبیاری و کاربرد برگی این هورمون‌ها بر رشد، عملکرد بذر و عملکرد روغن آفتابگردان در شرایط بدون تنش و تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. فواصل آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی و تیمارهای هورمونی به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. عامل اصلی شامل سه دور آبیاری (۸، ۱۲ و ۱۶ روز) و عامل فرعی شامل پنج تیمار هورمونی شامل شاهد (بدون هورمون)، سیتوکینین در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومول بر لیتر، و اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مول بر لیتر بود.

یافته‌ها: افزایش دور آبیاری از ۸ روز به ۱۲ و ۱۶ روز باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد دانه در هر بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد روغن و درصد روغن شد، در حالی که تعداد دانه‌های پوک افزایش یافت. نتایج نشان‌دهندهٔ اثر منفی افزایش دور آبیاری بر رشد و عملکرد دانهٔ آفتابگردان بود. با این حال، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تا حدی این اثرات نامطلوب را کاهش داد. در دور آبیاری ۱۶ روز، عملکرد دانه نسبت به شاهد به ترتیب با کاربرد سیتوکینین در غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میکرومول بر لیتر و اسید سالیسیلیک در غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مول بر لیتر به میزان ۶۹، ۷۲، ۳۷ و ۶۴ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، کاربرد سیتوکینین در غلظت ۵۰ میکرومول بر لیتر در دورهای آبیاری ۸، ۱۲ و ۱۶ روز باعث افزایش عملکرد دانه به ترتیب ۳۳، ۱۶/۵ و ۷۲ درصد شد. به طور مشابه، عملکرد روغن نیز نسبت به گیاهان فاقد تیمار هورمونی به میزان ۳۳/۵، ۱۹/۵، ۵۰ و ۲۴ درصد بهبود یافت که نقش مثبت سیتوکینین را در بهبود عملکرد تحت شرایط بهینه و تنش خشکی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: سیتوکینین و اسید سالیسیلیک را می‌توان به عنوان راهبردی مؤثر برای بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی، عملکرد دانه و عملکرد روغن در آفتابگردان تحت هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی در نظر گرفت. اگرچه هر دو هورمون اثرات مفیدی نشان دادند، اما سیتوکینین در غلظت ۵۰ میکرومول بر لیتر مؤثرترین تیمار بود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، بنزیل‌آمینو پورین، پوکی دانه، درصد روغن، دور آبیاری

مقدمه

دانه‌های روغنی از محصولات باارزش بخش کشاورزی به شمار می‌روند که به‌عنوان مادهٔ اولیه صنایع روغن‌کشی نقش اساسی را ایفا می‌کنند (یه گروو و همکاران ۲۰۱۹). تنش‌های زیستی و غیر زیستی می‌توانند عملکرد فیزیولوژیکی گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و قابلیت‌های بیوسنتزی آن‌ها را کاهش دهند. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که مانع تحقق کامل پتانسیل‌های ژنتیکی گیاهان زراعی می‌شود و درنتیجه باعث کاهش عملکرد می‌شود (چیمنتی و همکاران ۲۰۰۲). این تنش بر پارامترهای فیزیولوژیکی پوشش گیاهی از جمله فتوسنتز، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه تأثیر قابل‌توجهی دارد (کات رجی و همکاران ۲۰۰۲). مطالعات نشان داده‌اند که کمبود آب باعث ایجاد محدودیت‌های روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای در طول دورهٔ فتوسنتزی گیاه می‌شود (ایزانلو و همکاران ۲۰۱۴).

تنش خشکی همچنین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود که در تخریب سامانهٔ فتوسنتزی، مهار فرایندهای متابولیکی، کلروز، پراکسیداسیون لیپیدها، تغییر در نفوذپذیری غشا و نشت یون‌ها نقش ویژه‌ای دارد. در این راستا، گیاهان با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی از ساختارهای سلولی خود در برابر رادیکال‌های فعال تولیدشده در شرایط تنش محافظت می‌کنند (بتاییب و همکاران ۲۰۱۰). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل هورمون‌های طبیعی و مصنوعی هستند که در تنظیم و کنترل فرآیندهای رشدی و فیزیولوژیکی گیاه، افزایش تحمل به تنش‌ها و بهبود عملکرد و کیفیت گیاه مشارکت می‌کنند. کاربرد تیمارهای خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد با تأثیر بر سیستم آنتی‌اکسیدانی و روابط منبع-مخزن، آثار نامطلوب تنش‌های محیطی را در سطوح مولکولی، سلولی، بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و محصول‌دهی کاهش دهد (کایا و همکاران ۲۰۱۰). سیتوکینین یکی از این هورمون‌ها است که باعث افزایش تقسیم سلولی، رشد و نمو گیاه و واکنش به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شود. این هورمون از پیری گیاه جلوگیری کرده و در جذب و انتقال مواد غذایی مؤثر است (اوسوگی و همکاران، ۲۰۱۵). سیتوکینین همچنین نقش مهمی در پیام‌رسانی واکنش‌های مولکولی نزدیک و دور دارد، تشکیل جوانه‌ها، رشد بخش هوایی، توسعه برگ‌ها و سنتز کلروفیل را تحریک می‌کند، پیری برگ را به تأخیر می‌اندازد و باعث افزایش تحمل گیاه به شوری، دمای پایین و خشکی می‌شود و در برخی گونه‌ها باعث القای باز شدن روزنه‌ها می‌شود (دود و همکاران، ۲۰۰۳).

از دیگر محرک‌های رشد که اخیراً مورد توجه قرار گرفته، اسید سالیسیلیک است؛ یک تنظیم‌کننده درون‌زا که به‌عنوان سیگنال دفاعی سیستمیک در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی عمل می‌کند (راموس و همکاران، ۲۰۲۳). اسید سالیسیلیک ترکیبی فنولی و تنظیم‌کننده فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف در گیاه است. این هورمون در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، القای گلدهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن و تنفس نقش دارد و به نظر می‌رسد بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی و شوری شود که افزایش رشد صفات ظاهری گیاه از جمله ارتفاع، طول و تعداد میانگره را به همراه دارد (فایزان و همکاران، ۲۰۱۲).

مطالعات نشان داده‌اند که تیمارهای برگی با هورمون‌هایی مانند گلیسین بتائین، پرولین، ایندول استیک اسید، سیتوکینین (۶-بنزیل‌آمینوپورین) و اسید اسکوربیک در شرایط تنش آبی می‌تواند طول و وزن اندام هوایی و ریشه را کاهش داده و کلروفیل و کاروتنوئیدها را تحت تأثیر قرار دهد، در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد کاهش می‌یابد (العبود و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین کاربرد سیتوکینین در سطوح مشخص، ویژگی‌های مورفولوژیک و عملکرد دانه و روغن را در شرایط تنش گرما بهبود می‌بخشد (خواجوی و همکاران،

۲۰۲۳). نقش تنظیم کنندگی سیتوکنین بر ترکیب اسیدهای چرب و عملکرد کمی و کیفی روغن در شرایط تنش‌های غیر زیستی نظیر تنش گرما نیز گزارش شده است (راهنما و همکاران، ۲۰۲۶).

