

اثر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر کربوهیدرات‌های محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل ارقام گندم سیروان و هما در شرایط دیم و آبیاری

فریده صادقی^۱، یوسف سهرابی^{۲*} و عادل سی و سه مرده^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جیبرلین، سیتوکینین و سایکوسل بر برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم تحت رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام گرفت. فاکتور آبیاری در چهار سطح: دیم، یک آبیاری (در مرحله غلاف رفتن)، دو آبیاری (در مراحل غلاف رفتن + گلدهی) و سه آبیاری (در مراحل غلاف رفتن + گلدهی + دانه بندی) به عنوان عامل اصلی، دو رقم گندم (سیروان و هما) به عنوان عامل فرعی و فاکتور محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد شامل: شاهد، جیبرلین (۱۰۰ میکرومولار)، سیتوکینین (۱۰۰ میکرومولار) و سایکوسل (سه گرم در لیتر) در مراحل ساقه رفتن و دانه بندی به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که میزان کربوهیدرات‌های محلول در شرایط دیم بالاتر بود. از طرفی، محتوی نسبی آب، سرعت کاهش آب از برگ و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تیمار آبیاری افزایش یافت. بیشترین میزان کلروفیل‌های a و کل نیز در تیمار سه آبیاری به دست آمد. با محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن و دانه بندی، کاربرد جیبرلین سبب کاهش سرعت کاهش آب از برگ شد. اما، کاربرد سیتوکینین و سایکوسل سبب افزایش محتوی کاروتنوئیدها، کاربرد جیبرلین و سایکوسل سبب افزایش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) و کاربرد هر سه تنظیم‌کننده رشد سبب افزایش کربوهیدرات‌های محلول شد. نتایج همچنین نشان داد با محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن، بالاترین میزان عملکرد دانه با کاربرد تنظیم‌کننده‌های سیتوکینین و سایکوسل و در مرحله دانه بندی با کاربرد سایکوسل در تیمار سه بار آبیاری به دست آمد و رقم هما عملکرد دانه بالاتری نسبت به رقم سیروان داشت. لذا بر اساس نتایج حاصل، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد سیتوکینین و سایکوسل جهت بهبود برخی صفات فیزیولوژیک و افزایش عملکرد دانه گندم پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جیبرلین، سایکوسل، سیتوکینین، کاروتنوئید، محتوای نسبی آب برگ

۱ و ۲. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: y.sohrabi@uok.ac.ir

مقدمه

گندم یکی از گیاهان زراعی بسیار با اهمیت در سطح جهان است که نقش حیاتی در امنیت غذایی داشته و حدود ۳۰ درصد غذای اصلی مردم جهان را تأمین می‌کند (۵۳). داریانتو و همکاران (۱۲) تخمین زده‌اند که در ۲۰ سال آینده، بایستی تولید گندم جهت تأمین تقاضای بازار تا ۶۰ درصد افزایش یابد. تنش خشکی مهم‌ترین عامل کاهش تولید این محصول به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است (۳۴). افت شدید عملکرد، ناشی از کاهش سنتز کربوهیدرات‌ها و خسارت به رنگیزه‌های فتوسنتزی (به‌علت تولید گونه‌های فعال اکسیژن، تخریب ساختارهای غشایی و غیرفعال شدن آنزیم‌ها) است که باعث کاهش فتوسنتز می‌شود (۵۴). محتوای نسبی آب بیشتر سبب افزایش فتوسنتز و در نتیجه، افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (۱۴). برخی از مطالعات حاکی از قابل اطمینان بودن این صفت به‌عنوان شاخص تحمل به خشکی است (۳۰). تحقیقات زیادی نشان داده‌اند که سرعت کاهش آب از برگ نیز با مقاومت به خشکی مرتبط است و می‌تواند به‌عنوان یکی از شاخص‌های غربال در برنامه‌های اصلاحی کاربرد داشته باشد (۵۰). گیاهان مقاوم به خشکی تمایل به حفظ محتوای آب بالا دارند و برای کنار آمدن با شرایط تنش، تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند قندهای محلول را تجمع می‌دهند (۲) و با تجمع این ترکیبات در سلول‌ها می‌توانند پتانسیل اسمزی را کنترل کنند، فشار تورگور سلولی را حفظ کنند، رادیکال‌های آزاد را از بین ببرند و به‌عنوان یک منبع انرژی و کربن عمل کنند و در محافظت از پایداری غشاء و آنزیم‌های مربوط به متابولیسم گیاه تحت شرایط تنش خشکی، نقش ایفا کنند (۴۱). قندهای محلول در حفظ ساختار ماکرومولکول‌های سلول و از جمله ثبات بخشیدن به ساختار DNA نیز نقش دارند، به‌طوری‌که برخی دانشمندان مقدار قندها را به‌عنوان شاخص خوبی برای بیان مقاومت به تنش ذکر کرده‌اند (۱۸). رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز از اجزای کلیدی در فرایند فتوسنتز هستند، که می‌توانند به‌عنوان شاخص ارزشمندی برای ارزیابی وضعیت گیاه در یک

