نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۶- شماره۱- پیاپند ۱۳۸ بهار ۱۴۰۲

«اثر محلولپاشی هورمون سیتوکینین بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام آفتابگردان در تاریخ کاشت دیرهنگام »

Foliar application of cytokinin hormone on morphophysiological and yield traits of sunflower cultivars in late sowing date

محبوبه خواجوی[۱]، افراسیاب راهنما قهفرخی[۲*]، موسی مسکر باشی[۳]، سید امیر موسوی[۴]، متیوتام هریسون[۵]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران.
۲. دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران. (نگارنده مسئول)
۳. استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اهواز، ایران.
۴. استاد یار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران.
۵. دانشیار، مؤسسه کشاورزی تاسمانی، دانشگاه تاسمانی، تاسمانی، استرالیا. .

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2024.362391.1648

چکیده

خواجوی، م.، راهنما قهفرخی، ا.، مسکرباشی، م.، موسوی، س. ا.، هریسون، م، ت. . «اثر محلولپاشی هورمون سیتوکینین بر عملکرد و صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام آفتابگردان در تاریخ کاشت دیرهنگام »
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۶ - شماره ۱- پیاپند ۱۳۸ بهار ۱۴۰۲ صفحه: ۴۱-۲۱

به‌منظور بررسی اثر هورمون سیتوکینین برصفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام آفتابگردان در دو تاریخ کاشت مختلف، آزمایشی در دانشگاه شهید چمران اهواز در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. دو تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و ۱۵ اسفندماه (کاشت به هنگام و دیرهنگام)، به عنوان عامل‌های اصلی و محلول پاشی غلظت‌های هورمون سیتوکینین (صفر و ۵۰ میکرومولار در لیتر از منبع کینتین) و ارقام آفتابگردان (پروگرس، لاکومکا، شمس، اسکار و قاسم) به صورت فاکتوریل به عنوان عامل‌های فرعی در نظرگرفته شدند. نتایج بررسی نشان داد برهمکنش تاریخ کاشت، محلول پاشی هورمون و ارقام آفتابگردان بر بیشتر صفات در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود، به‌طوری که کاشت دیرهنگام، سبب کاهش تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، زیست توده، عملکرد و درصد روغن، شاخص کلروفیل، محتوی آب نسبی، شاخص سطح برگ و هدایت روزنه‌ای شد. کاربرد سیتوکینین سبب بهبود صفات مورد مطالعه در هر دو تاریخ کاشت شد. درکاشت دیرهنگام، عملکرد دانه تحت تأثیر محلول پاشی هورمون در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب به میزان ۲۴، ۲۲، ۳۳، ۵۶ و۴۲ درصد افزایش یافت. رقم لاکومکا و پروگرس در هر دو تاریخ کاشت دارای بالاترین عملکرد دانه و روغن بودند. کاربرد سیتوکینین در کاشت به هنگام و دیرهنگام عملکرد دانه (به ترتیب ۱۱ و ۲۴ درصد) و عملکرد روغن (به ترتیب ۲۷ و ۳۴ درصد) رقم لاکومکا را در مقایسه با عدم کاربرد هورمون افزایش داد. به طورکلی محلول‌پاشی کینتین توانست اثرات منفی تنش گرما را با بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی و بهبود عملکرد دانه و روغن تعدیل بخشد.

واژه های کلیدی: تنش گرما، درصد روغن، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، کینتین، هدایت روزنه ای.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: a.rahnama@scu.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان یکی از دانه‌های روغنی عمده در جهان است که به دلیل مناسب بودن نیازهای زراعی، عملکرد بالای روغن، بالا بودن ارزش غذائی و نداشتن عوامل ضد تغذیه‌ای، سطح زیر کشت آن افزایش یافته است (Machekposhti *et al*., 2017). عواملی مانند نوع ژنوتیپ، شرایط محیطی از جمله دما و بارندگی و تاریخ کاشت بر روی رشد و نمو آفتابگردان تأثیر می گذارد (Ozturk *et al*., 2017). دما یک عامل مهم برای رشد و نمو گیاه است و درجه حرارت های بالا نه تنها مراحل رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می دهد، بلکه باعث تغییرات کمی و کیفی زیادی در ویژگی های گیاهان زراعی می شوند که در عملکرد زراعی، فیزیولوژی، رشد و نمو و درصد روغن تأثیرگذار است (Kaleem *et al*., 2010). یکی از مهم ترین عواملی که عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان را تحت تأثیر قرار می دهد تاریخ کشت می باشد، اگرچه آفتابگردان از سازگاری بالایی برخوردار می‌باشد، اما تأخیر در تاریخ کاشت و افزایش دما موجب کاهش عملکرد دانه این گیاه شده است (Demir, 2019). همچنین برای کشت آفتابگردان در تاریخ کشت های مختلف و دیرهنگام در هر منطقه نیازمند ارقام جدید و سازگار می باشد (Ozturk *et al*., 2017). در آزمایشی که در خصوص تأثیر دمای بالا بر آفتابگردان انجام شد، مشخص گردید تنوع ژنتیکی گسترده ای در آفتابگردان از نظر تحمل به دماهای بالا وجود دارد (Hernández *et al*., 2020). حساسیت آفتابگردان به تنش عمدتاً از مرحله شروع گل دهی تا پرشدن دانه می باشد (Garcia-Lopez *et al*., 2014). واکنش گیاهان به تنش های غیر زیستی به عوامل مختلفی از جمله هورمون‌ها بستگی دارد. هورمون‌ها اثرات مطلوبی بر رشد و نموی گیاهان زراعی تحت تنش های غیر زیستی داشته و امروزه برای بالا بردن تحمل گیاهان به تنش ها از هورمون‌های گیاهی استفاده می شود (Wani *et al*., 2016). در دماهای بالا علاوه بر آسیب شدید سلولی، مرگ سلول ها ممکن است در چند دقیقه اتفاق بیفتد که دلیل آن به هم ریختن ساختارهای سلولی است. دراین بین، ساخت و انتقال هورمون هایی مانند سیتوکینین به علت عواملی از قبیل پیری و آسیب به برگ ها و جوانه های انتهایی می تواند کاهش یابد (Werner *et al*., 2009). سیتوکینین ها گروهی از هورمون ها هستند که بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک تاثیرمی گذارند و در تقسیم سلولی، انتقال موادغذایی، غالبیت انتهایی، تشکیل و فعال سازی مریستم انتهایی و نمو گل نقش مهمی ایفا می کنند (Wani *et al*., 2016). این هورمون با از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن و تأخیر در پیری برگ ها، می تواند سبب افزایش فعالیت فتوسنتز و پایداری کلروفیل و درنهایت سبب افزایش عملکرد گیاهان شود (Ren *et al*., 2016). در یک بررسی روی گیاهچه های ذرت درشرایط تنش خشکی مشخص شد که محلول پاشی برگی سیتوکنین به طور قابل توجهی باعث بهبود شاخص سطح برگ گیاه، ارتفاع گیاه، وزن خشک، پایداری غشای سلول و مقدار کلروفیل می شود (Brault & Maldiney, 1999). در آزمایش دیگری بر روی گندم تحت تنش خشکی، مشخص شد که محلول پاشی این هورمون باعث افزایش عملکرد دانه، زیست توده، وزن هزاردانه (Nagar *et al*., 2015) و افزایش صفات فیزیولوژیک ازجمله

شاخص سطح برگ، محتوی کلروفیل، محتوی آب نسبی برگ و هدایت روزنه ای می شود (Zaheer *et al*., 2019). افزایش سرعت فتوسنتز و عملکرد دانه از طریق تنظیم محتوای کلروفیل، افزایش تولید کربوهیدرات و تنظیم اسمزی در دو رقم گندم با کاربرد خارجی ۱۵۰ میکرومولار کینتین در شرایط تنش خشکی طی مرحله پر شدن دانه مشاهده شده است (Sarafraz-Ardakani *et al*., 2014). کاربرد خارجی کینتین سبب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ و شاخص سطح برگ گیاه کنجد تحت شرایط تنش خشکی می شود (Hussein *et al*., 2015). همچنین در گیاه گلرنگ، محلول پاشی کینتین با غلظت ۵۰ میکرومولار باعث افزایش عملکرد دانه، وزن هزاردانه و افزایش محتوی روغن شد (Ullah & Bano, 2011). اگرچه نقش سیتوکینین در برخی پژوهش‌ها در کنترل فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان اثبات شده است، اما مطالعات بسیار محدودی در زمینه نقش سیتوکینین بر روی فرایندهای فیزیولوژیک و عملکرد دانه و روغن گیاه آفتابگردان در مراحل مختلف رشد، به ویژه در شرایط تنش گرمایی خوزستان وجود دارد. بنابراین با توجه به نقش های مهم سیتوکنین، این پژوهش با هدف بررسی کاربرد هورمون سیتوکینین بر کاهش اثرهای نامطلوب تنش گرمای انتهای فصل بر صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد دانه ارقام آفتابگردان در شرایط آب و هوایی اهواز اجرا شد.