اسید سالیسیلیک تنظیم‌کننده زمان گلدهی در گیاهان است و انتقال از مرحلهٔ رویشی به زایشی را در گیاهان تحت تنش تسریع می‌کند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم کننده منفی ژن‌های بازدارنده گلدهی و پوکی دانه و فعال‌کننده ژن‌های تحریک‌کننده گلدهی عمل می‌کند (مارتینز و همکاران،۲۰۰۴). مطالعات نشان داده‌اند که غلظت بالای اسیدسالیسیلیک به‌طور قابل‌توجهی عملکرد دانه، محتوی روغن و اسیدهای چرب غیراشباع ضروری را افزایش می‌دهد (نورین و همکاران ۲۰۰۹؛ دیناروندی و همکاران، ۲۰۲۵). داوود و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کرده‌اند که اسید سالیسیلیک باعث القای گلدهی، افزایش عمر گل، تأخیر در پیری، افزایش ماده خشک و افزایش درصد روغن می‌شود. کلانتر احمدی و همکاران (۲۰۱۷) و دیناروندی و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری درصد روغن دانه آفتابگردان و کلزا را افزایش می‌دهد. در آزمایش دیگری، بررسی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد گیاه کلزا تحت تنش خشکی نشان داد که این هورمون بر صفاتی چون طول خورجین و تعداد دانه در خورجین اثر معنی‌داری دارد. تنش خشکی باعث کاهش ۴۰ درصدی عملکرد ارقام شد، اما مصرف اسید سالیسیلیک به غلظت دو میلی‌مولار توانست کاهش عملکرد را تا ۱۳ درصد جبران کند (حیدری و همکاران، ۲۰۱۴).

سطح زیر کشت آفتابگردان در استان خوزستان حدود ۷۰۰ هکتار ومیانگین تولید این محصول دو تن در هکتار گزارش شده است (آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ۱۴۰۰). توجه روزافزون به کشت و توسعه دانه‌های روغنی در ایران و استان خوزستان که جز اولویت برنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی می‌باشد اهمیت این محصولات را نشان می‌دهد. با توجه به گرمای فصل کشت و تنش‌های خشکی وارده به گیاه در این منطقه، استفاده از تیمارهای هورمونی می‌تواند از کاهش کیفیت و کمیت دانه آفتابگردان جلوگیری کرده و در نهایت به عملکرد مطلوب دانه و روغن منجر شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک، عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی در شرایط آب و هوایی اهواز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد برگی دو هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی آفتابگردان رقم اسکار تحت شرایط تنش خشکی، آزمایشی مزرعه‌ای در مزرعه آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی، شامل دور آبیاری در سه سطح (۸، ۱۲ و ۱۶ روز) و فاکتور فرعی نیز شامل ۵ سطح هورمون (بدون مصرف هورمون به‌عنوان شاهد، هورمون سیتوکینین در دو سطح ۲۵ و ۵۰ میکرومولار و اسیدسالیسیلیک در دو سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار) در نظر گرفته شد. به‌منظور اطمینان از اعمال تنش، رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (,ProCheck Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد. پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین، پشته‌بندی و ایجاد نهرهای آبیاری، بر اساس نقشه طرح اقدام به کشت شد. نیازهای کودی خاک با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) تأمین شد. به میزان ۱۰۰ کیلو در هکتار از هر کود فسفره و پتاسه به‌علاوه یک‌سوم کود نیتروژن از منبع اوره (۱۰۰ کیلو در هکتار) همزمان با کاشت (به‌عنوان کود پایه) و دوسوم باقیمانده کود اوره (۲۰۰ کیلو در هکتار) در اوایل غنچه دهی (مرحلهٔ ۵۵-۵۰ بر اساس مقیاس BBCH) به‌صورت سرک اواسط فروردین‌ماه مصرف شد. کاشت بذور در تاریخ ۳۰ بهمن‌ماه با فاصله ردیف ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. در هر تکرار به‌صورت جوی و پشته در کرت‌هایی به ابعاد ۳ در ۴ متر شامل ۴ پشته کشت شد. بذور روی خطوط کشت و در عمق ۵-۳ سانتی‌متر به‌صورت کپه‌ای کشت گردیدند. در مرحلهٔ ۳ تا ۴ برگی گیاهچه‌ها به‌منظور دستیابی به تراکم ۸ بوته در مترمربع عملیات تنک انجام شد. آبیاری مزرعه مطابق با تیمارهای آبیاری به‌صورت نشتی و هم‌چنین وجین علف‌های هرز

انجام گرفت. آبیاری به‌صورت هشت روز یک‌بار تا اوایل مرحلهٔ غنچه دهی انجام شد و پس ازآن تیمارهای آبیاری تا زمان برداشت اعمال گردید. کاربرد غلظت‌های مختلف هورمون سیتوکینین و اسیدسالیسیلیک در مرحله ظهور غنچه دهی (مرحلهٔ ۵۵-۵۰ بر اساس مقیاس BBCH) اعمال شد. آمار هواشناسی مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰ و برخی از مشخصات خاک به ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: آمار هواشناسی مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

	ماه				
دما / بارندگی	بهمن‌ماه	اسفندماه	فروردین‌ماه	اردیبهشت‌ماه	خردادماه
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد)	۳۰/۵	۳۴/۳	۳۸/۲	۴۸/۸	۴۹/۳
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۰/۲	۱۴/۲	۱۷/۴	۲۶/۵	۳۲/۱
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۰/۴	۲۴/۳	۲۷/۸	۳۷/۷	۴۰/۷
میزان بارندگی (میلی‌متر)	۱۲/۱	۳	-	-	-

جدول ۲: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق خاک	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
Soil depth(cm)	Ec(dS. m^{-1})	pH	Soil texture	N (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})
۳۰-۰	۱/۶۱	۷/۴۱	Caly loam	۰/۰۲۱	۱۶	۱۹۹
۶۰-۳۰	۱/۲۹	۷/۴۵	Caly loam	۰/۰۱۹	۱۲/۸	۱۵۵

پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها، هنگامی‌که پشت طبق در ۹۰ درصد بوته‌ها به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای متمایل گردید و بذرها رطوبتی معادل ۱۰ درصد (دستگاه رطوبت‌سنج WILL 55) داشتند، از دو خط وسط هر کرت و پس از حذف حاشیه، برداشت محصول انجام شد. سپس ارتفاع ساقه ، تعداد دانه‌های هر طبق و وزن دانه‌های هر طبق محاسبه و ثبت گردید. جهت برآورد عملکرد دانه با استفاده از کوادرات ۲۲ متر مربع نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس بوته‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه منتقل و در آوَن در دمای ۷۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شده و سپس وزن ماده خشک نمونه‌های آزمایشی محاسبه گردید. پس از جدا کردن دانه‌های نمونه‌های هر کرت، عملکرد دانه در هر مترمربع محاسبه شد. جهت تعیین درصد روغن از دستگاه سوکسله (مدل ۲۰۵ شرکت FOSS تولید کشور آلمان) بر پاهٔ تغییرات وزنی (لطیف و انوار ۲۰۰۸) استفاده گردید. درنهایت تجزیه واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخهٔ ۹/۲ 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 بین دورهای آبیاری و سطوح مختلف هورمونی ازنظر کلیه صفات در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. برهم‌کنش دور آبیاری و سطوح مختلف هورمون نیز برای کلیه صفات به‌جز وزن هزاردانه معنی‌دار بود (جدول ۳).