مرحله رشدی معین تحت یک شرایط محیطی خاص استفاده شوند (۱). کاروتنوئیدها به‌عنوان رنگیزه‌های کمکی عمل می‌کنند و وظایف مهمی مانند محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی و جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها را بر عهده دارند (۲۳). فلورسانس کلروفیل یکی از تکنیک‌هایی است که برای ارزیابی عملکرد گیاه در مقابل تنش، مورد استفاده قرار می‌گیرد. چرا که این تکنیک کاهش سلامت اولیه گیاه را قبل از آشکار شدن نشانه‌های زوال نمایان می‌سازد (۳۲). اندازه‌گیری مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند ارزیابی مناسبی از عملکرد کوانتومی و جریان الکترون در فتوسیستم II را نشان دهد (۳۵). مؤلفه‌های فلورسانس کلروفیل شامل F_0 (حداقل فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_m (حداکثر فلورسانس در برگ سازگار شده با تاریکی)، F_v (میزان تغییر فلورسانس یا فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی) و F_v/F_m (حداکثر کارایی یا عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در شرایط سازگار شده با تاریکی) هستند (۲۷).

تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نقش حیاتی در تنظیم واکنش‌های گیاهی به تنش‌های محیطی دارند و جیبرلین‌ها به‌عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله خشکی را افزایش می‌دهند (۴۴). این تنظیم‌کننده‌های رشد، تحت شرایط تنش، سبب کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شوند (۴۷). اثرات تنظیم‌کننده رشد سیتوکینین بر گیاهان متنوع است و احتمالاً به مکان و زمان تغییر محتوای آن بستگی دارد و با چگونگی تغییرات سایر هورمون‌ها و عوامل و شرایط محیطی در ارتباط است (۴۸). گزارش شده است که این تنظیم‌کننده رشد برای پاسخ به مجموعه‌ای از عوامل محیطی شامل دما، خشکی، تنش اسمزی، شوری، تنش مواد غذایی (۱۱) مورد نیاز است. کاربرد تنظیم‌کننده رشد سایکوسل نیز تحت شرایط تنش می‌تواند باعث ایجاد تغییراتی در صفات فیزیولوژیکی گیاهانی مانند گندم شود (۴۰) و ممکن است سبب افزایش عملکرد و کیفیت این محصول شود.

میکرومولار و محلول‌پاشی سایکوسل به میزان ۳ گرم در لیتر به‌عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. عمل محلول-پاشی توسط محلول‌پاش دقیق دستی با فشاری ثابت در سه روز متوالی در دو مرحله ساقه رفتن (کد ۳۷ زادوکس) و دانه بندی (کد ۷۹ زادوکس) تکرار گردید و جهت جلوگیری از تجزیه سریع هورمون‌ها، محلول‌پاشی بعد از غروب آفتاب صورت گرفت. قبل از کاشت از عمق ۳۰-۵ سانتی‌متری خاک قسمت‌های مختلف مزرعه، نمونه مرکب تهیه شد و جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک و داده‌های هواشناسی محل انجام آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است. بعد از آماده‌سازی زمین جهت کاشت، هر رقم در ۱۹ ردیف ۱۰ متری به فواصل ۱۵ سانتی‌متر و تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع کشت شدند. فاصله بین کرت‌های اصلی، دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی و فرعی فرعی، یک متر در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و حجم آب مصرفی از طریق روابط زیر محاسبه و به وسیله کنتور اندازه‌گیری شد (۱۳).

$$I = (\theta_t - \theta_n) \times \rho_b \times D_h \times A \quad (1)$$

$$\theta_t = (\theta_{\max} - \theta_{tr}) / 100 \quad (2)$$

که در آن I: مقدار آب آبیاری بر حسب مترمکعب، θ_t : میلی گرم آب بر گرم وزن خاک خشک بعد از آبیاری، θ_{\max} : میلی گرم بر گرم وزن خاک خشک در ظرفیت زراعی، θ_{tr} : نسبت رطوبت نهایی به رطوبت در ظرفیت زراعی (در این مطالعه معادل ۷۵ درصد رطوبت زراعی در نظر گرفته شد)، ρ_b : چگالی مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، θ_n : میلی گرم بر گرم خاک خشک قبل از آبیاری، D_h : عمق ریشه (متر) و A: مساحت کرت آزمایشی بر حسب مترمربع بود.

اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه بعد از اعمال تیمارهای آزمایش، در مرحله دانه‌بندی صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ (RWC)، پس از نمونه‌برداری برگ‌ها بلافاصله وزن تر (FW) آنها ثبت شد. سپس برگ‌ها به مدت ۴ ساعت در آب مقطر شناور شدند پس از آن، مجدداً توزین و وزن آماس (TW)

لذا به‌دلیل افزایش جمعیت، دغدغه تولید گندم به‌عنوان اصلی‌ترین غذای مردم در سراسر جهان همچنان وجود دارد. بنابراین حل مشکل تأمین غذا زمانی امکان پذیر خواهد بود که دانش محققین این فن با هم درآمیزد و نتیجه آن به افزایش عملکرد در واحد سطح و یا کاهش افت عملکرد ناشی از تنش‌های محیطی منجر شود. از طرف دیگر، به‌دلیل وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه، اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک در کنار برنامه‌های اصلاحی جهت مدیریت عملکرد نهایی ضروری است. چرا که عملکرد نهایی، برآیند روابط بین صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی است و تغییر در مقادیر این صفات موجب کاهش عملکرد می‌شود. لذا با وجود مطالعات قابل توجه در زمینه اثر تنش‌های محیطی و تنظیم‌کننده‌ها بر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، همچنان راه رسیدن به عملکرد بالای این محصول ادامه دارد و انجام مطالعات بیشتر در این زمینه، ضروری بوده و بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان واقع در منطقه دهگلان با مختصات ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا واقع در ۴۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج اجرا شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این تحقیق، تیمار آبیاری در چهار سطح بدون آبیاری (دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله غلاف رفتن (کد ۴۱ زادوکس)، دوبار آبیاری در مراحل غلاف رفتن و گلدهی (کدهای ۴۱ و ۶۱ زادوکس) و سه‌بار آبیاری در مراحل غلاف رفتن + گلدهی + دانه بندی (کدهای ۴۱، ۶۱، ۷۹ زادوکس) (۵۳) به‌عنوان عامل اصلی، دو رقم گندم (سیروان و هما) به‌عنوان عامل فرعی و تیمار محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل: عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی جیبرلین با غلظت ۱۰۰ میکرومولار، محلول‌پاشی سیتوکینین با غلظت ۱۰۰

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته	نیتروژن	مواد آلی	بافت خاک	
						رس	سیلت
(ppm)	(dS m ⁻¹)	(pH)	(%)				شن
۱۲/۴	۳۲۰	۰/۴۹	۷/۶۲	۰/۰۹	۰/۷۶	۴۷/۴	۳۸/۴

جدول ۲. میزان بارندگی ماهیانه و میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهیانه محل انجام آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
بارندگی (mm)	۰	۱۰/۱	۲۰/۱	۴۶/۱	۳۹/۷	۶۲/۴	۵۲/۹	۴۳/۴	۰	۰
درجه حرارت حداقل (°C)	۸/۰۱	۵/۹۱	-۴/۴۳	-۳/۲۸	-۵/۶۷	-۲/۰۸	۴/۹۳	۱۰/۰۴	۱۳/۷۵	۱۸/۲۴
درجه حرارت حداکثر (°C)	۲۲/۶۲	۱۵/۵	۷/۰۸	۷/۱۲	۳/۰۹	۸/۵۶	۱۴/۴۶	۲۲/۳۵	۲۸/۲۱	۳۳/۳۲

دانه‌بندی از برگ پرچم نمونه‌برداری صورت گرفت و در نیتروژن مایع منجمد شد و بلافاصله به فریزر انتقال داده شد و تا زمان اندازه‌گیری رنگی‌ها در دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به‌منظور اندازه‌گیری محتوی رنگی‌ها، ۰/۱ گرم نمونه برگی در ازت مایع در داخل هاون ساییده و پودر شد. سپس در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد و ۰/۰۱ گرم منیزیم کاملاً ساییده شدند و در فالتون ۱۵ میلی‌لیتر ریخته شد و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس محلول رویی، جمع‌آوری شده و میزان جذب نوری (A) آنها در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر قرائت شد. مقادیر کلروفیل و کاروتنوئید با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد. که در این روابط، V حجم نهایی نمونه استخراج شده، W وزن تر نمونه، Chl a، Chl b، Chl t و Car به ترتیب غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها بر mg g⁻¹ بود (۲۴).

$$\text{Chla} = [12.25(A_{663}) - 2.79(A_{645})] \times V / (1000 \times W) \quad (۵)$$

$$\text{Chlb} = [21.21(A_{645}) - 5.1(A_{663})] \times V / (1000 \times W) \quad (۶)$$

$$\text{ChlT} = \text{Chla} + \text{Chlb} \quad (۷)$$

$$\text{Car} = [(1000 \times A_{470}) - (1.82 \times \text{Chla}) - (85.02 \times \text{Chlb})] / 198 \quad (۸)$$

اندازه‌گیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل برگ پرچم با استفاده از

آنها ثبت شد. برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و پس از این زمان، وزن خشک (DW) نمونه‌ها یادداشت شد و با استفاده از معادله‌ی زیر محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (۴۳).