مواد و روش ها

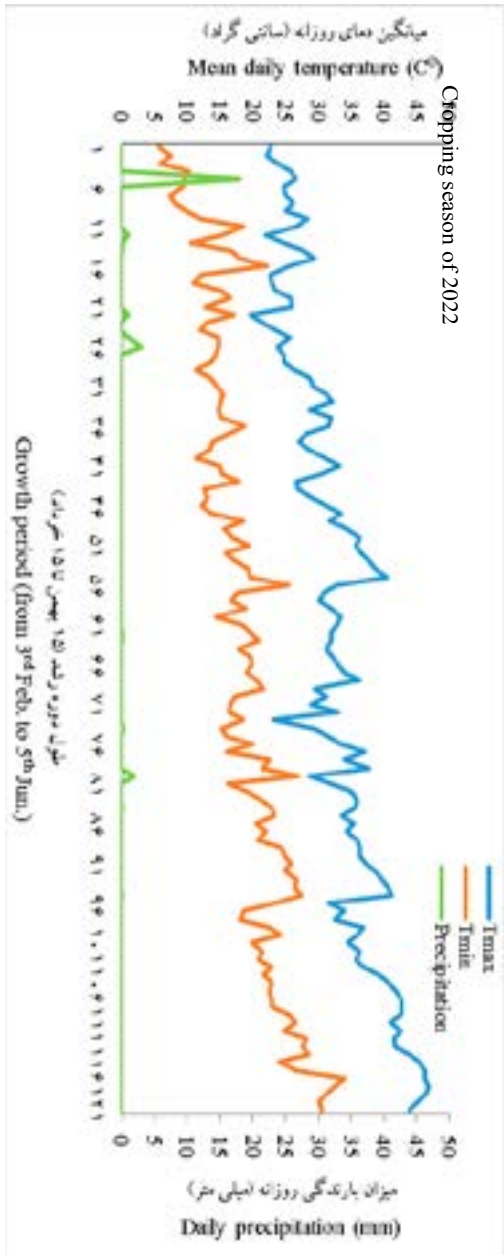
این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعهٔ آموزشی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. دو تاریخ کاشت ۱۵ بهمن ماه و ۱۵ اسفندماه (به ترتیب تاریخ کاشت به هنگام و دیرهنگام) درکرت های اصلی و محلول پاشی غلظت‌های هورمون سیتوکینین (صفر و ۵۰ میکرومولار در لیتر از منبع کینتین) و ارقام آفتابگردان (پروگرس، لاکومکا، شمس، اسکار و قاسم) به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی قرار گرفت. از کینتین به عنوان فرم تجاری سیتوکینین (شرکت سیگما- آمریکا) استفاده شد. سطوح تیماری کینتین در دو مرحله (غنچه دهی و شروع گلدهی) براساس محاسبه هزار لیتر برای یک هکتار و نیاز محلول پاشی هر کرت آزمایشی با میانگین یک لیتر به صورت محلول پاشی اعمال گردید. تاریخ کاشت به هنگام به عنوان تاریخ کاشت مناسب منطقه و تاریخ کاشت دیرهنگام جهت اعمال تیمار تنش گرمای انتهای فصل شدید در مرحله لقاح و پرشدن دانه در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج آزمون ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر، بافت خاک لومی رسی، میزان ماده آلی ۰/۴۵ درصد، اسیدیته ۷/۴۵، هدایت الکتریکی ۲/۸ دسی زیمنس بر متر، فسفر و پتاس کل به ترتیب ۸/۱ و ۱۶۹/۳ میلی گرم بر کیلوگرم و نیتروژن کل ۰/۵۸ درصد بود. با توجه به نتایج آزمون خاک، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع فسفات آمونیوم در هنگام کاشت و۱۴۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در زمان کاشت و به‌صورت سرک در مرحله ۷-۸ برگی به خاک اضافه شد. برخی از اطلاعات مربوط به دمای کمینه و بیشینه و همچنین میانگین دمای منطقه آزمایش، در دوره زمانی کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در

شکل ۱ آورده شده است. همچنین برای محاسبه ی مجموع واحدهای دریافتی گیاه از درجه روزهای رشد استفاده گردید. درجه روز رشد با استفاده از معادلهٔ زیر محاسبه شد.

$$GDD = \Sigma[\frac{Tmax + Tmin}{2} - Tb]$$

دمای پایه در این معادله، ۸ درجهٔ سانتی گراد در نظر گرفته شد. بذور آفتابگردان پس از ضدعفونی با قارچ کش گرانوزان روی پنج ردیف سه متری در هر کرت با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی خطوط ۲۰ سانتی متر در عمق ۴ تا ۶ سانتی‌متری خاک در تاریخ کاشت های مورد نظر کشت شد. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت، و آبیاری های بعدی پس از رسیدن میزان رطوبت خاک به حدود ۸۰ درصد ظرفیت زراعی انجام شد (Matev *et al.*, 2012) و تا پایان فصل رشد ادامه یافت. برای این منظور درصد رطوبت حجمی خاک قبل از هر آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (TDR) (ProCheck, Decagon Devices, USA) اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با دستگاه سطح برگ سنج (Delta-T Devices, Englad)، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T AP4 Devices, UK) بین ساعت ۹/۳۰ صبح تا ۱۲ و شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل متر (Monilota SPAD-502 Chlorophyll meter, Japan) و محتوی نسبی آب برگ با استفاده از روش (Valentovic *et al.*, 2006) اندازه گیری شد. اندازه‌گیری شاخص کلروفیل و هدایت روزنه ای بر روی سطح برگ سوم از پنج بوته در هر واحد آزمایشی در مرحله ی پر شدن دانه انجام شد.

مراحل نموی آفتابگردان براساس روش (۱۹۸۱) Miller & Schneiter تعیین شد (مراحل نموی شامل جوانه زنی، ساقه دهی، غنچه دهی، شروع گل دهی، ۷۵ درصد گل دهی، گل دهی کامل و رسیدگی فیزیولوژیک محاسبه شدند). در زمان رسیدگی فیزیولوژیک محصول و هنگامی که پشت طبق بوته ها به رنگ زرد مایل به قهوه ای متمایل شد، پس از حذف اثر حاشیه، از دو خط میانی هر کرت به مساحت یک مترمربع برداشت انجام شد و صفات شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و اجزای آن شامل تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، و همچنین درصد و عملکرد روغن اندازه گیری شد. به این منظور ابتدا طبق ها از بوته جدا و در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. درصد روغن دانه با کمک حلال اتر و با روش سوکسله تعیین گردید. تاریخ برداشت و نمونه‌برداری در کاشت به هنگام با میانگین دمای ۳۶/۵ درجه سانتی گراد و بیشینه دمای ۴۸/۳ درجه سانتی گراد در۲۰ اردیبهشت و در کاشت دیرهنگام در ۱۵خردادماه با میانگین دمای ۳۹/۳ درجه سانتی گراد و با بیشینه دمای ۵۰ درجه سانتی گراد در این ماه بود. مجموع واحدهای حرارتی دریافت شده برای کاشت به هنگام و دیرهنگام به ترتیب ۱۹۷۰ و ۲۱۴۷ بود (جدول ۱). تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. برای مقایسه میانگین ها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.



شکل ۱- دمای حداکثر و حداقل و میزان بارندگی منطقه آزمایش در طول سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Fig 1. Maximum and minimum rainfall and temperature data for the experimental area during the cropping season of 2022

نتایج و بحث

تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس نشان داد از نظر تعداد دانه در طبق بین تاریخ های کشت، سطوح هورمونی و ارقام در سطح احتمال یک درصد وبرهمکنش رقم×هورمون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری وجود داشت، در حالی که بین سایر برهم‌کنش ها تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۲). با تأخیر در کاشت تعداد دانه در طبق به طور معنی داری کاهش یافت (۳۵ درصد) و دو رقم لاکومکا و پروگرس، برتری معنی داری نسبت به ارقام دیگر داشتند. همچنین کاربرد سیتوکینین باعث افزایش ۳۰ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شرایط عدم محلول پاشی شد (نتایج اثرات ساده نشان داده نشده است). با افزایش دمای هوا و تغییرات اقلیمی، فعالیت حشرات گرده افشان نیز تغییر می کند، اگرچه واکنش حشرات گرده‌افشان و گیاهان به دمای هوا ممکن است متفاوت باشد (Scaven & Rafferty, 2013). در این پژوهش نیز نوسانات دمایی موجب شد که تعداد دانه در طبق در تاریخ کاشت دیرهنگام کاهش یابد. تاریخ کاشت مناسب باعث انطباق مراحل رشدی گیاه با شرایط محیطی و استفاده بهینه از منابع رطوبتی و حرارتی می شود و نتیجه این امر می تواند در افزایش تعداد دانه در طبق مؤثر باشد. کاهش تعداد دانه در طبق می تواند به علت کوتاه ترشدن دوره رشد و اختصاص مواد فتوسنتزی کمتر به طبق ها و همچنین دماهای بالاتر طی دوران گلدهی در تاریخ کاشت دیر هنگام باشد (Moradi Aghdam *et al*., 2011). کاهش قابل‌توجه تعداد دانه در طبق آفتابگردان در اثر تأخیر در کاشت و واکنش متفاوت ارقام به تنش گرما در مطالعات پیشین نیز گزارش‌شده است (Chimenti & Hall, 2001; Sheikh Mamo *et al.,* 2023). محلول پاشی سیتوکینین اثر معنی داری بر تعداد دانه در طبق در تمام ارقام و هر دو تاریخ کاشت داشت. رقم پروگرس در کشت به هنگام با محلول پاشی هورمون کینتین ۵۰ میکرومولار، دارای بیش ترین (۱۵۵۴) و رقم قاسم در کشت دیرهنگام با