ارتفاع بوته

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین ارتفاع را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک ارتفاع بوته افزایش یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶روز ارتفاع بوته به ترتیب ۳و ۱۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۳: میانگین مربعات کاربرد برگی هورمون سایتوکینین و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی آفتابگردان در شرایط تنش خشکی

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه	درصد پوکی دانه	عملکرد دانه	عملکرد زیست‌توده	درصد روغن	عملکرد روغن
بلوک	۲	۲۹۳۰.^{ns}	۰/۲۱۶*	۱۱۶۳**	۰/۱۹۵^{ns}	۲/۱۲۹*	۰/۰۲۴^{ns}	۲۱/۵۷**	۰/۸۵۲^{ns}	۲۵۲۰**
آبیاری	۲	۱۰۰۴۸**	۱۵/۰۱**	۱۸۴۱**	۵/۹۶۹**	۳۰۷/۵۸**	۳/۴۶۷**	۳۱/۸۵۸**	۴۸۵/۱۹**	۳۲۰۴۹۱**
خطا	۴	۱۰۸	۰/۴۱	۶۶۸۹	۰/۱۰۹۴	۰/۴۵۹۲	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۹۹	۰/۶۲۵	۱۴۲
هورمون	۴	۳۵۱۰**	۲/۱۶**	۷۷۸۶**	۰/۵۷۳۴**	۲۵/۳۰۷۲**	۰/۴۴۳**	۲/۸۴۸۳**	۲۹/۹۹۱**	۲۸۶۹۵**
آبیاری × هورمون	۸	۲۱۴۰**	۰/۴۰**	۷۳۶^{ns}	۰/۱۶۹۰^{ns}	۱/۹۳۱۲**	۰/۰۶۴۷**	۰/۱۰۸۶**	۳/۱۵۸**	۲۸۱۷**
خطا	۲۴	۱۱۳	۰/۰۴۲۷	۱۶۷۰	۰/۱۵۴۶	۰/۳۰۲۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۵۹	۱/۲۲	۱۳۱
ضریب تغییرات (٪)		۶/۵	۱/۷	۶/۹	۷/۵	۳.۷۵	۲/۲	۱/۳	۶/۴۴	۳/۵۱

:معنی‌دار در سطح ۱٪،: معنی‌دار در سطح ۵٪،ns: غیر معنی دار است.

جدول۴: برهمکنش کاربرد برگی هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک، تنش خشکی بر برخی صفات مورفولوژیک و عملکرد کمی آفتابگردان

دور آبیاری	تیمار هورمونی	ارتفاع بوته (cm)	قطر طبق (cm)	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه (g)	درصد پوکی دانه	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیست توده ($kg.ha^{-1}$)	درصد روغن	عملکرد روغن($kg.ha^{-1}$)
۸ روز	شاهد	۱۷۲ ^{abc}	۱۲/۵ ^{c}	۶۸۸^{ab}	۵۷/۳۶ $^{a–c}$	۱۲/۱ ^{gh}	۲۱۹۰ ^{d}	۶۴۲۰ e	۴۴/۶۹^{cd}	۹۷۸/۷۱ ^{e}
	۲۰۰سالیسیلیک	۱۷۹/۸ $^{a–d}$	۱۲/۵	۶۴۷ $^{b-d}$	۵۵/۴۳ $^{a–d}$	۱۱/۳ ^{hi}	۲۲۷۰ ^{c}	۶۷۰۰ ^{d}	۴۵/۱۶ ^{c}	۱۰۲۵/۱ ^{d}
	۴۰۰ سالیسیلیک	۱۸۵ ^{ab}	۱۳/۰۸ ^{b}	۷۰۳ ^{ab}	۵۸/۴۳ ^{ab}	۹/۶ ^{j}	۲۳۴۶ ^{c}	۷۳۶۶ ^{b}	۴۷/۸۳ ^{b}	۱۱۲۲/۱ ^{b}
	۲۵ سیتوکینین	۱۸۱/۵ $^{a–c}$	۱۲/۵۸ ^{c}	۶۷۹$^{a-c}$	۵۷ $^{a–c}$	۱۰/۷ ^{i}	۲۴۹۰ ^{b}	۶۸۳۳ ^{c}	۴۶/۳ ^{bc}	۱۱۵۲/۹ ^{c}
	۵۰ سیتوکینین	۱۸۸/۵ ^{a}	۱۳/۹ ^{a}	۷۴۲ ^{a}	۶۰/۶۷ ^{a}	۸/۳ ^{k}	۲۹۱۳ ^{a}	۷۹۸۰ ^{a}	۵۰/۵۳ ^{a}	۱۴۷۱/۹ ^{a}
۱۲ روز	شاهد	۱۶۶/۶ ^{cd}	۱۱/۷۵ ^{ef}	۵۷۷ ^{ef}	۵۱/۱۳ $^{c–e}$	۱۵/۴ ^{de}	۱۸۰۳ ^{g}	۵۱۰۰ ^{j}	۴۰/۵۵ ^{e}	۷۳۱/۱۲ ^{i}
	۲۰۰سالیسیلیک	۱۶۸/۱ $^{b–d}$	۱۱/۸۳ ^{ef}	۵۷۶ ^{ef}	۵۲/۷۳ $^{b–d}$	۱۵ ^{e}	۱۸۱۰ ^{g}	۵۳۳۳ ^{i}	۳۹/۲۷ ^{ef}	۷۱۰/۷۹ ^{i}
	۴۰۰ سالیسیلیک	۱۷۳ $^{a-d}$	۱۲ ^{de}	۶۰۱ ^{de}	۵۴/۰۳ $^{b-d}$	۱۳/۸ ^{f}	۱۸۵۳ ^{g}	۵۸۸۰ ^{g}	۴۰/۸۴ ^{e}	۷۵۶/۷۷ ^{g}
	۲۵ سیتوکینین	۱۷۰/۵ $^{b-d}$	۱۲ ^{de}	۵۹۷ ^{de}	۵۳/۶۶ $^{b-d}$	۱۳/۸ ^{f}	۱۹۶۶ ^{f}	۵۶۷۸ ^{h}	۳۹/۹۷ ^{ef}	۷۸۵/۸۱ ^{h}
	۵۰ سیتوکینین	۱۷۵/۱ $^{a-d}$	۱۲/۲۵ ^{cd}	۶۱۵ ^{cde}	۵۴/۳ $^{b-d}$	۱۲/۵ ^{g}	۲۱۰۳ ^{e}	۶۰۸۶ ^{f}	۴۳/۲۴ ^{d}	۹۰۹/۳۴ ^{f}
۱۶ روز	شاهد	۱۴۹/۶ ^{f}	۹/۷۵ ^{h}	۴۲۴ ^{i}	۳۷/۶ ^{g}	۲۳ ^{a}	۱۰۰۰ ^{k}	۳۱۸۰ ^{o}	۳۲/۸۴ ^{j}	۳۲۸/۴ ^{m}
	۲۰۰سالیسیلیک	۱۶۰ ^{e}	۱۰/۶۶ ^{g}	۴۳۹ ^{hi}	۴۴/۱۶ ^{fg}	۲۰ ^{b}	۱۳۶۶ ^{j}	۳۸۰۰ ^{n}	۳۲/۹۴ ^{i}	۴۷۷/۲۸ ^{l}
	۴۰۰ سالیسیلیک	۱۶۴/۸ ^{cd}	۱۱/۵ ^{f}	۵۰۴ ^{gh}	۴۹/۴ ^{ef}	۱۷/۹ ^{c}	۱۶۴۰ ^{i}	۴۷۰۶ ^{l}	۳۶/۰۸ ^{hi}	۵۹۱/۷۱ ^{k}
	۲۵ سیتوکینین	۱۶۳/۵ ^{d}	۱۱ ^{g}	۴۶۹ ^{gh}	۴۵/۵۳ ^{ef}	۲۰ ^{b}	۱۶۹۶ ^{hi}	۴۱۵۳ ^{m}	۳۶/۹۸ ^{hg}	۶۲۷/۱۸ ^{l}
	۵۰ سیتوکینین	۱۶۵/۵ ^{cd}	۱۱/۶۶ ^{ef}	۵۱۷ ^{fg}	۴۹/۹۳ ^{def}	۱۶/۳ ^{d}	۱۷۲۳ ^{h}	۴۸۸۶ ^{k}	۳۸/۲ ^{fg}	۶۵۸/۱۹ ^{j}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال پنج درصد، اختلاف معنی‌دار ندارند

محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر ارتفاع در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان ارتفاع بوته در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین میزان ارتفاع بوته ۱۷۲ سانتی‌متر در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روز به دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶ روزه دارای کمترین ارتفاع بوته (۱۵۰ سانتی‌متر) بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روز کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۱۰ و ۷/۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید. درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۵ و ۳/۶ درصد در دور آبیاری ۱۶ روزه ۱۵ و ۱۰ درصد بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد با افزایش تنش خشکی به گیاه اثر هورمون‌ها در افزایش ارتفاع گیاه نیز بیشتر شده و همچنین اثر هورمون سیتوکینین به‌جز در آبیاری ۱۶ روزه بیشتر از اسید سالیسیلیک بوده است. نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ارتفاع بوته و عملکرد دانه (r =۰/۷۸**) بود (جدول ۵).

جدول ۵: ضرایب همبستگی صفات مورفولوژیک و زراعی آفتابگردان در شرایط خشکی

صفات	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	قطر طبق	تعداد دانه در طبق	وزن هزار دانه	درصد پوکی	عملکرد زیست‌توده	درصد روغن	عملکرد روغن
ارتفاع بوته	۱								
عملکرد دانه	۰.۷۸**	۱							
قطر طبق	۰/۸۲**	۰/۹۶**	۱						
تعداد دانه در طبق	۰/۶۴**	۰/۸۷**	۰/۸۸**	۱					
وزن هزاردانه	۰/۷۳**	۰/۸۰**	۰/۸۴**	۰/۸۹۲۳۴**	۱				
درصد پوکی	-۰/۷۶**	-۰/۹۴**	-۰/۹۵**	-۰/۹۰**	-۰/۸۴**	۱			
عملکرد زیست‌توده	۰/۷۴**	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۹۲**	۰/۸۳**	-۰/۹۸*	۱		
درصد روغن	۰/۷۰**	۰/۹۵**	۰/۹۳**	۰/۹۲**	۰/۷۹**	-۰/۹۴**	۰/۹۶**	۱	
عملکرد روغن	۰/۶۶**	۰/۹۵**	۰/۹۴**	۰/۸۹**	۰/۷۹**	-۰/۹۵**	۰/۹۸**	۰/۶۶**	۱

s، **و * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد می‌باشد

تأثیر هورمون سیتوکنین برافزایش ارتفاع بوته بیشتر از اسیدسالسیلیک بود. کاهش ارتفاع ساقه در گیاهان تحت تنش ممکن است به علت کاهش بیان سیتوکینین از ریشه (لیو و همکاران ۲۰۰۴) و یا به علت اثرات سیتوکنین بر تحریک رشد تقسیم و تمایز سلولی و تمایز اندام‌های هوایی باشد (حسین و همکاران ۲۰۱۵). کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی در مرحلهٔ رشد رویشی احتمالاً به دلیل کاهش تقسیم سلولی و ممانعت از طویل شدگی سلول به جهت تسریع تکمیل چرخهٔ زندگی گیاه برای فرار از خشکی می‌باشد (هامادا و همکاران ۲۰۰۱). به‌بیان‌دیگر کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی یک نوع سازگاری آفتابگردان در تقابل با تنش است، با شروع آثار تنش خشکی، گیاه شروع به تقسیم شیرهٔ پرورده از ساقه و استفاده آن برای افزایش رشد ریشه در جهت افزایش جذب آب می‌کند (ماهرخ و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهش‌های اخیر مشاهده‌شده که محلول‌پاشی سیتوکینین در گیاه گندم (زهیر و همکاران ۲۰۱۹) و ذرت (ماهرخ و همکاران ۲۰۱۵)، سبب افزایش ارتفاع بوته گردیده که با یافته‌های این پژوهش همسو می‌باشد. اسیدسالیسیلیک نیز با تأثیر بر تقسیم سلولی به‌ویژه

مریستم انتهایی ساقه میزان رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شاکیروا و همکاران ۲۰۰۳).

قطر طبق

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمارشاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین قطر طبق را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک تعداد دانه در طبق افزایش‌یافته است. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز تعداد دانه در طبق به ترتیب ۶ و ۲۸ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر قطر طبق در تمام‌دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان قطر طبق در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین میزان قطر طبق (۱۲/۵ سانتی‌متر) در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روزه به دست آمد و ترکیب تیماری بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶ روزه دارای کمترین تعداد دانه در طبق (۹/۷۵ سانتی‌متر) می‌بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روزه کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی‌مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۱۱ و ۵ درصدی قطر طبق نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۴ و ۲ درصد در دور آبیاری ۱۶ روز۱۹/۵ و ۱۷/۵ درصد بود (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین قطر طبق و عملکرد دانه (r =۰/۹۶**) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد با افزایش تنش خشکی به گیاه اثر هورمون‌ها در افزایش قطر طبق نیز بیشتر شده و همچنین اثر هورمون سیتوکینین بیشتر از اسیدسالیسیلیک بوده است. گل‌های بارور سطح طبق پس از تلقیح تبدیل به دانه می‌شوند و کاهش قطر طبق در دور آبیاری ۱۶ روز می‌تواند به این دلیل باشد که در این شرایط گلدهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در شرایط تنش، طول دورهٔ زایشی و رویشی گیاه کاهش می‌یابد که سبب کاهش قطر طبق شده است (فررس ۱۹۸۶). کاهش اندازهٔ طبق آفتابگردان به دلیل کاهش رطوبت در مطالعه‌های پیشین نیز گزارش‌شده است (کاگار ۲۰۰۰).

تعداد دانه در طبق

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمارشاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین تعداد دانه در طبق را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک تعداد دانه در طبق افزایش یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز تعداد دانه در طبق به ترتیب ۱۶ و ۳۸ درصد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت(جدول ۵). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در طبق در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان تعداد دانه در طبق در هر ۳ سطح آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین میزان تعداد دانه در طبق ۷۴۲ عدد در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روزه به دست آمد و ترکیب تیماری بدون محلول‌پاشی در دور ابیاری ۱۶روزه دارای کمترین تعداد دانه در طبق ۴۲۴ عدد می‌باشد. در شرایط دورآبیاری ۸ روزه کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی‌مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۷ و ۲ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روزه ۳ و ۶ در دور آبیاری ۱۶ روزه ۱۵ و ۱۸ درصد بود. (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد دانه در طبق با قطر طبق (r =۰/۸۸**) و عملکرد دانه (r =۰/۹۶**) بود (جدول ۵). درمجموع کاهش قابل‌توجه تعداد دانه در طبق در اثر افزایش دور آبیاری به دلیل اینکه طی مرحله زایشی تنش کمبود آب می‌تواند از طریق عقیم شدن دانه‌های گرده یا صدمه دیدن تخمدان منجر به کاهش باروری گل‌ها، کاهش تعداد گل و همچنین کاهش ظرفیت گیاه جهت نگهداری دانه‌ها پس از