$$\text{RWC}\% = (FW - DW) / (TW - DW) \times 100 \quad (۳)$$

به منظور تعیین سرعت کاهش آب از برگ پرچم (RWL)، بلافاصله وزن تر نمونه‌ها (W₁) اندازه‌گیری شد. سپس برگ‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده شدند و مجدداً توزین شدند (W₂). نهایتاً بعد از قرار دادن برگ‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون، وزن خشک آنها تعیین شد (W₃) و از طریق رابطه (۴) سرعت کاهش آب از برگ بر حسب گرم آب از دست رفته در ساعت به ازاء هر گرم وزن خشک نهایی برگ محاسبه شد (۳۹). در این رابطه T₁ و T₂ زمان برحسب دقیقه از توزین اولیه تا توزین برگ پژمرده است که چهار ساعت است.

$$\text{RWL} = ((W_1 - W_2) / W_3) / (T_2 - T_1) \quad (۴)$$

اندازه‌گیری غلظت کربوهیدرات‌های محلول در آب و الکل برگ پرچم، با روش آنترون و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۵ نانومتر و با توجه به منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف گلوکز، در مرحله دانه‌بندی صورت گرفت (۵۱).

جهت اندازه‌گیری محتوی رنگی‌های فتوسنتزی گیاه، در مرحله

را تجمع هورمون آبسزیک اسید می‌دانند، به‌طوری‌که در شرایط خشکی این هورمون در ریشه به میزان بیشتری ساخته شده و در سلول‌های روزنه‌ای تجمع می‌یابد (۲۲). کاهش RWC در پاسخ به خشکی در طیف وسیعی از گیاهان مشاهده شده است (۵).

سرعت کاهش آب از برگ (RWL)

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی رقم و اثر متقابل آبیاری در رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر اصلی آبیاری، اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه جانبه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که RWL تحت شرایط دیم نسبت به دیگر سطوح آبیاری کمتر بود که احتمالاً به‌واسطه مقدار کمتر آب برگ در این شرایط است. در رقم سیروان در همه تیمارهای آبیاری کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد نسبت به عدم کاربرد آن‌ها اثر معنی‌داری بر RWL نداشت، اما در رقم هما کاربرد جیبرلین در شرایط دیم و یک آبیاری توانست RWL را کاهش دهد (جدول ۶).

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر RWL در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مشخص کرد که با کاهش دفعات آبیاری، RWL کاهش یافت به‌طوری‌که تیمار سه‌بار آبیاری دارای بالاترین RWL بود. در رقم سیروان در تیمار دوبار آبیاری و در رقم هما در تیمار دیم، یک و دوبار آبیاری کاربرد جیبرلین به‌طور معنی‌داری RWL را کم کرد. درحالی‌که در تیمار سه‌بار آبیاری، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. به‌طورکلی، با محلول‌پاشی گندم در هر دو مرحله رشد، بالاترین RWL در شرایط عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در تیمار سه‌بار آبیاری در رقم سیروان و کمترین مقدار این صفت در رقم هما با

دستگاه فلورومتر (miniPPM-200/300, EARS, Netherlands) صورت گرفت. بدین منظور فلورسانس حداقل (Fo) و فلورسانس حداکثر (Fm) در برگ‌های سازگار شده به تاریکی تعیین شد سپس با استفاده از پارامترهای تعیین شده، میزان فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) محاسبه شد.

در نهایت در مرحله رسیدگی با در نظر گرفتن اثر حاشیه، یک مترمربع از کرت‌های آزمایشی برداشت شد و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین شد.

تجزیه‌های آماری

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. ترسیم نمودارها نیز به کمک نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

محتوی نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن و دانه‌بندی، اثر اصلی آبیاری بر صفت RWC در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳ و ۴). نتایج نشان داد که در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، RWC در گندم‌های تحت تیمار یک، دو و سه‌بار آبیاری به‌ترتیب ۲۸/۸، ۳۲ و ۴۵/۳ درصد از گیاهان تحت شرایط دیم بیشتر بود (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی نیز نشان داد که RWC در تیمارهای یک، دو و سه‌بار آبیاری به‌ترتیب ۱۸/۵، ۲۰/۹ و ۴۲/۶ درصد از گیاهان تحت شرایط دیم بیشتر بود (جدول ۵). کاهش این صفت نشان‌دهنده کاهش فشار تورژسانس ناشی از محدودیت دسترسی به آب برای فرایندهای گسترش سلولی بود (۴۶). بسیاری از محققین معتقدند که کاهش RWC در اثر تنش کم‌آبی مربوط به انسداد روزنه‌ها است و علت انسداد روزنه‌ها

جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر آبیاری، رقم و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد در مرحله ساقه رفتن بر صفات مورد مطالعه در گندم