جدول ۱- درجه روز رشد مراحل نموی ارقام آفتابگردان در تاریخهای مختلف کاشت

Table 1. Growth degree day (GDD) of developmental stages in sunflower cultivars under different sowing dates

مراحل نموی Developmental stages	جوانه زنی Germination	ساقه‌دهی noitagnole metS	غنچه دهی Bud formation	شروع گل دهی Inflorescence emergence	۷۵ درصد گل دهی 75% flowering	گل دهی کامل Flowering	رسیدگی Ripening	پیری Senescence
ارقام/ تاریخ کاشت Sowing date / Cultivar	۱۵ بهمن ماه (کاشت به هنگام) Optimum sowing date	۱۵ اسفندماه (کاشت دیرهنگام) Late sowing date						
پروگرس/Porogres	1970.7	2147.8	279.8	398.8	534.3	686.7	746.1	1078.2	1202.8	1357.1	842.3	1018	920.8	1025.2	945.8	1406.3	1586.7	1752.8
لاکومکا/Lakomka	1425.5	2048.1	205.9	328.3	313.6	522.6	693.3	825.5	776.1	825.2	676.2	821.3	818.9	986.7	469.6	786.3	1326.4	1428.7
شمس/Shams	1326.4	1428.7	203.1	321.8	306.2	482.8	433.2	640.2	403.3	610.4	776.1	825.2	920.8	1025.2	975.8	1020.3	1445.5	1430.5
اسکار/Oskar	1445.5	1430.5	235.6	317.3	341.3	479.3	499.6	635.4	693.3	825.5	746.1	1078.2	1202.8	1357.1	842.3	1018	1335.9	1421.2
قاسم/Qasem	1335.9	1421.2	193.1	292.3	289.8	454.2	403.3	610.4	534.3	686.7	313.6	522.6	306.2	482.8	341.3	479.3	1586.7	1752.8
پروگرس/Porogres	1586.7	1752.8	168.9	252.6	129.6	194.4	118.5	207.8	129.6	155.1	108.2	178.6	77.4	104.1	56.3	92.2	48.2	86.6
لاکومکا/Lakomka	945.8	1406.3	129.6	194.4	118.5	207.8	129.6	155.1	108.2	178.6	56.3	92.2	48.2	86.6	56.3	72	48.2	72
شمس/Shams	920.8	1025.2	118.5	207.8	129.6	155.1	108.2	178.6	77.4	104.1	48.2	86.6	56.3	72	48.2	72	56.3	72
اسکار/Oskar	975.8	1020.3	129.6	155.1	108.2	178.6	77.4	104.1	56.3	92.2	48.2	86.6	56.3	72	48.2	72	48.2	72
قاسم/Qasem	842.3	1018	108.2	178.6	77.4	104.1	56.3	92.2	48.2	86.6	56.3	72	48.2	72	48.2	72	48.2	72

تیمار بدون محلول پاشی، دارای کم ترین تعداد دانه در طبق (۳۳۷) بود (جدول۳). در شرایط کشت به هنگام تعداد دانه درطبق با محلول پاشی۵۰ میکرومولار کینتین در رقم لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب به میزان ۳۳، ۲۷، ۱۸، ۱۰ و ۴۵ درصد افزایش یافت در حالی که مقادیر این افزایش در تنش شدید دمایی ناشی از کشت دیرهنگام به ترتیب با ۳۱، ۳۶، ۲۷، ۴۴ و ۳۸ درصد بود (جدول ۳). افزایش تعداد دانه در طبق با کاربرد سیتوکینین را می توان به نقش سیتوکینین در افزایش انتقال قندها به آپوپلاست و تأمین مواد غذایی برای دانه های درحال رشد (Zaheer *et al.,* 2019) و همچنین تقسیم سلولی و افزایش اندازه طبق مرتبط دانست که سبب افزایش تعداد دانه تشکیل شده درطبق می شود. بنابراین می‌توان گفت که سیتوکینین از طریق افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش تعداد دانه در طبق می شود. افزایش تعداد دانه با کاربرد سیتوکینین در گیاه کینوا تحت تنش خشکی (Salek Mearaji *et al.,* 2020) وگیاه گندم تحت تنش گرما (Yang *et al.,* 2016) نیز گزارش شده است. تعداد دانه در طبق همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه ($r = ۰/۸۸^{**}$) داشت (جدول ۴). به نظر می رسد یکی از اجزای مهم و کلیدی تعیین کننده اجزای عملکرد، تعداد دانه در طبق باشد، لذا تغییرات این صفت بایستی در شرایط تنش مدنظر قرار گیرد.

وزن هزاردانه

بین اثر تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و کلیه برهمکنش ها از نظر وزن هزار دانه تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۳). بیش ترین وزن هزاردانه در تاریخ کاشت به هنگام و کم ترین آن در کاشت دیرهنگام حاصل شد. به عبارتی تنش گرمای ناشی از کشت دیرهنگام منجر به کاهش ۲۸ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با کاشت به هنگام شد. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به ترتیب مربوط

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ارقام آفتابگردان در تاریخهای مختلف کاشت و محلول پاشی هورمون کینتین.

Table 2. Mean squares for morphophysiological traits and yield of sunflower cultivars under different sowing dates and foliar applications of kinetin hormone

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی Df	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزار دانه 1000 -seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستوده Biological yield	میانگین مربعات Means of squares (MS) شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophy ll index	محتوی آب نسبی Relative water content	هدایت روزنه ای Stomatal conductance	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	77161 ns	507.2 **	13732 ns	32322ns	0.0383*	161.1**	102.2**	0.00162272**	10.8*	6732ns
تاریخ کاشت Sowing date (A)	1	2144356*	9166**	3986619*	77413856**	1.42**	235.9**	4183**	0.12303482**	312.8**	1051976*
خطای a Ea	2	85732	21.2	14285	52164.9	0.00153	11.41	8.61	0.00021012	3.26	5243
رقم Cultivar (B)	4	701917 **	8033.5**	3899307*	28504271**	0.8941**	346.1**	827.2**	0.05347239**	53.16**	714068**
تاریخ کاشت×رقم A ×B	4	9892 ns	264.8**	56215.4**	453068**	0.01424 ns	642**	248.8**	0.00261536**	5.9 ns	3238**
هورمون Hormone (C)	1	813938**	8531**	1146507*	17574928**	4.66**	679**	1361.3**	0.03655602**	183.7**	4382082*
تاریخ کاشت× هورمون A ×C	4	11363 ns	62.52*	160 ns	155550 ns	0.0790**	23.8 ns	3.75 ns	0.00435202**	0.150 ns	3847**
رقم× هورمون B×C	1	14166*	134.8 **	10332 ns	62713 ns	0.1312**	34.12 ns	1.82 ns	0.00082239**	1.16 ns	7765*
تاریخ کاشت× رقم× هورمون A ×B×C	4	15551ns	79.7**	30371**	131182*	0.05222**	18.77 ns	3.20 ns	0.00040773*	7.23*	7829 *
خطای b Eb	36	4948	15.31	7267	45146	0.0075	9.94	1.8	0.00013614	2. 60	1999
ضریب تغییرات C.V (%)		7.8	5.3	5.4	3.5	3.6	12.5	4.4	4.2	4.1	7.5

**،*: معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪؛ ns: غیرمعنی دار .

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

به رقم لاکومکا و اسکار بود. رقم لاکومکا درکاشت به هنگام با سطح محلول پاشی ۵۰ میکرومولار، دارای بیش ترین (۱۲۹/۲ گرم) وزن هزاردانه و رقم اسکار درکاشت دیرهنگام در تیمار بدون محلول پاشی دارای کم ترین وزن هزاردانه (۲۳/۱ گرم) بود (جدول۳). در کاشت دیرهنگام، افزایش دما به بیش از ۴۸ درجه سانتی‌گراد سبب پوکی دانه آفتابگردان می‌گردد و در چنین شرایطی افزایش شدت نور و

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ارقام آفتابگردان در تاریخ های مختلف کاشت و محلول پاشی هورمون کینتین

Table 4. Mean comparison for morphophysiological traits and yield of sunflower cultivars under different sowing dates and foliar applications of kinetin hormone