گرده‌افشانی شود، در مطالعه‌های پیشین نیز گزارش‌شده است (چیمنتی و هال ۲۰۰۲). افزایش تعداد دانه در طبق تا حدود زیادی منطبق با افزایش قطر طبق و عملکرد دانه در شرایط تیمارهای محلول‌پاشی بود. به نظر می‌رسد در مرحله گرده‌افشانی، تنش خشکی، باعث مرگ دانه‌های گرده درنتیجه درصد لقاح کاهش‌یافته و تعداد دانه تشکیل‌شده در هر طبق کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد سیتوکینین از طریق افزایش فعالیت مریستم‌های زایشی، اندازه اندام گل به‌خصوص اندام حامل تخمک و تشکیل تخمک، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (بارترینا و همکاران ۲۰۱۱). گفته می‌شود قرار گرفتن آفتابگردان در معرض تنش کمبود آب باعث کاهش کلروفیل و کاروتنوئیدها و افزایش محتوای پرولین در برگ‌ها می‌شود(البیالی و همکاران ۲۰۲۲). در این شرایط گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (ROS) به دلیل کاهش فعالیت زنجیره انتقال الکترون تجمع می‌یابند که در سطوح بالا سمی هستند و منجر به غیرفعال شدن پروتئین‌ها می‌شوند (حسنو زمان و همکاران ۲۰۲۰). غلظت‌های مختلف سیتوکینین و اسید سالیسیلیک با تعدیل روزنه‌ها و با سرکوب یا کند کردن متابولیسم انتقال الکترون فتوسیستم ۲ (PSII) به احتراق فرآیند فتوسنتزی کمک کرده و باعث افزایش محتوای کلروفیل برگ، فتوسنتز و هدایت‌روزنه‌ای در شرایط تنش می‌شود (اریف و همکاران ۲۰۲۰). استنباط می‌شود که هورمون سیتوکینین در شرایط تنش به کاهش آسیب به اندام‌های تولیدمثل کمک می‌کنند، زیرا با تنظیم فرآیندهایی مانند تقسیم سلولی و بیوسنتز پروتئین‌ها اسیدهای نوکلئیک، در تمایز خوشه، طویل شدن لوله گرده و تولید گل نقش دارند (وایسی و همکاران ۲۰۱۸؛ یانگ و همکاران، ۲۰۲۱).

وزن هزار دانه

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمارشاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین وزن هزار دانه در طبق را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک وزن هزار دانه افزایش‌یافته است. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز وزن هزار دانه به ترتیب ۱۲ و ۵۲ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان وزن هزار دانه در طبق در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین وزن هزار دانه (۶۰/۶۷ گرم) در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روز به دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶روز دارای کمترین وزن هزار دانه (۳۷/۶ گرم) بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روز، کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۵ و ۲ درصدی وزن هزار دانه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۵ و ۶ درصد و در دور آبیاری ۱۶ روز، ۳۱ و ۳۲درصد بود. (جدول۴) . نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه با قطر طبق (r =۰/۸۴**) و عملکرد دانه (r =۰/۸۰**) بود (جدول ۵). در دور آبیاری ۱۶ روز، کاهش طول دورهٔ رشد و عدم وجود فرصت کافی برای تولید و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی ازجمله عوامل کاهش وزن هزار دانه به شمار می‌روند (کیلی و آلتونبای ۲۰۰۵). درصد افزایش وزن هزار دانه در سه دور آبیاری به‌صورت مجزا نسبت به شاهد مربوط یکسان بود و باعث شد برهم‌کنش هورمون و دور آبیاری معنی‌دار نگردد (جدول ۵). به نظر می‌رسد اثرهای بهبود بخش غلظت ۴۰۰میکرومولار اسید سالیسیلیک برای بیش‌تر اجزای عملکرد تا حدود زیادی نزدیک ولی کمتر از تیمار ۵۰ میکرو مولار سیتوکینین بود. می‌توان علت کاهش وزن هزار دانه را در تنش شدید، به دلیل تأثیرپذیری پر شدن دانه باکم آبی و چروکیده شدن دانه‌ها دانست. به‌طورکلی اگر دوران پر شدن دانه منطبق بر زمان افزایش دورهٔ تنش خشکی باشد نتیجهٔ آن کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و دیگر صفات مرتبط با آن است (حبیبی و همکاران ۲۰۱۲؛ شیخ ممو و

همکاران، ۲۰۲۳). عدم وجود فرصت کافی برای انتقال مواد فتوسنتزی به سمت اندام‌های زایشی براثر کاهش طول دورهٔ رشد ناشی از تنش خشکی را می‌توان عامل کاهش وزن هزار دانه به شمار آورد (کیلی و آلتونبای ۲۰۰۵). در تنش شدید، افزایش دور آبیاری به ۱۶ روز سبب پوکی دانه آفتابگردان می‌گردد و در چنین شرایطی افزایش شدت نور و کاهش رطوبت نسبی محیط در زمان پر شدن دانه‌ها در این امر نقش بسزایی دارد (چیمنتی و هال ۲۰۰۱). به‌طورکلی اگر دورهٔ پر شدن دانه همزمان با تنش کمبود آب و گرما باشد نتیجه آن کاهش عملکرد و اجزای عملکرد است (حبیبی و همکاران ۲۰۱۲). هر عاملی مانند تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی که با افزایش تقسیم سلولی و تعداد سلول‌های آندوسپرم، دورهٔ پر شدن دانه را طولانی کرده ,باعث می‌شوند که در مدت‌زمان طولانی‌تری دانه به اندازهٔنهایی برسد و درنهایت وزن دانه‌ها و دورهٔ فعال رشد دانه را بیشتر می‌کند (رویتچ و اهنب ۲۰۰۰؛ علیزاده و همکاران ۲۰۱۰) که با نتایج این مطالعه مبنی بر این‌که کاربرد سیتوکینین باعث می‌شود که دانه در مدت‌زمان طولانی‌تری به‌اندازه نهایی برسد و وزن بیشتری داشته باشد همخوانی دارد. سیتوکینین می‌تواند با افزایش تخلیهٔ قندها از آوند آبکش و انتقال آن‌ها به آپوپلاست به تأمین مواد غذایی برای دانه‌های در حال رشد کمک نموده، از این طریق باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود (زهیر و همکاران ۲۰۱۹). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در طی گلدهی گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب، وزن هزار دانه را افزایش داد (اولاه و بانو ۲۰۱۱). اثر هورمون سیتوکینین بر افزایش وزن هزار دانه گیاه گلرنگ (توکلی و همکاران ۲۰۱۴) آفتابگردان (خواجوی و همکاران ۲۰۲۳) نیز تأیید شده است.

عملکرد دانه

مقایسه میانگین برهم‌کنش بین دورهای آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد که در تمام دورهای آبیاری، تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین عملکرد دانه را داشت. اعمال محلول‌پاشی هورمون‌های سیتوکینین و اسید سالیسیلیک باعث افزایش عملکرد دانه شد. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز، عملکرد دانه به ترتیب به طور معنی‌داری ۲۱ و ۵۴ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی هر دو هورمون در تمام دوره‌های آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت. بیشترین عملکرد دانه در هر سه دور آبیاری با محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد و این مقدار به طور معنی‌داری با تیمار شاهد تفاوت داشت. بیشترین عملکرد دانه (۲۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین با دور آبیاری ۸ روز مشاهده شد، در حالی که کمترین عملکرد دانه (۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد با دور آبیاری ۱۶ روز گزارش شد. در شرایط دور آبیاری ۸ روز، مصرف سیتوکینین ۵۰ میکرومولار و اسید سالیسیلیک ۴۰۰ میلی‌مولار باعث افزایش عملکرد دانه به ترتیب ۳۳ و ۷ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز به ترتیب ۱۶ و ۳ درصد و در دور آبیاری ۱۶ روز به ترتیب ۷۲ و ۶۴ درصد بود (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن هزار دانه با عملکرد روغن (r=۰/۹۵**) و تعداد دانه در طبق (r=۰/۸۷**) بود (جدول ۵). نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در هر سه سطح هورمون شد و با افزایش دور آبیاری و اعمال تنش خشکی، به دلیل کاهش دورهٔ رویشی و ورود سریع‌تر گیاه به مرحلهٔ زایشی، اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه و وزن هزار دانه کاهش یافته و در نهایت عملکرد دانه کاهش یافت. کاهش تعداد دانه عمدتاً ناشی از کاهش قطر خوشه و کاهش وزن دانه به دلیل کاهش فعالیت فتوسنتزی است که اثر منفی تنش خشکی را بر عملکرد دانه تشدید می‌کند.