عامل	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کربوهیدرات محلول در آب	کربوهیدرات محلول در کل	سرعت کاهش آب از برگ	محتوی نسبی آب برگ	df	منابع تغییرات
دانه										
۵۷۹	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۶/۹	۶۹۰	۰/۰۰۴	۹۳/۰	۲	تکرار
۱۶۰۲۶۵**	۰/۰۳۵**	۰/۱۶۸ns	۰/۰۳۹**	۰/۰۹۵ns	۲۴۹۶**	۳۹۹۳**	۰/۰۶۲*	۲۹۷۴**	۳	آبیاری (I)
۳۵۵	۰/۰۰۲	۰/۰۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۳۲	۱۴۷	۱۸۹	۰/۰۰۹	۲۱۳	۶	خطای اول
۱۵۳۸۴*	۰/۰۰۹ns	۰/۱۳۸ns	۰/۰۱۱ns	۰/۰۷۲ns	۹۰/۲ns	۱۱۵ns	۰/۰۶۴**	۹۱/۸ns	۱	رقم (V)
۴۹۹ns	۰/۰۲۲*	۰/۱۱۱ns	۰/۰۰۹ns	۰/۰۵۹ns	۲۴۱۷**	۳۶۴۷**	۰/۰۴۸**	۲۴۵ns	۳	I×V
۱۷۳۰	۰/۰۰۵	۰/۰۹۶	۰/۰۰۹	۰/۰۵۶	۶۵/۳	۴۹/۵	۰/۰۰۵	۷۳/۵	۸	خطای دوم
۳۱۹۲**	۰/۰۱۴##	۰/۰۳۷ns	۰/۰۱۴ns	۰/۰۳۰ns	۷۶۸۱**	۷۵۹۳**	۰/۰۰۲ns	۱۴۶ns	۳	تنظیم کننده های رشد (PGRs)
۳۹۲۰**	۰/۰۰۵ns	۰/۰۶۵ns	۰/۰۰۵ns	۰/۰۴۴ns	۹۲۵**	۹۵۱**	۰/۰۰۷*	۱۰۷ns	۹	I×PGRs
۴۱۳۰**	۰/۰۱۶ns	۰/۱۲۳ns	۰/۰۲۵**	۰/۰۶۲ns	۲۹۰*	۶۰۱*	۰/۰۰۴ns	۵۲/۶ns	۳	V×PGRs
۲۳۷۷**	۰/۰۱۶**	۰/۱۴۰**	۰/۰۱۲*	۰/۰۹۰**	۸۹۷/**	۱۱۶۶**	۰/۰۰۸*	۷۰/۸ns	۹	I×V×PGRs
۷۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹	۷۵/۲	۱۹۱	۰/۰۰۳	۵۸/۴	۴۸	خطای سوم
۷/۳	۹/۵	۸/۹	۱۱/۲	۹/۵۶	۱۰/۱	۱۷/۰	۱۸/۲	۱۰/۳		ضریب تغییرات (%)

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار، وجود اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد است.

ns و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار، وجود اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد است.

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر آبیاری، رقم و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله دانه‌بندی بر صفات مورد مطالعه در گندم

عملکرد دانه	کاروتنوئید	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	کربوهیدرات محلول در آب	کربوهیدرات محلول در الکل	سرعت کاهش آب از برگ	محتوی نسبی آب برگ	df	منابع تغییرات
۳۱۷	۰/۰۳۵	۰/۰۹۵	۰/۰۰۱	۰/۱۰۹	۷۸/۰	۴/۵	۰/۰۲۲	۶۷/۳	۲	تکرار
۸۷۵۰۲**	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۲۰۹ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۱۲۱ ^{ns}	۱۳۷۲۲**	۶۸۳۴**	۰/۱۹۲**	۲۰۷۷**	۳	آبیاری (I)
۲۲۴۳	۰/۰۰۵	۰/۰۵۲	۰/۰۱۲	۰/۰۴۸	۱۱۴	۴۶/۴	۰/۰۰۸	۱۶۱	۶	خطای اول
۱۶۵۴۳*	۰/۰۳۴ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۶۷۱ ^{ns}	۴۴/۰ ^{ns}	۰/۰۵۴**	۱۲۳ ^{ns}	۱	رقم (V)
۱۵۸۹۹ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۰۹۲ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۷۱ ^{ns}	۳۶۰۳**	۲۵۵۸**	۰/۰۰۷ ^{ns}	۹۶/۳ ^{ns}	۳	I×V
۱۵۵۱	۰/۰۱۰	۰/۰۷۷	۰/۰۰۹	۰/۰۶۶	۱۶۶	۷۷/۵	۰/۰۰۳	۶۰/۹	۸	خطای دوم
۷۰۳۸**	۰/۱۰۴**	۰/۹۸۲**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۸۸۰**	۲۰۷۵**	۲۵۱۸**	۰/۰۲۱**	۲۱۱ ^{ns}	۳	تنظیم‌کننده‌های رشد (PGRs)
۲۵۸۶**	۰/۰۲۴ ^{ns}	۰/۰۸۶ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}	۰/۰۴۰ ^{ns}	۳۱۲*	۴۴۵**	۰/۰۰۹ ^{ns}	۹۸/۱ ^{ns}	۹	I×PGRs
۲۸۶۳**	۰/۰۲۳ ^{ns}	۰/۱۱۷ ^{ns}	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۰۸۰ ^{ns}	۱۵۳۴**	۳۲۴**	۰/۰۱۶*	۴۰/۴ ^{ns}	۳	V×PGRs
۲۹۶۴**	۰/۰۱۹ ^{ns}	۰/۱۳۵*	۰/۰۱۸*	۰/۰۹۸*	۶۴۱**	۲۸۶**	۰/۰۱۰*	۱۷۶ ^{ns}	۹	I×V×PGRs
۵۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۵۷	۰/۰۰۹	۰/۰۳۷	۱۱۶	۷۰/۸	۰/۰۰۴	۹۸/۶	۴۸	خطای سوم
۶/۳	۱۴/۹	۹/۱	۱۲/۰	۱۰/۰	۱۵/۱	۹/۶	۱۶/۷	۱۵/۴		ضریب تغییرات (%)