تاریخ کاشت Sowing date	رقم Cultivar	تیمار هورمونی Hormone treatment	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزار دانه 1000 -seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیست توده Biological yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	محتوی آب نسبی Relative water content	هدایت روزنهای Stomatal conductance	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield
	Treatments		Seed number per head	1000 -seed weight	Seed yield	Biological yield	Leaf area index	Chlorophyll index	Relative water content	Stomatal conductance	Oil percentage	Oil yield
			-	g	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	-	-	%	mol m^{-2}s^{-1}	%	kg ha^{-1}
کاشت به هنگام Optimum sowing date	لاکومکا (Lakomka)	0	1065 $^{d-f}$	109.1 ^{b}	2471 ^{b}	7910 ^{cd}	2.52 ^{de}	19.2 ^{fg}	72.2 ^{c}	0.314 ^{cd}	40 ^{bcd}	973 ^{b}
		50	1354 ^{b}	129.2 ^{a}	2758 ^{a}	8728 ^{b}	2.70 ^{b}	24.3 ^{de}	83.6 ^{b}	0.377 ^{b}	45.6 ^{a}	1257 ^{a}
	پروگرس (Porogres)	0	1168 $^{c-e}$	83.5 ^{d}	2293 ^{c}	8189 $^{c-e}$	2.28 ^{f}	18.6 ^{fg}	79.1 ^{b}	0.359 ^{b}	39 bc^{d}	894 ^{c}
		50	1553 ^{a}	111.9^{b}	2475 ^{b}	9367 ^{a}	3.38 ^{a}	25.3^{d}	88.1 ^{a}	0.441 ^{a}	41.6 ^{b}	1015 ^{b}
	شمس (Shams)	0	1016 ^{fg}	60.1 ^{g}	1457 ^{g}	6253 ^{f}	2.22 ^{fg}	20.9 ^{gh}	58.4 ^{fg}	0.296 ^{de}	33.3 $^{g-i}$	485 ^{gh}
		50	1201 ^{c}	97.2 ^{c}	1758 ^{e}	7784 ^{b}	2.99 ^{b}	25.5 ^{d}	69.2 ^{cd}	0.375 ^{b}	38.3 $^{c-e}$	673 ^{e}
	اسکار (Oskar)	0	832 ^{hi}	59.1 ^{g}	1232 ^{h}	5354 ^{g}	2.05 ^{hi}	18.6 ^{fg}	69.4 ^{cd}	0.223 ^{gh}	36.3 $^{e-g}$	447 ^{hi}
		50	917 ^{gh}	77.9 ^{de}	1524 ^{fg}	6618 ^{c}	2.63 ^{cd}	20 ^{ef}	80.9 ^{b}	0.304 ^{de}	40 ^{bc}	610 ^{ef}
	قاسم (Qasem)	0	693 ^{j}	51.2 ^{h}	1112 ^{hi}	5196 ^{hi}	1.96 ^{i}	27.1 ^{d}	56.4 ^{g}	0.222 ^{gh}	38 $^{c-e}$	422 ^{hi}
		50	1011 ^{ef}	74.6 ^{e}	1416 ^{g}	6326 ^{de}	2.49 ^{e}	34.4 ^{bc}	65.7 ^{de}	0.251 ^{f}	39 $^{b-d}$	552 ^{fg}
کاشت دیرهنگام Late sowing date	لاکومکا (Lakomka)	0	748 ^{ij}	84.1 ^{d}	1656 ^{ef}	5591 ^{i}	2.13 ^{gh}	27.6 ^{d}	64.9 ^{ef}	0.241 ^{fg}	34.3 $^{f-h}$	568 ^{f}
		50	1022 ^{fg}	106.9 ^{b}	2056 ^{d}	6934 ^{f}	2.57 $^{c-e}$	43.4 ^{a}	72.5 ^{c}	0.289 ^{e}	37 $^{d-f}$	754 ^{d}
	پروگرس (Porogres)	0	898 ^{h}	69.1^{f}	1707 ^{fe}	6623 ^{fg}	2.20 ^{fg}	29.8 ^{cd}	55.2 ^{de}	0.295 ^{e}	34.6 $^{f-h}$	592 ^{f}
		50	1172 ^{cd}	96.9 ^{b}	2198 ^{c}	7534 ^{e}	2.91 ^{b}	37.9 ^{b}	68.2 ^{gh}	0.333 ^{c}	39 $^{b-d}$	857 ^{c}
	شمس (Shams)	0	644 ^{jk}	44.5 ^{i}	1058 ^{i}	4077 ^{k}	1.99 ^{hi}	33.2 ^{bc}	51.4 ^{fg}	0.210 ^{hi}	30 ^{j}	317 ^{kl}
		50	818 ^{hi}	64.3 ^{fg}	1205 ^{h}	5132 ^{j}	2.59 $^{c-e}$	43.3 ^{a}	67.7 ^{hi}	0.225 ^{f}	34 $^{g-i}$	405 ^{i}
	اسکار (Oskar)	0	394 ^{mn}	29.1 ^{k}	808 ^{kl}	2953 ^{ml}	1.80 ^{j}	14.1 $^{f-h}$	49.2 ^{i}	0.126 ^{k}	33 ^{hi}	265 ^{lm}
		50	568 ^{kl}	44.1 ^{i}	1014 ^{ij}	3898 ^{k}	2.21 ^{fg}	17.02 ^{fg}	59.2 ^{j}	0.138 ^{k}	35 $^{f-h}$	351 ^{k}
	قاسم (Qasem)	0	337 ^{n}	23.7 ^{k}	742 ^{l}	2809 ^{m}	1.43 ^{k}	10.3 ^{h}	44.1 ^{j}	0.177 ^{j}	31 ^{ij}	230 ^{m}
		50	468 l^{m}	37.3 ^{j}	896 ^{jk}	3457 ^{l}	2.01 ^{hi}	14.2 ^{gh}	51.4 ^{hi}	0.192 ^{ij}	36 $^{e-g}$	322 ^{kl}

* میانگین های دارای حروف مشترک برای هر صفت در هر ستون و هر فاکتور آزمایشی با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند.

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

جدول ۴ - ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در کاشت دیرهنگام

Table 4. Correlation coefficient between the studied traits in late sowing date

صفات Traits	SNH	1000 SW	BY	SY	LAI	Chl index	RWC	SC	OY	OP
تعداد دانه در طبق Seed number per head	1									
وزن هزار دانه 1000 seed weight	0.963**	1								
عملکرد زیست توده Biological yield	0.897**	0.940**	1							
عملکرد دانه Seed yield	0.878**	0.957**	0.940**	1						
شاخص سطح برگ Leaf area index	0.794**	0.836**	0.844**	0.806**	1					
شاخص کلروفیل Chlorophylle index	0.821**	0.774**	0.766**	0.721**	0.783**	1				
محتوای نسبی آب Relative water content	0.944**	0.927**	0.856**	0.924**	0.771**	0.792**	1			
هدایت روزنه ای Stomatal conductance	0.798**	0.833**	0.919**	0.804**	0.755**	0.755**	0.783**	1		
درصد روغن Oil percentage	0.621**	0.691**	0.686**	0.659**	0.724**	0.449*	0.629**	0.495**	1	
عملکرد روغن Oil yield	0.891**	0.923**	0.971**	0.971**	0.815**	0.696**	0.862**	0.846**	0.741**	1

SNH; Seed number per head, 1000 SW; 1000 seed weight, BY; Biological yield, SY; Seed yield, SC; LAI; Leaf are index, Chl index; Chlorophylle index, Stomatal conductance, OP; Oil percentage, OY; Oil yield.

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

کاهش رطوبت نسبی محیط در تشدید این امر نقش بسزایی دارد (Chimenti & Hall, 2001). وزن هزاردانه آفتابگردان با تأخیر در کاشت به دلیل کاهش طول دوره رشدو همچنین حساسیت به دمای بالای ۳۵ درجه سانتی گراد کاهش می یابد (Rondanini *et al*., 2003). در این پژوهش نیز طول دوره رشد در کاشت دیرهنگام نسبت به تاریخ کاشت به هنگام ۵ روز کوتاه تر بود. علت کاهش وزن هزار دانه در تاریخ کشت دیرهنگام را می توان به دلیل هم زمانی دوره پر شدن دانه با گرمای اواخر

اردیبهشت و اوایل خردادماه و چروکیده شدن دانه ها مرتبط دانست. به طورکلی اگر دوره پر شدن دانه مقارن با افزایش دمای محیط و تنش گرمایی باشد نتیجه آن کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و دیگر صفات مرتبط با آن است (Habibi *et al.,* 2012). محلول پاشی سیتوکینین اثر معنی داری بر وزن هزاردانه تمام ارقام داشت و غلظت ۵۰ میکرومولار کینتین در هردو تاریخ کاشت، بیش ترین افزایش وزن هزاردانه را نسبت به تیمار بدون محلول پاشی نشان داد (جدول۳). میانگین وزن هزار دانه در کاشت دیرهنگام برای ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب با ۲۳، ۱۷، ۲۷، ۵۱ و۵۵ درصد کاهش روبرو شد. محلول پاشی ۵۰ میکرومولار کینتین در کشت دیرهنگام، به ترتیب سبب افزایش ۲۶، ۳۹، ۴۵، ۶۳ و ۳۸ درصدی وزن هزار دانه ارقام نسبت به شرایط عدم محلول پاشی شد (جدول ۳). گزارش شده است که تحت تنش گرما سیتوکینین با افزایش ظرفیت فتوسنتزی از طریق اثر مثبت بر اجزای فتوسنتزی مانند کلروفیل ، وزن هزاردانه را افزایش می دهد (Yang *et al.,* 2016). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین درطی گل دهی گلرنگ در شرایط آبیاری مطلوب، وزن هزاردانه را نیز افزایش داده است (Ullah & Bano, 2011). تأثیر هورمون سیتوکینین بر افزایش وزن هزاردانه در گیاه گندم (Nagar *et al.,* 2015) و ذرت (Akter *et al.,* 2014) و کینوا (Salek Mearaji *et al.,* 2020) نیز گزارش شده است.