به نظر می‌رسد که هورمون‌های سیتوکینین و اسید سالیسیلیک با ایجاد رابطه منبع - مخزن جدید موجب جابجایی مواد غذایی شوند و یا متابولیسم بافت‌های تیمارشده تحت تأثیر سیتوکینین تحریک شود و در نتیجه مواد غذایی به سمت دانه‌ها منتقل گردد (ننگار و همکاران، ۲۰۱۵). کاربرد این هورمون‌ها با افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه، اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش داده و در نهایت عملکرد دانه را بهبود

می‌بخشد. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که سیتوکینین در شرایط تنش‌های غیرزیستی موجب افزایش عملکرد دانه در گیاهان مختلف مانند آفتابگردان (خواجوی و همکاران ۲۰۲۳)، گندم (ناگار و همکاران ۲۰۱۵) و ذرت (کایا و تونت ۲۰۱۰) می‌شود که با نتایج این پژوهش همسو است.

عملکرد زیست‌توده

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین عملکرد زیست‌توده را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک عملکرد زیست‌توده افزایش یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶روز عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری به ترتیب ۲۰/۵ و ۵۰ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد زیست‌توده در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین عملکرد زیست‌توده (۶۴۲۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روز به دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶ روز دارای کمترین عملکرد دانه (۳۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روز، کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرو مولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۱۹/۵و ۱۳ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۱۶/۵ و ۱۳ و در دور آبیاری ۱۶ روز ۳۵ و ۳۲ درصد بود (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد زیست‌توده با عملکرد روغن (r =۰/۹۸**) و عملکرد دانه (r =۰/۹۶**) بود (جدول ۵). عملکرد زیست‌توده با افزایش دور آبیاری کاهش یافت، به‌نحوی‌که بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده مربوط به دور آبیاری ۸ روزه و کم‌ترین آن مربوط به دور آبیاری ۱۶ روز بود. تنش خشکی با تأثیر بر رشد، سطح برگ، میزان فتوسنتز را کاهش داد. درنتیجه ارتفاع گیاه و وزن قسمت هوایی کاهش‌یافته و عملکرد بیولوژیک کاهش می‌یابد. کاربرد سیتوکینین و اسید سالیسیلیک می‌تواند به علت بهبود رشد و تأخیر در پیری برگ‌ها و ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد برای استفاده هرچه بیش‌تر نور دریافتی و افزایش انتقال مادهٔ پرورده به بخش‌های مختلف گیاه و افزایش تولید مادهٔ خشک سبب افزایش عملکرد زیست‌توده گردد (حسین و امین ۲۰۱۵). افزایش عملکرد زیست‌توده با محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین و سالیسیلیک اسید بر گیاه کنجد (حسین و امین ۲۰۱۵) و گندم (زهیر و رازا ۲۰۱۹) و آفتابگردان (ظهیری و همکارن ۲۰۱۳) نیز گزارش گردیده است.

درصد پوکی دانه

درصد پوکی دانه یک شاخص بسیار مهم در تخمین اثر تنش خشکی بر عملکرد آفتابگردان می‌باشد. مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) بیشترین درصد پوکی را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک پوکی دانه کاهش یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز پوکی دانه به ترتیب ۲۱ و ۴۷ درصد افزایش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر درصد پوکی دانه در تمام دورهای آبیاری داشت. کمترین پوکی دانه در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. کمترین درصد پوکی دانه ۸/۳ درصد در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روز به دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶ روزه دارای بیشترین درصد پوکی ۲۳ درصد بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روزه کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرو مولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث کاهش ۳۱ و ۲۰ درصدی پوکی دانه نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این اکاهشدر دور آبیاری ۱۲ روزه ۱۹ و ۱۰درصد در دور

آبیاری ۱۶روز ۲۹و ۲۲ درصد بود (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز همبستگی منفی و معنی‌داری درصد پوکی با عملکرد دانه (r=-۰/۹۴**) را نشان داد (جدول ۵). به نظر می‌رسد تنش کمبود آب موجب تأثیر منفی بر باروری گل‌ها و تولید دانه گرده شده و با کاهش دورهٔ پر شدن دانه، وزن نهایی دانه و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (خواجوی و همکاران ۲۰۲۳). اثر هورمون سایتوکینین از اسید سالیسیلیک برای کاهش پوکی دانه بیشتر بود با افزایش تنش خشکی میزان درصد پوکی دانه‌ها افزایش یافت. عدم انتقال مواد غذایی از برگ‌ها و ساقه‌ها به درون‌دانه عامل مهم در پوکی دانه‌ها می‌باشد که ممکن است در اثر کمبود آب و مواد غذایی به دست آید. افزایش درصد پوکی دانه در آفتابگردان تحت تأثیر خشکی توسط (ماسکوه ۲۰۰۹) و (اوسبورن۲۰۱۶) نیز گزارش‌شده است. مقادیر بالای هورمون سیتوکینین در مرحلهٔ پر شدن دانه، با افزایش تقسیم سلولی آندوسپرم و ایجاد مخزن قدرتمند باعث انتقال مواد پرورده و تجمع مواد دردانه‌های در حال رشد می‌شود (ابورایا و همکاران ۲۰۱۵). اسید سالیسیلیک تنظیم‌کننده زمان گلدهی در گیاهان است و انتقال از مرحلهٔ رویشی به زایشی را در گیاهان تحت تنش تسریع می‌کند. اسید سالیسیلیک به‌عنوان تنظیم‌کنندهٔ منفی ژن‌های بازدارندهٔ گلدهی و فعال‌کننده ژن‌های تحریک‌کننده گلدهی عمل می‌کند (مارتینز و همکاران ۲۰۰۴).