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد و یک درصد است.

جدول ۵. مقایسه میانگین محتوی نسبی آب برگ (درصد) تحت اثر آبیاری

سه آبیاری	دو آبیاری	یک آبیاری	دیم	
۸۴/۷ ^a	۷۷/۰ ^b	۷۵/۱ ^b	۵۸/۳ ^c	محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن
۷۶/۱ ^a	۶۴/۵ ^b	۶۳/۲ ^b	۵۳/۳ ^c	محلول پاشی در مرحله دانه بندی

در هر ردیف میانگین های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

کربوهیدرات های محلول در الکل در رقم هما، با کاربرد سایکوسل در تیمار دیم و یکبار آبیاری و در رقم سیروان با کاربرد سیتوکینین در تیمار دوبار آبیاری به دست آمد (جدول ۷). بر اساس اظهارات پژوهشگران، مهم ترین عامل افزایش قندهای محلول بر اثر تیمار با سایکوسل طی تنش خشکی، تخریب کربوهیدرات های نامحلول توسط اسید آبسازیک است که توسط سایکوسل سنتز می شود و منجر به افزایش قندهای محلول می شود (۲۸). سیتوکینین نیز می تواند مکانیسم کربوهیدرات ها را بهبود بخشیده و باعث تنظیم رابطه منبع و مخزن شود و باعث افزایش ظرفیت مخزن و وزن دانه شود (۳).

کربوهیدرات های محلول در آب

تجزیه واریانس داده های آزمایش نشان داد که با محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن و دانه بندی، کربوهیدرات محلول در آب از نظر آماری تحت تأثیر تمامی اثرهای اصلی و اثرات متقابل دو جانبه و سه جانبه آنها به جز اثر اصلی رقم قرار گرفت (جدول ۳ و ۴). در هر دو مرحله محلول پاشی بیشترین میزان کربوهیدرات های محلول در آب با کاربرد جیبرلین در رقم سیروان و در تیمار یک-بار آبیاری به دست آمد (جدول ۶ و ۷). احتمالاً جیبرلین با افزایش جذب و هدایت آب و مواد معدنی توسط ریشه و با افزایش سطح فتوسنتزکننده توانسته در بالا بردن فتوسنتز و قند، در گیاه مؤثر و کارآمد باشد. ناصری و همکاران (۲۹) نیز گزارش کردند که در حضور هورمون جیبرلین با افزایش تنش خشکی، افزایش قندهای محلول مشاهده شد.

کلروفیل

نتایج آماری به دست آمده از تجزیه واریانس داده ها نشان داد که

کاربرد جیبرلین تحت شرایط دیم به دست آمد (جدول ۶ و ۷). شاید علت کمتر بودن RWL در رقم هما وجود سازوکارهای کاهش دهنده تلفات آب باشد. گزارش شده است که در ژنوتیپ های مقاوم گندم نان، کاهش میزان تعرق منجر به کاهش میزان آب از دست رفته برگ می شود (۱۷).

کربوهیدرات های محلول در الکل

تجزیه واریانس داده های به دست آمده در آزمایشات محلول پاشی طی مرحله ساقه رفتن و دانه بندی نشان داد که به جز اثر اصلی رقم، سایر اثرات اصلی، دو جانبه و سه جانبه بر صفت کربوهیدرات های محلول در الکل معنی دار شد (جدول ۳ و ۴). اثر متقابل سه جانبه نشان داد که با محلول پاشی در مرحله ساقه رفتن، بیشترین میزان کربوهیدرات های محلول در الکل، در شرایط دیم و با کاربرد سایکوسل در رقم سیروان به دست آمد. گزارش شده است که تنش های خشکی تجمع قندهای محلول را در گیاه ذرت تنظیم می کنند (۱۶). طلعت (۴۲) نیز افزایش غلظت قندهای محلول کل در گیاه ذرت در معرض تنش خشکی را گزارش کرده است. افزایش قندهای محلول در شرایط خشکی می تواند به جابه جایی کمتر آنها از برگ، مصرف کمتر آنها بر اثر کاهش رشد و تغییرات دیگری چون هیدرولیز نشاسته نسبت داده شود (۱۹). در تیمار یک و سه بار آبیاری نیز با کاربرد سایکوسل در رقم هما، مقدار این کربوهیدرات نسبت به دیگر تیمارهای محلول پاشی بیشتر بود (جدول ۶).