عملکرد دانه

بجز برهم کنش تاریخ کاشت×هورمون کلیه اثرات ساده و برهمکنش ها از نظر آماری تفاوت معنی داری داشتند (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه ارقام در کاشت به هنگام مشاهده شد و با تأخیر در کاشت به دلیل مواجه شدن دوره پر شدن دانه و رسیدگی با تنش گرمای انتهای فصل و کوتاه شدن طول دورهٔ رشد و دورهٔ پرشدن دانه، میزان عملکرد دانه ارقام در کاشت دیرهنگام به مقدار ۳۹ درصد در مقایسه با کاشت به هنگام کاهش یافت. بیشترین عملکرد مربوط به رقم لاکومکا و پروگرس و کمترین آن مربوط به رقم اسکار بود. همچنین غلظت ۵۰ میکرومولار کینتین سبب افزایش ۱۹ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد.

در کاشت به هنگام با توجه به مواجه شدن دوره پر شدن دانه با میانگین دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در اوایل اردیبهشت ماه و در کشت دیرهنگام با میانگین دمای ۴۶ درجه سانتی گراد در اواخر اردیبهشت و اوایل خردادماه، تنش گرمای ناشی از کاشت دیرهنگام منجر به کاهش ۳۲، ۳۲ ، ۲۷، ۳۴ و ۳۳ درصدی عملکرد دانه به ترتیب در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم شد (جدول ۳). این میزان کاهش برای ارقام به ترتیب برابر با ۱/۱، ۱/۱، ۰/۹، ۱/۱۳ و ۱/۱۳ درصد به ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت بود. صفاتی مانند تعداد دانه در طبق و وزن دانه، تعیین کننده عملکرد دانه می باشند و واکنش منفی این صفات نسبت به عوامل مختلف از جمله دما منجر به کاهش عملکرد دانه می شود (Van der Merwe *et al.,* 2015; Sheikh Mamo *et al.,* 2023). مجموع واحدهای حرارتی دریافت شده در تاریخ کاشت به هنگام برابر با ۱۹۷۰ و در کاشت دیرهنگام برابر با ۲۱۴۷ واحد حرارتی بود، به عبارتی در کاشت دیرهنگام با کوتاه شدن طول دوره ی رشد، عملکرد محصول به طور معنی‌داری تحت تأثیر گرمای آخر فصل قرار گرفت.

به عبارتی طول دوره رشد در کاشت دیرهنگام نسبت به تاریخ کاشت به هنگام ۵ روز کوتاه تر بود (جدول ۱). عملکرد دانه در کاشت دیرهنگام به دلیل تأخیر در کاشت و افزایش میانگین دمای هوا و افزایش سرعت رشد و نمو و کاهش طول دوره های رشد و نمو گیاه باعث مواجه شدن مراحل گرده افشانی و دوره پر شدن دانه با دماهای بالای هوا در اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت ماه شده و وقوع تنش گرمایی آخر فصل منجر به کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه شده است،که با نتایج سایر محققان هم خوانی داشت (Sheikh Mamo *et al.,* 2023). آفتابگردان در مرحله زایشی به تنش گرما حساس است و بیشترین کاهش عملکرد دانه نیز در زمان وقوع تنش گرمایی در مرحله پر شدن دانه گزارش شده است (Kalyar *et al.,* 2014). محلول پاشی سیتوکینین در هر دو تاریخ کاشت اثر معنی داری بر بهبود عملکرد دانه ارقام داشت، به طوری که عملکرد دانه در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم در شرایط تنش شدید گرمایی ناشی از کشت دیرهنگام با کاربرد ۵۰ میکرو مولار کینتین به ترتیب ۲۴، ۲۸، ۱۴، ۲۶ و۲۱ درصد در مقایسه با عدم کاربرد هورمون افزایش یافت (شکل ۳). افزایش عملکرد دانه با کاربرد سیتوکینین را می توان به افزایش مقادیر اجزای تشکیل دهنده عملکرد ارتباط داد. افزایش عملکرد دانه ممکن است به افزایش اجزای عملکرد و افزایش جابجایی آسیمیلات ها از برگ ها به بخش های زایشی در نتیجه کاربرد سیتوکینین مربوط باشد؛ همچنین سیتوکینین صدور آسیمیلات ها از اندام های منبع و تنظیم روابط منبع مخزن را بهبود می دهد (Ullah & Bano, 2011). اثر هورمون سیتوکینین بر افزایش عملکرد دانه سایر گیاهان از جمله کینوا (Salek Mearaji *et al.,* 2020) و کنجد (Hussein *et al.,* 2015) تحت تنش خشکی نیز گزارش شده است. عملکرد دانه با تعداد دانه در طبق (r=۰/۹۲**)، وزن هزاردانه (r=۰/۹۵**) و عملکرد زیست توده (r= ۰/۹۴**) همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۴).

عملکرد زیست توده

بجز برهم کنش تاریخ کاشت×هورمون و رقم×هورمون کلیه اثرات ساده و برهمکنش ها از نظر عملکرد زیست توده تفاوت معنی داری داشتند (جدول ۲). تنش گرمای آخر فصل ناشی از تاریخ کاشت دیرهنگام سبب کاهش ۳۱ درصدی عملکرد زیست توده کلیه ارقام شد. واکنش ارقام نیز از این نظر متفاوت بود؛ به گونه ای که عملکرد زیست توده در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم تحت تنش شدید دمایی ناشی از کشت دیرهنگام با کاهش به ترتیب ۲۹، ۱۹، ۳۵، ۴۵ و ۴۶ درصدی روبرو شد (جدول ۳). میزان کاهش در ارقام لاکومکا و پروگرس به مراتب کمتر از سایر ارقام بود. رقم پروگرس در کشت به هنگام با محلول پاشی هورمون کینتین ۵۰ میکرومولار، دارای بیش ترین (۹۳۶۷ کیلوگرم در هکتار) میزان عملکرد زیست توده بود. همچنین بیش ترین درصد کاهش در شرایط تاریخ کاشت دیرهنگام در مقایسه با کاشت به هنگام مربوط به رقم قاسم به میزان ۴۸ درصد بود (جدول ۳). تاریخ کاشت دیرهنگام باعث تسریع مراحل نموی گیاه از سبز شدن تا گل دهی می شود و دوره تشکیل و پر شدن دانه با دماهای بالا برخورد نموده و منجر به کاهش عملکرد زیست توده می شود. کاهش عملکرد

زیست توده ارقام گلرنگ تحت تأثیر تنش گرما در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Sahu & Thakur, 2012; Salehi *et al.,* 2019). ازآنجایی‌که زراعت آفتابگردان در بسیاری از مناطق خوزستان با شرایط تنش‌های مختلف از جمله خشکی و درجه حرارت بالا روبرو می‌شود، و همچنین با توجه به همبستگی بالای بین عملکرد زیست توده و عملکرد دانه، انتخاب ارقام مناسب کاشت در منطقه بر اساس عملکرد زیست توده از اهمیت خاصی برخوردار است و بایستی ارقامی را گزینش کرد که عملکرد زیست توده و شاخص برداشت بالاتری داشته باشند (Sheikh Mamo *et al.,* 2023). بر همین اساس، رقم پروگرس و لاکومکا در تاریخ های مختلف کاشت در شرایط خوزستان مناسب تر هستند (جدول ۳). در این پژوهش کاربرد ۵۰ میکرومولار کینتین سبب افزایش عملکرد زیست توده کلیه ارقام در مقایسه با عدم کاربرد هورمون شد، به گونه ای که مقادیر این افزایش در کاشت دیرهنگام ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب برابر با ۲۴، ۱۳، ۲۵، ۳۲ و ۲۳ درصد بود (جدول ۳).کاربرد سیتوکینین می تواند به علت بهبود رشد و تأخیر در پیری برگ ها و ایجاد منبع فیزیولوژیک کارآمد برای استفاده هرچه بیش تر نور دریافتی و افزایش انتقال ماده پرورده به بخش های مختلف گیاه و افزایش تولید ماده خشک سبب افزایش عملکرد زیست توده گردد (Hussein *et al.,* 2015). افزایش عملکرد زیست توده با محلول پاشی هورمون سیتوکینین بر گیاه کنجد (Hussein *et al.,* 2015) و گندم (Zaheer *et al.,* 2019) نیز گزارش گردیده است. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد زیست توده با تعداد دانه در طبق (r = ۰/۸۹**) و وزن هزاردانه (r=۰/۹۴**) بر نقش این صفت در افزایش عملکرد دانه دلالت دارد (جدول ۴).