درصد روغن

مقایسه میانگین برهم‌کنش دور آبیاری و محلول‌پاشی هورمون نشان داد در تمام شرایط دور آبیاری تیمار شاهد (بدون مصرف هورمون) کمترین درصد روغن را داشت و با اعمال تیمار هر دو هورمون سیتوکینین و اسید سالیسیلیک درصد روغن افزایش‌یافته است. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶ روز درصد روغن به‌طور معنی‌داری به ترتیب ۹/۲ و ۲۶/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر درصد روغن در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان درصد روغن در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین درصد روغن (۵۰/۵ درصد) در تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در دور آبیاری ۸ روز به دست آمد و تیمار بدون محلول‌پاشی در دور آبیاری ۱۶ روزه دارای کمترین درصد روغن (۳۲/۸ درصد) بود. در شرایط دور آبیاری ۸ روز، کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرو مولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۱۱/۵ و ۶/۵ درصدی عملکرد زیست‌توده نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۶/۲ و ۱ درصد در دور آبیاری ۱۶ روز ۱۴ و ۹ درصد بود (جدول ۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد روغن با عملکرد دانه (r =۰/۹۵**) بود (جدول ۵). مهم‌ترین عاملی که برای کاهش درصد روغن دانه در تنش خشکی می‌توان عنوان کرد این است که تنش خشکی، باعث بروز اختلال در پر شدن دانه‌ها و پوکی دانه‌ها می‌کند و طول دورهٔ پر شدن دانه‌ها و وزن 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 سنتز روغن از پروتئین‌ها فراهم نمی‌شود (ملکی نژاد و همکاران ۲۰۱۴). کاربرد هورمون سیتوکنین باعث افزایش محتوی روغن گلرنگ در پژوهش دیگری نیز شده است (اولاه و بانو ۲۰۱۱). ستیوکنین با افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم روابط منبع و مخزن، باعث افزایش وزن دانه شده است و این درحالی‌که است که سیتوکنین ها با افزایش انتقال شیرهٔ پرورده به دانه، باعث افزایش مغز دانه به پوسته دانه می‌شوند؛ با افزایش نسبت مغز دانه به پوسته آن، درصد روغن نیز افزایش می‌یابد (ماهرخ و همکاران ۲۰۰۹). افزایش درصد روغن‌دانه در سه دور به تفکیک نسبت به شاهد مربوط همان دور آبیاری متفاوت بود و باعث معنی‌دار شدن اثر متقابل شد. در این آزمایش مقدار و درصد کارایی هر دو هورمون در دور آبیاری ۱۶ روزه کمتر از شاهد ۸ روزه و تنش ۱۲ روزه بود به عبارتی با

افزایش تنش کارایی مصرف هورمون‌ها نیز کاهش‌یافته است.

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 اسید سالیسیلیک درصد روغن افزایش‌یافت. با افزایش دور آبیاری از ۸ به ۱۲ و ۱۶روز درصد روغن به ترتیب ۲۵ و ۶۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴). محلول‌پاشی سیتوکینین و اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر عملکرد روغن در تمام دورهای آبیاری داشت. بیشترین میزان عملکرد روغن در هر ۳ تیمار آبیاری در محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین به دست آمد که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد بدون مصرف هورمون داشتند. بیشترین عملکرد روغن (۱۴۷۱/۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به سطح محلول‌پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکنین در دور آبیاری ۸ روز و کمترین مقدار (۳۲۸/۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد در دور آبیاری ۱۶ روز به دست آمد (جدول ۲). در شرایط دور آبیاری ۸ روز، کاربرد سیتوکینین در سطح ۵۰ میکرومولار در لیتر و اسیدسالیسیلیک ۴۰۰ میلی مولار در لیتر به ترتیب باعث افزایش ۳۳/۵و ۱۲/۸ درصدی عملکرد روغن نسبت به شرایط عدم محلول‌پاشی گردید، درحالی‌که مقادیر این افزایش در دور آبیاری ۱۲ روز ۱۹/۵ و ۴ درصد و در دور آبیاری ۱۶روز ۵۰ و ۴۴/۵ درصد بود (جدول۴). نتایج جدول ضرایب همبستگی نیز بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد روغن با عملکرد دانه (**۰/۹۵= r) بود (جدول ۵). با افزایش دور آبیاری و کاهش طول دورهٔ رشد از طریق کاهش عملکرد دانه منجر به کاهش عملکرد روغن می‌شود. عملکرد روغن به دو عامل عملکرد دانه و درصد روغن بستگی دارد و کاهش عملکرد روغن در آبیاری ۱۶ روز به دلیل رسیدگی زودتر و کاهش عملکرد دانه بود. کاهش عملکرد دانه و روغن آفتابگردان در شرایط تنش رطوبتی در مطالعه‌های پیشین نیز تأییدشده است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۴؛ امیدی نسب و همکاران، ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی در مرحلهٔ گلدهی بر عملکرد دانه و روغن و درصد روغن دانهٔ آفتابگردان تأثیر دارد. همچنین، افزایش فاصلهٔ بین آبیاری‌ها موجب کاهش برخی شاخص‌های مورفولوژیک مانند ارتفاع بوته و قطر طبق می‌شود. بیشترین عملکرد کمی و کیفی دانه و روغن در شرایط آبیاری نرمال (۸ روز) به دست آمد؛ به‌ویژه زمانی که محلول‌پاشی هورمون سایتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار انجام شد. اگرچه کاربرد هورمون‌های سیتوکنین و اسید سالیسیلیک در دورهای مختلف آبیاری تفاوت معنی داری در صفات عملکردی ایجاد کرد، اما مصرف این هورمون‌ها باعث افزایش تحرک و انتقال مواد ذخیره‌ای در گیاه و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی شد. بنابراین، استفاده از این دو هورمون می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی و افزایش عملکرد دانه و روغن آفتابگردان در شرایط تنش خشکی مطرح شود. داده‌های این پژوهش نشان داد که عملکرد دانهٔ آفتابگردان همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد روغن دانه، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه دارد. پیشنهاد می‌شود برای رقم اسکار، بهترین دور آبیاری هر ۸ روز یک بار انتخاب گردد. افزایش دور آبیاری تا ۱۲ روز باعث کاهش ۱۷ و ۲۰ درصدی عملکرد دانه و روغن می‌شود و آبیاری با دور ۱۶ روزه توصیه نمی‌شود. مصرف هورمون سالیسیلیک با غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار، که کاهش عملکرد دانه را در شرایط آبیاری ۱۶ روزه به حداقل مقدار (۳۰ درصد) می‌رساند، و سایتوکینین با غلظت ۵۰ میکرومولار، که بیشترین عملکرد دانه را در هر سه سطح آبیاری حفظ می‌کند، می‌توانند به‌عنوان هورمون‌های مؤثر در شرایط کمبود آب معرفی شوند.

سپاسگزاری

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

منابع مورداستفاده

Al Abboud M, Mashraqi A, Qanash H, Gattan H, Felemban H and Moawad H. 2024. Green biosynthesis of bimetallic ZnO@AuNPs with its formulation into cellulose derivative: biological and environmental applications. Bioresources and Bioprocessing, 11(1): 60. https://doi.org/10.15835/nbha52113464

Alizadeh O, Jafari Haghighi B and Ordookhani K. 2010. The effects of exogenous cytokinin application on sink size in bread wheat (*Triticum aestivum*). African Journal of Agricultural Research, 5(21): 2893-2898.

Arif Y, Sami F, Siddiqui H, Bajguz A and Hayat S. 2020. Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. Environmental and Experimental Botany, 175: 104040. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104040

Attar Roshan M, Rahnama A, Meskarbashee M, Siahpoosh M.R and Harrison M.T. 2024. Effect of sowing date and irrigation intervals on morphological traits and seed yield of new indehiscent sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 26(2): 148-169. (In Persian with English Abstract). http://agrobreedjournal.ir/article-1-1354-fa.html

Bartrina I, Otto E, Strnad M, Werner T and Schmülling T. 2011. Cytokinin regulates the activity of eproductive meristems, flower organ size, ovule formation, and thus seed yield in Arabidopsis thaliana. The Plant Cell, 23(1): 69-80. https://doi.org/10.1105/tpc.110.079079

Bettaieb I, Hamrouni-Sellami I, Bourgou S, Limam F and Marzouk B. 2011. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. Acta Physiologiae Plantarum, 33: 1103-1111. https://doi.org/10.1007/s11738-010-0638-z.

Chimenti C and Hall A. 2001. Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. Field Crops Research, 72(3): 177-184. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00175-7

Dawood M, Sadak M and Hozayen M.2012. Physiological role of salicylic acid in improving performance, yield and some biochemical aspects of sunflower plant grown under newly reclaimed sandy soil.