با محلول پاشی طی مرحله دانه بندی، اثر متقابل سه جانبه نشان داد که با افزایش سطح تنش، میزان کربوهیدرات های محلول در الکل به ویژه در تیمار دیم و یکبار آبیاری نسبت به تیمار سه بار آبیاری افزایش یافت. به طور کلی بیشترین میزان

جدول ۶. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت اثر سه‌جانبه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله ساقه رفتن

عملکرد دانه	جدول کارایی فوتوشینتتیک سیستم	فلورسانس حداقل (Fv/Fm)	کلروفیل کل a	کلروفیل b	کلروفیل a+b	کربوهیدرات محلول در آب (mg g ⁻¹)	کربوهیدرات محلول در اکسل (g g ⁻¹ h ⁻¹)	سرعت کاهش آب از برگ	تیمار
۲۴۲۵۰	۰/۸۴۵۰	۳۶۸۰dh	۲/۲۸۰eg	۱/۶۰۰d	۱/۶۸۰f	۱۰۵۰d	۱۰۵۰d	۱۰۵۰d	10 × S × GA
۲۱۰	۰/۸۱۰g	۳۹۳۰b-g	۲/۲۰۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۱۲۰bc	۹۷/۴۰۰f	۹۷/۴۰۰f	10 × S × CK
۲۰۱	۰/۸۳۰۰g	۳۴۹۰d-j	۲/۲۲۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۷۲/۱۰۰g	۱۴۳۰a	۱۴۳۰a	10 × S × CCC
۲۸۴۰۰n	۰/۴۲۰h	۳۸۵۰b-g	۲/۴۲۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۷۲/۱۰۰g	۹۵/۳۰۰h	۹۵/۳۰۰h	10 × S × N
۳۳۷۰۰o	۰/۸۵۰۰g	۳۸۵۰b-g	۲/۴۲۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۱۰۰bc	۹۱/۱۰۰i	۹۱/۱۰۰i	10 × H × GA
۲۹۸۰۰l	۰/۸۳۰۰g	۳۱۸۰g-j	۲/۴۸۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۰۵۰d	۸۵/۸۰۰k	۸۵/۸۰۰k	10 × H × CK
۳۷۸۰۰m	۰/۸۸۰۰d	۳۲۳۰g-j	۲/۶۰۰f	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۹۷/۴۰۰f	۶۶/۱۰۰i	۶۶/۱۰۰i	10 × H × CCC
۲۹۰۰۰km	۰/۶۷۰g	۳۹۳۰b-g	۲/۱۲۰g	۱/۵۰۰e	۱/۵۰۰e	۹۰/۴۰۰f	۶۱/۱۰۰k	۶۱/۱۰۰k	10 × H × N
۳۴۶۰۰j	۰/۸۸۰۰d	۳۶۴۰۰c	۲/۱۸۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۲۸۰a	۸۹/۱۰۰j	۸۹/۱۰۰j	11 × S × GA
۳۲۹۰۰k	۰/۶۷۰g	۳۳۱۰g-j	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۶۸/۵۰۰h	۸۲/۱۰۰i	۸۲/۱۰۰i	11 × S × CK
۳۹۰۰۰f	۰/۶۸۰۰g	۳۶۶۰۰ab	۲/۳۲۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۶۹/۲۰۰h	۷۱/۶۰۰m	۷۱/۶۰۰m	11 × S × CCC
۳۳۶۰۰l	۰/۸۵۰۰g	۳۲۳۰g-j	۲/۳۵۰b-g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۵۶/۵۰۰k	۵۶/۱۰۰o	۵۶/۱۰۰o	11 × S × N
۴۱۶۰۰e	۰/۸۳۰۰g	۳۳۰۰g-j	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۹۵/۵۰۰e	۱۰۵۰d	۱۰۵۰d	11 × H × GA
۳۹۰۰۰f	۰/۸۱۰۰g	۳۰۷۰۰g-j	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۰۷۰bc	۷۱/۶۰۰m	۷۱/۶۰۰m	11 × H × CK
۳۵۹۰۰i	۰/۸۴۰۰g	۳۴۶۰۰j	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۰۴۰۰d	۱۱۳۰۰b	۱۱۳۰۰b	11 × H × CCC
۳۴۴۰۰k	۰/۸۰۰۰c	۲۹۷۰۰h	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۳۳/۴۰۰k	۴۳/۶۰۰p	۴۳/۶۰۰p	11 × H × N
۳۴۱۰۰g-j	۰/۸۱۰۰g	۳۵۱۰۰d-j	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۸۲/۹۰۰h	۷۰/۴۰۰q	۷۰/۴۰۰q	12 × S × GA