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ با تأخیر در کاشت کاهش یافت، به طوری که بیش ترین شاخص سطح برگ مربوط به کشت به هنگام و کم ترین آن مربوط به کشت دیرهنگام بود. همچنین بیش ترین درصد کاهش (۲۶ درصد) مربوط رقم قاسم و کم ترین درصد (۹ درصد) مربوط به رقم پروگرس در کشت دیرهنگام به دست آمد (جدول ۳). در شرایط شروع تنش گرما در گیاه، تقسیم سلولی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و کاهش تقسیم سلولی در سلول های مریستمی برگ منجر به کاهش سطح برگ و کاهش سطح دریافت تشعشع فعال خورشیدی و نهایتاً کاهش فتوسنتز خواهد شد. کاهش شاخص سطح برگ با تأخیر در کاشت آفتابگردان در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Allinne *et al.,* 2009). محلول پاشی سیتوکینین شاخص سطح برگ را به طور معنی داری افزایش داد. به طوری که با محلول پاشی ۵۰ میکرومولار سیتوکینین در مقایسه با عدم کاربرد هورمون، بیش ترین میزان افزایش شاخص سطح برگ در رقم پروگرس درکشت به هنگام (۴۴ درصد) به دست آمد (جدول۳). بهبود شاخص سطح برگ گیاه از طریق محلول پاشی برگی سیتوکینین بر گیاهچه های ذرت تحت تنش خشکی در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Brault & Maldiney, 1999).

شاخص کلروفیل

بجز برهم کنش تاریخ کاشت×هورمون و رقم×هورمون، کلیه اثرات ساده و برهمکنش ها از نظر شاخص کلروفیل تفاوت معنی داری داشتند

(جدول ۲). میزان شاخص کلروفیل در ارقام مختلف واکنش متفاوتی به تاریخ کاشت نشان داد، به گونه ای که در تاریخ کشت دیرهنگام مقدار آن در دو رقم اسکار و قاسم به طور معنی داری کاهش یافت، درصورتی که در سه رقم لاکومکا، پروگرس و شمس مقادیر ان با تأخیر در تاریخ کاشت افزایش یافت (جدول ۳). مقادیر متفاوت شاخص کلروفیل در ارقام مختلف در کشت به هنگام و دیرهنگام را می توان به مقادیر متفاوت شاخص سطح برگ و طول متفاوت دوره ی رشد ارقام نسبت داد، به گونه ای که این تفاوت ها در سایر صفات مورد بررسی نیز مشهود بود. مشخص شده که در شرایط تنش شدید گرمایی، مقادیر کلروفیل به دلیل پراکسیداسیون لیپیدهای کلروپلاست و غشاهای تیلاکوئیدی کاهش می یابد (Mohammed & Tarpley, 2010). محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش شاخص کلروفیل ارقام گردید این افزایش نیز در ارقام مختلف متفاوت بود. یکی از عوامل مهم حفظ ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان، حفظ میزان کلروفیل است، همچنین سیتوکینین می تواند با اثر بر آنزیم کلروفیلاز مانع تجزیه کلروفیل گردد و از طریق کاهش فعالیت این آنزیم و مشارکت در تشکیل پروتوکلروفیل، محتوای کلروفیل را افزایش می دهد (Cortleven & Schmülling, 2015). در کشت به هنگام شاخص کلروفیل با محلول پاشی۵۰ میکرومولار کینتین در رقم لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب به میزان ۲۸، ۳۵، ۲۱، ۷ و ۲۶ درصد افزایش یافت، در حالی که مقادیر این افزایش در کشت دیرهنگام به ترتیب با ۵۷، ۲۷، ۳۴، ۲۰ و ۳۸ درصد بود (جدول ۳). افزایش شاخص کلروفیل در نتیجه محلول پاشی با هورمون سیتوکینین در گندم تحت تنش خشکی (Zaheer *et al.,* 2019) نیز گزارش گردیده است.

محتوی نسبی آب برگ

از نظر محتوای نسبی آب برگ، تفاوت های معنی داری بین ارقام، تاریخ های کاشت، سطوح هورمون و برهم‌کنش تاریخ کاشت×هورمون تاریخ کاشت×رقم×هورمون مشاهده شد (جدول ۲). کاشت دیرهنگام کم ترین و کاشت به هنگام بیش ترین میزان محتوی نسبی آب برگ را به خود اختصاص داد. به گونه ای که محتوای نسبی آب در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم در کشت دیرهنگام به ترتیب به میزان ۱۳، ۳۰، ۱۳، ۴۰ و ۲۲ درصد کاهش یافت (جدول ۳). برای ایجاد جریان آب از خاک به داخل ریشه‌ها، مهّم‌ترین سازوکار، تنظیم اسمزی است که گیاه پتانسیل اسمزی را توسط انباشتگی فعال یون‌های آلی یا مواد محلول در درون واکوئل کاهش می‌دهد (Hussein *et al.,* 2015). کاربرد ۵۰ میکرومولار کینتین سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ کلیه ارقام در مقایسه با عدم کاربرد هورمون شد. در شرایط کشت به هنگام محتوای نسبی آب با محلول پاشی۵۰ میکرومولار کینتین در رقم لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب به میزان ۱۲،۱۴، ۱۸، ۱۶ و ۱۶ درصد افزایش یافت در حالی که مقادیر این افزایش در تنش شدید دمایی ناشی از کشت دیرهنگام به ترتیب با ۱۶، ۲۰، ۱۶، ۲۰ و ۱۶ درصد بود (جدول ۳). افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سیتوکینین در سایر پژوهش ها بیانگر نقش مثبت سیتوکینین بر محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش است (Salek Mearaji *et al.,* 2020; Hussein *et al.,* 2015). سیتوکینین

با افزایش رشد ریشه و تحریک تولید ریشه های موئین در تبادل آب نقش ویژه ای درگیاه داشته است. همچنین پژوهش های اخیر نشان داد که کاربرد سیتوکینین از طریق بهبود جذب آب در شرایط تنش، سبب افزایش محتوای نسبی آب در برگ گیاه گندم گردیده است (Nagar et *al.*, 2015).

هدایت روزنه ای

بین اثر تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و کلیه برهمکنش ها از نظر هدایت روزنه‌ای تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۳). کاشت به هنگام بیش ترین و شرایط تنش گرمایی ناشی از کاشت دیر هنگام کم ترین میزان هدایت روزنه‌ای را دارا بودند، به طوری که میزان هدایت روزنه‌ای در ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم در کشت دیرهنگام به ترتیب به میزان ۲۳، ۱۸، ۲۹، ۴۳ و ۲۱ درصد کاهش یافت (جدول۳). به عبارت دیگر، گیاه از طریق بستن نسبی روزنه ها و کاهش هدایت روزنه ای در شرایط تنش گرما قادر به کاهش تلفات آب خواهد بود. هدایت روزنه‌ای یکی از شاخص هایی است که در شرایط تنش شواهد کافی برای ارزیابی تفاوت‌های ژنوتیپی را فراهم می‌آورد (Rahnama *et al.*, 2010). تنش گرمایی و دماهای بالا باعث بسته شدن روزنه ها برای نگهداری آب درون روزنه ها و کاهش تعرق و به حداقل رساندن تلفات آب می گردد (Hao *et al.*, 2019). تنظیم هدررفت آب از طریق بسته شدن روزنه ها، به عنوان یک سازوکار تحمل به تنش محسوب می شود (Rahnama *et al.*, 2010). واکنش ارقام مورد بررسی به اثرات دمای بالا بر روی هدایت روزنه‌ای نیز متفاوت بود. به طور کلی، افزایش دمای محیط منجر به کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و هدایت روزنه‌ای می شود (Haba *et al.*, 2014). محلول پاشی میکرومولار کینتین هدایت روزنه ای در هر دو تاریخ کاشت به هنگام و دیر هنگام افزایش یافت. در کشت به هنگام این افزایش در رقم لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب به میزان ۲۰، ۲۲، ۲۶، ۳۶ و ۱۳ بود در حالی که در کشت دیرهنگام به ترتیب با ۲۰، ۱۳، ۲۲، ۱۰ و ۹ درصد بود (جدول ۳). بیش ترین و کمترین میزان افزایش در غلظت ۵۰ میکرومولار به ترتیب مربوط به رقم شمس در کاشت به هنگام (۳۶ درصد) و رقم اسکار در کشت دیرهنگام (۹ درصد) بود (جدول ۳). احتمالاً افزایش هدایت روزنه ای از طریق افزایش تبادلات گازی و بهبود فتوسنتز منجر به افزایش عملکرد می شود. تیمار سیتوکینین از طریق افزایش کارایی دستگاه فتوسنتزی باعث مصرف دی اکسیدکربن زیر روزنه ای و در نتیجه کاهش خسارات ناشی از تنش اکسیداتیو شده و به دنبال آن باعث افزایش هدایت روزنه ای شده است (Muraro, 2011). در تاریخ کاشت دیرهنگام، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه ($r = ۰/۸۰^{**}$) بر اهمیت تبادلات گازی در بهبود عملکرد در شرایط تنش دلالت دارد (جدول ۴).

درصد روغن

بین اثر تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و برهمکنش تاریخ کاشت×رقم و تاریخ کاشت×رقم×هورمون از نظر درصد روغن تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۲). تنش گرمای آخر فصل ناشی از تاریخ کاشت دیرهنگام سبب کاهش ۱۱ درصدی روغن شد. غلظت ۵۰ میکرومولار، نیز باعث افزایش ۱۱

درصدی روغن در مقایسه با شرایط عدم کاربرد هورمون شد. بیشترین درصد روغن مربوط به رقم پروگرس و لاکومکا و کمترین مقدار آن مربوط به رقم اسکار بود. درصد روغن دانه درکاشت دیرهنگام، به دلیل افزایش دما در مرحله پر شدن دانه، و درنتیجه، کاهش طول دوره ی رشد کاهش یافت. محققان به کاهش کربوهیدرات های قابل دسترس، در شرایط تنش جهت ساختن روغن اشاره کرده اند (Awasthi *et al.,* 2014). همچنین مشخص شده که تأخیر درکاشت گیاه گلرنگ از طریق کاهش توان تولید گیاه و اختلال در سنتز تولید روغن، سبب کاهش درصد روغن گردیده است (Salehi *et al.,* 2019).