Dinarvandi M, Rahnama A, Meskarbashee M and 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. Journal of Crop Production, 18(2): 87-112. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23526.2674

Dodd I. 2003. Hormonal interactions and stomatal responses. Journal of Plant Growth Regulation, 22, 32-46 https://doi.org/10.1007/s00344-003-0023-x.

Habibi F, Normohamadi G, Heidarisharif- Abad H, Eivazi A and Majidi-Heravan, A. (2012). Effect of sowing date on cold tolerance, and some agronomic traits in bread wheat genotypes at west Azerbaijan province conditions. World Applied Sciences Journal1, 6 (2): 232-239.

El Bially M, Saudy H, Hashe F, El–Gabr Y and Shahin M. 2022. Salicylic acid as a tolerance inducer of drought stress on sunflower grown in sandy soil. Gesunde Pflanzen, 74(3): 603-613. https://doi.org/10.1007/s10343-022-00635-0 G

Hamada A & Al-Hakimi A. 2002. Salicylic acid versus salinity-drought-induced stress on wheat seedlings. Rostlinna Vyroba, 47(10): 444-450.

Hasanuzzaman M, Bhuyan MB, Zulfiqar F, Raza A, Mohsin SM, Al Mahmud J, Fujita M and Fotopoulos V. 2020. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. Antioxidants, 9: 681.

Heydari A, Bijanzadeh A, Naderi R and Imam S. 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 with English Abstract). https://sid.ir/paper/356501/fa).

Hussein Y, Amin G, Azab A and Gahin H. 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. Journal of Plant Sciences, 10(4): 128-135. https://doi.org/10.3923/jps.2015.128.141.

Katerji N, Mastrorilli M, Van Hoorn J, Lahmer F, Hamdy A and Oweis T. 2009. Durum wheat and barley productivity in saline-drought environments. Europea Journal of Agronomy, 31(1): 1-9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.01.003

Kaya C, Tuna A and Okant A. 2010. Effect of foliar applied kinetin and indole acetic acid on maize plants grown under saline conditions. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34(6): 529-538. https://doi.org/10.3906/tar-0906-173

Khajavi M, Rahnama A, Meskarbashee M, Moosavi S.A and Harrison M.T. 2023. Effect of cytokinin hormone on morphological and yield traits of sunflower under terminal heat stress. Crop Physiology Journal (56): 63-78. (In Persian with English Abstract). URL: http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1595-fa.html

Killi F and Altunbay S. 2005. Seed yield, oil content and yield components of confection and oilseed sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars planted in different dates. International Journal of Agriculture and Biology, 7(1): 21-24.

Korkmaz A, Uzunlu M and Demirkiran A. 2007. Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. Acta Physiologiae Plantarum, 29:503-508. https://doi.org/10.1007/s11738-007-0060-3

Liu H, Li F and Xu H. 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerant spring wheat. Agricultural Water Management, 64(1): 41-48. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00143-4

Maherkh A. Nabipour M, Dezfuli H and Chukan R. 2015. Physiological evaluation of the effect of auxin and cytokinin hormones on changes in corn grain yield under drought stress conditions. Doctoral Thesis, p 70 (220 pages). (In Persian with English Abstract).

Maleki N & Majidi M. 2015. Evaluation of Iranian and foreign safflower germplasms under normal and drought stress conditions. Journal of Crop Breeding, 7(15):1-13. (In Persian with English Abstract) https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.37185.0.

Mashkoh M and Zarashti M . 2009. Effect of drought stress on quantitative and qualitative traits of new wheat cultivars. Master thesis. 117 pages.

Martínez C, Pons E, Prats G and León J. 2004. Salicylic acid regulates flowering time and links defence responses and reproductive development. The Plant Journal, 37(2): 209-217. https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.2003.01954.x

Mohammadi M, Tavakoli A and Saba J. 2014. Effects of foliar application of 6-benzylaminopurine on yield and oil content in two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Plant Growth Regulation, 73, 219-226. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.1007/s10725-013-9882-8

Nagar S, Ramakrishnan S, Singh V, Singh G, Dhakar R, Umesh D and Arora A. 2015. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. Indian Journal of Plant Physiology, 20:31-38. https://doi.org/10.1007/s40502-014-0134-3

Noreen S, Ashraf M, Hussain M and 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.

Omidinasab D, Meskarbashee M and Rahnama Ghahfarokhi A. 2024. Effect of deficit irrigation on seed yield and oil fatty acids composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars under weather conditions of Khuzestan in Iran. Iranian Journal of Crop Sciences, 26(3): 241-257. (In Persian with English Abstract). http://agrobreedjournal.ir/article-1-1356-fa.html

Osugi A and Sakakibara H. 2015. How do plants respond to cytokinins and what is their importance? BMC Biology, 13(1): 1-10.

Fereres R, Gimenez E and Fernandez J M. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. I. Yield relationships. Australian Journal of Agricultural Research, 37(6): 573-582.

Rahnama A, Khajavi M, Meskarbashee M, Moosavi S. A and Harrison M. T (2026) Cytokinin modulates photosynthesis, antioxidant profiles and fatty acid composition in sunflower plants subjected to extreme heat stress. Plant Growth Regulation, 106: 16. https://doi.org/10.1007/s10725-025-01413-4

Ramos H and Figueroa M. 2023. Use of salicylic acid during cultivation of plants as a strategy to improve its metabolite profile and beneficial health effects. Italian Journal of Food Science, 35(1): 79-90. https://doi.org/10.15586/ijfs.v35i1.2332

Rayya M, Thanaa S and Nabila E. 2015. Photosynthetic pigments and fruit quality of Manzanillo olive as affected by 6-benzyladenine and studying the chemical constituents in leaves using Fourier Transform Infrared spectroscopy technique. International Journal of ChemTech Research, 8(6): 514-522.

Roitsch, T and Ehneb, R. 2000. Regulation of source/sink relations by cytokinins. Plant Growth Regulation, 32(2): 359-367.

Shakirova F, Sakhabutdinova A, Bezrukova M V, Fatkhutdinova R and Fatkhutdinova D. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science, 164(3): 317-322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6

Sheikh Mamo B, Rahnama A and 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. https://doi.org/10.22077/escs.2023.4928.2107

Tankari M, Wang C, Zhang X, Li L, Soothar R, Ma H and Wang Y. 2019. Leaf gas exchange, plant water relations and water use efficiency of *Vigna unguiculata* L. Walp. Inoculated with rhizobia under different soil water regimes. Water, 11(3): 498. https://doi.org/10.3390/w11030498

Ullah F and Bano A. 2011. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Brazilian Journal of Plant Physiology, 23:27-31. https://doi.org/10.1590/S1677-04202011000100005

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.

Waisi H, Janković B, Nikolić B, Dragičević V, Panić and Tosti T. 2018. Influence of various concentrations of 24-epibrassinolide on the kinetic parameters during isothermal dehydration of two maize hybrids. South African Journal of Botany, 119: 69–79. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.08.006

Yang J, Miao W and Chen J. 2021. Roles of jasmonates and brassinosteroids in rice responses to high temperature stress–a review. The Crop Journal. 9 (5), 977–985. https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.02.007

Yegorov B, Turpurova T, Sharabaeva E and Bondar Y. 2019. Prospects of using by-products of sunflower oil production in compound feed industry. Food Science and Technology. https://doi.org/10.15673/fst.v13i1.1337

Zaheer M, Raza M, Saleem M, Erinle K, Iqbal R and 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): 2521-2529.

Zahiri F and Khajauinejad S. 2018. Investigating the effect of drought and salicylic acid on yield and yield components of sunflower variety Haisan 33. Doctoral thesis, (104 pages).