تأخیر در کاشت به ترتیب در رقم لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم به ترتیب سبب کاهش ۱۱، ۱۰، ۱۳، ۵ و ۲۷ درصدی درصد روغن دانه نسبت به شرایط کشت به هنگام شد. محلول پاشی سیتوکینین اثر معنی داری بر درصد روغن ارقام داشت، به گونه ای که در کاشت تأخیری، محلول پاشی هورمون سبب افزایش مقادیر درصد روغن در ارقام به ترتیب به میزان ۷، ۴، ۱۶، ۶ و ۱۴ درصد شد (جدول ۳). مقادیر بالای هورمون سیتوکینین در مرحله پرشدن دانه، با افزایش تقسیم سلولی آندوسپرم و ایجاد مخزن قدرتمند باعث انتقال مواد پرورده و تجمع مواد در دانه های در حال رشد می شود. افزایش درصد روغن درگیاه آفتابگردان با بکار بردن هورمون سیتوکینین در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Ullah & Bano, 2011).

عملکرد روغن

عملکرد روغن عمده ترین محصول اقتصادی بدست آمده از کشت آفتابگردان است. بین اثر تاریخ کاشت، رقم، هورمون، و کلیه برهمکنش ها از نظر عملکرد روغن تفاوت معنی داری وجود داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه ارقام در کاشت به هنگام مشاهده شد و با تأخیر در کاشت به دلیل کوتاه شدن طول دوره رشد و پر شدن دانه، فرصت لازم برای تجمع روغن در دانه در گیاه فراهم نمی شود، به گونه ای که عملکرد روغن به میزان ۳۷ درصد در مقایسه با کاشت به هنگام کاهش یافت. بیشترین عملکرد روغن مربوط به رقم پروگرس و لاکومکا و کمترین مقدار آن مربوط به رقم قاسم بود. تفاوت ارقام مورد مطالعه در واکنش به تنش گرمای انتهای فصل ناشی از کشت دیرهنگام از نظر عملکرد روغن در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Sheikh Mamo *et al.,* 2023). کاشت دیرهنگام منجر به کاهش ۴۲، ۳۴، ۳۴، ۴۰ و ۴۵ درصدی عملکرد روغن ارقام لاکومکا، پروگرس، شمس، اسکار و قاسم در مقایسه با کاشت به هنگام شد (جدول ۳). در مطالعات متعددی بیان شده است که عملکرد روغن تحت تأثیر تاریخ کاشت تغییر می کند (DeLaVega & Hall, 2002; Sheikh Mamo *et al.,* 2023). نتایج این پژوهش نشان داد، محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش معنی دار عملکرد روغن شد، به طوری که بیش ترین عملکرد روغن (۱۲۵۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به رقم لاکومکا و سطح محلول پاشی سیتوکینین ۵۰ میکرومولار درکشت به هنگام و کم ترین مقدار مربوط به رقم قاسم و بدون محلول پاشی در کشت دیرهنگام (۲۳۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول۳). عملکرد روغن به دو عامل عملکرد دانه و درصد روغن بستگی دارد. بنابراین علاوه بر مهم بودن

عوامل ژنتیکی، هرچه طول دوره پرشدن دانه تا رسیدگی زیادتر باشد زمان بیش تری برای سنتز روغن فراهم می شود، درنتیجه این امر منجر به افزایش عملکرد روغن می شود. افزایش عملکرد روغن را می توان به افزایش عملکرد دانه با کاربرد سیتوکینین ارتباط داد. بر همین اساس، بالا بودن عملکرد روغن در رقم پروگرس و لاکومکا را می توان به پتانسیل بالای این ارقام در عملکرد دانه نسبت داد. سیتوکینین از طریق تأخیر در پیری برگ، افزایش قدرت منبع و مخزن منجر به افزایش عملکرد دانه و در نهایت عملکرد روغن را افزایش می دهد. همبستگی مثبت و معنی دار بین عملکرد روغن با عملکرد دانه ($r = ۰/۹۷^{**}$) و درصد روغن ($r = ۰/۷۴^{**}$) بر اهمیت عملکرد دانه و درصد روغن در افزایش عملکرد روغن دلالت دارد (جدول۴).

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، تنش گرمایی انتهای فصل، تأثیر متفاوتی بر ارقام داشت و به طوری که دو رقم لاکومکا و پروگرس، با توجه به انطباق با شرایط محیطی منطقه مورد آزمایش، از توان تولید بالاتری نسبت به ارقام دیگربرخوردار بودند. دمای بالا در کشت دیرهنگام بر صفات مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی آفتابگردان اثر نامطلوبی داشت و تأخیر در کاشت به دلیل برخورد دوره زایشی و طبق دهی با دمای بالا، عملکرد دانه و زیست توده، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه ای را کاهش داد. محلول پاشی سیتوکینین با غلظت۵۰ میکرومولار در کشت دیرهنگام سبب بهبود این صفات گردید. با توجه به نتایج به دست آمده رقم لاکومکا و پروگرس در زمان وقوع تنش گرمایی انتهای فصل، توانستند عملکرد بالای خود را حفظ نمایند. لذا به نظر می رسد که این دو رقم برای کشت در هر دو تاریخ کاشت در اهواز قابل توصیه باشند. همچنین محلول پاشی سیتوکینین با غلظت۵۰ میکرومولار در کشت دیرهنگام سبب بهبود تحمل تنش گرمای انتهای فصل در ارقام مورد مطالعه و در نهایت افزایش قابل قبول عملکرد دانه و روغن در شرایط خوزستان گردید.

سپاسگزاری

بدین وسیله نویسندگان از حمایت های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز به شماره پژوهانه SCU.AA1401.96 سپاسگزاری می نمایند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

References

Akter, N., Islam, M., Karim, M., and Hossain, T. 2014. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *Journal of Crop Science and Biotechnology,* 17: 41-48.

Allinne, C., Maury, P., Sarrafi, A., and Grieu, P. 2009. Genetic control of physiological traits associated to low temperature growth in sunflower under early sowing conditions. *Plant Science,* 177: 349-359.

Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N.C., Berger, J., Siddique, K.H., and Nayyar, H. 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology*, 41(11), 1148-1167.

Brault, M., and Maldiney, R. 1999. Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry,* 37: 403-412.

Chimenti, C., and Hall, A. 2001. Grain number responses to temperature during floret differentiation in sunflower. *Field Crops Research,* 72(3), 177-184.

Cortleven, A., and Schmülling, T. 2015. Regulation of chloroplast development and function by Cytokinin. *Journal of Experimental Botany,* 66(16), 4999-5013.

Demir, I. 2019. The effects of sowing date on growth, seed yield and oil content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars under rainfed conditions. *Fresenius Environmental Bulletin,* 28(9), 6849-6857.

De la Vega, A. J., and Hall, A. J. 2002. Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield. *Crop Science,* 42(4), 1191-1201.

Garcia-Lopez, J., Lorite, I. J., Garcia-Ruiz, R., and Dominguez, J. 2014. Evaluation of three simulation approaches for assessing yield of rainfed sunflower in a Mediterranean environment for climate change impact modelling. *Climate Change,* 124 (1–2), 147-162.

Haba, P. D., Mata, D.L., Molina, E., and Agüera, E. 2014. High temperature promotes early senescence in primary leaves of sunflower *(Helianthus annus* L.*)* plants. *Canadian Journal of Plant Science,* 94(4), 659-669.

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 Journal,* 16: 232-239.

Hao, L., Guo, L., Li, R., Cheng, Y., Huang, L., Zhou, H., and Zheng, Y. 2019. Responses of photosynthesis to high temperature stress associated with changes in leaf structure and biochemistry of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Scientia Horticulturae,* 246: 251-264.

Hernández, F., Poverene, M., Mercer, K. L., and Presotto, A. 2020. Genetic variation for tolerance to extreme temperatures in wild and cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.) during early vegetative phases. *Crop and Pasture Science, 71*(6), 578-591.

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), 128-141.

Kaleem, S., Hassan, F.U., and Saleem, A. 2009. Influence of environmental variations on physiological attributes of sunflower. *African Journal of Biotechnolog, 8*: 3531-3539.

Kalyar, T., Rauf, S., Teixeira Da Silva, J. A., and Shahzad, M. 2014. Handling Sunflower 10 (*Helianthus annus* L.) populations under heat stress. *Archives of Agronomy and Soil Science,* 60(5), 655-672.

Machekposhti, M. F., Shahnazari, A., Ahmadi, M. Z., Aghajani, G., and Ritzema, H. 2017. Effect of irrigation with seawater on soil salinity and yield of oleic sunflower. *Agricultural water management,* 188: 69-78.

Matev, A., Petrova, R., and Kirchev, H. 2012. Evapotranspiration of sunflower crops depending on irrigation. *Agricultural Science and Technology,* 4 (4), 417- 426.

Mohammed, A. R., and Tarpley, L. 2010. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *European Journal of Agronomy,* 33: 117-123.

Moradi Aghdam, A., Daneshian, J., Valadabadi, S. A., Zakerin, H. R., Ghafari, M., Haji Hassani, N., and Moradi Aghdam, M. 2011. Effect of planting dates on the phenology and some agronomic characteristics of sunflower cultivars under Khoy condition. *Journal of Crop Ecopgysiology, 3*(3), 205-215. (In Persian with English

Summary).

Muraro, D., Byrne, H., King, J., Voss, U., Kieber, J., and Bennett, M. 2011. The influence of cytokinin–auxin cross-regulation on cell-fate determination in *Arabidopsis thaliana* root development. *Journal of Theoretical Biology,* 283(1), 152-167.

Nagar, S., Ramakrishnan, S., Singh, V. P., Singh, G. P., Dhakar, R., Umesh, D. K., 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(1), 31-38.

Ozturk, E., Polat, T., and Sezek, M. 2017. The effect of sowing date and nitrogen fertilizer form on growth, yield, and yield components in sunflower. *Turkish Journal of Field Crops, 22*(1), 143-151.

Rahnama, A., James, R. A., Poustini, K., and Munns, R. 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology,* 37(3), 255-263.

Ren, B., Zhu, Y., Zhang, J., Dong, S., Liu, P., and Zhao, B. 2016. Effects of spraying exogenous hormone 6-benzyl adenine (6-BA) after waterlogging on grain yield and growth of summer maize. *Field Crops Research,* 188: 96-104.

Rondanini, D., Savin, R., and Hall, A. J. 2003. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. *Field Crops Research,* 83: 79-90.

Sahu, J., and Thakur, N. S. 2016. Response of date of sowing on yield and yield attributes of safflower cultivars. *An International Quarterly Journal of life Sciences,* 11 (1), 503-507.

Salehi, F., Rahnama Ghahfarokhi, A., Meskarbashee, M., and Mehdikhanlou, K. 2019. Effect of terminal heat stress on some agronomic, physiological and oil yield traits of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research,* 17(3), 491-502.

Salek Mearaji, H., Tavakoli, A., and Sepahvand, N.A. 2020. The effect of cytokinin on physiological and related traits with yield of quinoa under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement,* 22: 419-432. (In Persian with English Summary).

Sarafraz-Ardakani, M. R., Khavari-Nejad, R. A., Moradi, F., and Najafi, F. 2014. Abscisic

acid and cytokinin-induced carbohydrate and antioxidant levels regulation in drought-resistant and–susceptible wheat cultivar during grain filling under field conditions. *International Journal of Biosciences,* 5 (8), 11-24.

Scaven, V. L., and Rafferty, N. E. 2013. Physiological effects of climate warming on flowering plants and insect pollinators and potential consequences for their interactions. *Current Zoology,* 59: 418-426.

Schneiter, A. A., and Miller, J. F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Science,* 21(6), 901-903.

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. (In Persian with English Summary).

Ullah, F., and Bano, A. 2011. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Brazilian Journal Plant of Physiology,* 23: 27-3.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L., and 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. p. 184.

Van der Merwe, R., Labuschagne, M. T., Herselman, L., and Hugo, A. 2015. Effect of heat stress on seed yield components and oil composition in high-and mid-oleic sunflower hybrids. *South African Journal of Plant and Soil,* 32(3), 121-128.

Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., and Sah, S. K. 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. *The Crop Journal*, 4(3), 162-176.

Werner, T., and Schmulling, T. 2009. Cytokinin action in plant development. *Current Opinion in Plant Biology,* 12: 527-538.

Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S., and Jacobsen, S.E. 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science,* 202(6), 445-453.

Zaheer, M. S., Raza, M. A. S., Saleem, M. F., Erinle, K. O., 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), 2521-2533.

Foliar application of cytokinin hormone on morphophysiological and yield traits of sunflower cultivars in late sowing date

Mahbobeh Khajavi[1], Afrasyab Rahnama Ghahfarokhi [2*], Moosa Meskarbashee[3], Seyed Amir Moosavi[4], Matthew Tom Harrison[5]

1. PhD student, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran (Corresponding author)
3. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.
5. Associate Professor, Tasmanian Institute of Agriculture, University of Tasmania, Newnham Drive, Launceston, Tasmania, Australia 7248.

Received: May 2023 Accepted: January 2024- DOI: 10.22092/aj.2024.362391.1648

Extended Abstract

Khajavi, M., Rahnama Ghahfarokhi, A., Meskarbashee, M., Moosavi, S. A., Harrison, M. T., Foliar application of cytokinin hormone on morphophysiological and yield traits of sunflower cultivars in late sowing date .
Applied Research in Field Crops Vol 36, No. 1, 2023 4-6: 21-41 (in Persian)

Introduction

Crop yields in tropical regions are threatened by high temperatures during the reproductive phase which cause a severe change in the physiological and biochemical behavior of the major crops (Salehi *et al.,* 2023). Suitable sowing dates provide adequate growth and development for crops and altering sowing dates is beneficial for crop productivity as it helps the critical growth stages to avoid high temperature stress. Manipulating the sowing date is one of the the most important management practices for improving crop yield and resource use efficiency (Srivastava *et al.,* 2018). It has been reported that the highest grain and biological yields of safflower were observed on early sowing date, compared to late sowing dates (Sahu &Thakur., 2016). A delay in sowing date causes a shortening of the growing season and distances the plant from suitable growing conditions. Cytokinins are effective in responding to environmental stresses by triggering a complex signaling network. To further improve plant growth and production,

Email address of the corresponding author:a.rahnama@scu.ac.ir

exogenous cytokinin has been applied to enhance the heat stress tolerance of plants. Exogenous application of cytokinin can reduce the inhibitory impact of heat stress on photosynthetic properties, and increased antioxidant system activity. Hence, the current study aimed to evaluate the effect of cytokinin foliar spary on the morphophysiological traits and quantitative yield of sunflower cultivars in winter planting dates in Ahvaz conditions.

Materials & Methods

A field experiment was carried out in a split plot factorial design in randomized complete block design with three replications at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2022. Main plots consisted of two sowing dates; 3rd February and 5th March (normal and late sowing dates, respectively), and sub plot consisted of factorial arrangement of different concentrations of cytokinin (0 and 50 µm l-1, Kinetin), and sunflower cultivars (Progress, Lakomka, Shams, Oskar and Qasem). The cultivation on 3rd February experienced optimum temperature during growth stages as normal sowing date. On 5th March, the flowering and grain filling periods were exposed to severe heat stress at the end of the growing season as late sowing date.

Results & Discussion

Terminal heat stress in late sowing dates caused a significant decrease in the biological yield, seed yield, seed number per head, 1000-seed weight, oil yield, chlorophyll index, relative water content and stomatal conductance of sunflower plants. There was a significant difference among cultivars in terms of all traits. Late sowing date caused a significant reduction in seed yield of Lakomka, Progress, Shams, Oskar and Qasem cultivars by 32, 30, 32, 37 and 33%, respectively, compared to normal sowing date. This was equal to 1.1, 1.03, 1.1, 1.27 and 1.13% for each day of sowing delay, respectively. The concentration of 50 µm l^{-1} kinetin improved the studied traits in both sowing dates. In late sowing date, foliar application of cytokinin enhanced seed yield by 24, 29, 14, 25 and 21%, in Lakomka, Progress, Shams, Oskar and Qasem cultivars respectively, when compared to cytokinin-deficient plants. Lakomka and Progress had the highest seed and oil yield in both sowing dates. In optimum and late sowing dates; cytokinin application induced

an increase in seed yield (by 11 and 24%, respectively) and oil yield (by 27 and 34%, respectively) for Lakomka, when compared to cytokinin-deficient plants. Lakomka cultivar was identified as the most tolerant to heat stress due to higher seed and oil yield in both sowing dates and both cytokinin levels compared with other cultivars.

Conclusions

We focused on the foliar application of cytokinin on the morphophysiological traits and quantitative yield of sunflower cultivars in response to terminal heat stress to highlight the function of cytokinin in the heat stress response and its potential to increase heat stress tolerance. It appears that the delay in the optimum sowing date synchronizes the plant's reproductive stages with a high temperature at the end of the season. The results of this study provide evidence that exogenous cytokinin (50 μm l^{-1}) can be an effective strategy to improve heat tolerance of sunflower under terminal heat stress conditions in tropical regions such as Khuzestan.

Acknowledgements: We gratefully acknowledge funding support from Shahid Chamran University of Ahvaz grant number SCU.AA1401.96.

Keywords: Chlorophyll index, Heat stress, Kinetin, Oil percentage, Seed yield, Stomatal conductance

References

Sahu, J., and Thakur, N. S. 2016. Response of date of sowing on yield and yield attributes of safflower cultivars. *An International Quarterly Journal of Life Sciences* 11(1): 503-507.

Salehi, F., Rahnama, A., Meskarbashee, M., Mehdi Khanlou, K., Ghorbanpour, M. 2023. Physiological and metabolic changes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars in response to terminal heat stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 42 (10): 6585–6600.

Srivastava, R.K., Panda, R.K., Chakraborty, A., and Halder, D. 2018. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research* 221: 339–349.