۳۹۷۰۰d-g	۰/۸۱۰۰g	۳۷۳۰۰d-h	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۷۵/۰۰f	۱۱۴۰۰b	۱۱۴۰۰b	12 × S × CK
۳۹۱۰۰d-g	۰/۸۳۰۰g	۴۲۳۰۰d	۲/۳۳۰۰g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۸۶۰۰f	۸۴/۰۰c	۸۴/۰۰c	12 × S × CCC
۳۷۵۰۰h	۰/۸۴۰۰g	۳۶۷۰۰d-h	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۸۶۰۰f	۸۴/۰۰c	۸۴/۰۰c	12 × S × N
۴۰۸۰۰c-f	۰/۸۰۰۰c	۳۴۳۰۰f-j	۲/۴۱۰۰g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۸۸۰۰f	۸۴/۰۰c	۸۴/۰۰c	12 × H × GA
۴۰۱۰۰c-f	۰/۶۹۰۰d-g	۲۷۴۰۰j	۲/۳۲۰fg	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۸۵۰۰f	۸۷/۳۰۰g	۸۷/۳۰۰g	12 × H × CK
۳۹۱۰۰d-g	۰/۸۴۰۰g	۳۱۵۰۰g-j	۲/۳۰۰۰g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۶۹۰۰b-f	۱۰۶۰۰d	۱۰۶۰۰d	12 × H × CCC
۳۸۵۰۰g	۰/۸۳۰۰g	۳۷۵۰۰d-h	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۶۹۰۰b-f	۱۰۶۰۰d	۱۰۶۰۰d	12 × H × N
۴۰۳۰۰c-f	۰/۸۳۰۰g	۴۳۱۰۰a-e	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۶۹۰۰b-f	۱۰۶۰۰d	۱۰۶۰۰d	13 × S × GA
۴۴۵۰۰bc	۰/۶۴۰۰f	۳۹۱۰۰b-g	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۶۹۰۰b-f	۱۰۶۰۰d	۱۰۶۰۰d	13 × S × CK
۵۰۲۰۰a	۰/۸۱۰۰ab	۳۲۸۰۰g-j	۲/۲۸۰۰g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۱۰۸۰۰bc	۹۵/۳۰۰h	۹۵/۳۰۰h	13 × S × CCC
۳۴۹۰۰d	۰/۸۶۰۰a-f	۳۸۱۰۰c-h	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۴۹/۶۰۰k	۵۱/۵۰۰p	۵۱/۵۰۰p	13 × S × N
۴۴۶۰۰bc	۰/۸۰۰۰d-g	۳۵۴۰۰i	۲/۴۰۰h	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۶۴/۹۰۰j	۱۰۱۰۰c-e	۱۰۱۰۰c-e	13 × H × GA
۵۰۴۰۰a	۰/۸۷۰۰a-e	۳۶۶۰۰d-h	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۶۸/۷۰۰h-j	۱۰۲۰۰c-e	۱۰۲۰۰c-e	13 × H × CK
۴۸۲۰۰ab	۰/۸۳۰۰a	۲۶۷۰۰f	۲/۵۰۰d	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۶۹/۴۰۰j	۱۲/۱۰۰ab	۱۲/۱۰۰ab	13 × H × CCC
۴۱۸۰۰c-e	۰/۸۶۰۰a-f	۳۹۳۰۰b-g	۲/۳۳۰۰g	۱/۶۰۰d	۱/۶۰۰f	۲۹/۰۰i	۴۹/۱۰۰mp	۴۹/۱۰۰mp	13 × H × N

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند: 10: د.ب. 11: یک مرحله آبیاری، 12: دو مرحله آبیاری، 13: سه مرحله آبیاری، 14: عدم محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد، GA: جیرلین، CK: سیتو کینین، CCC: سایکوسل.

جدول ۷. مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه تحت اثر سه‌جانبه آبیاری، رقم و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله دانه بندی

عملکرد دانه (g m ⁻²)	حداکثر کارایی فتوسنتزی	فلورسانس حداقل (Fv/Fm)	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	سرعت کاهش آب از برگ (g g ⁻¹ h ⁻¹)	تیمار
۲۹۴۰۰	۰/۷۷۴ ^{eg}	۴۰۰ ^o cg	۲/۵۴۰ ^f	۰/۷۱ ^b be	۱/۸۳ ^{sf}	۱۰۹ ^{ab}	I0 × S× GA
۲۳۸۰۰	۰/۷۵۴ ^f	۴۷۷ ^{ab}	۲/۷۰ ^o ee	۰/۸۷ ^{sd}	۱/۸۷ ^{se}	۱۰۵ ^b c	I0 × S× CK
۲۶۸۰۰	۰/۷۷۰ ^b e	۳۹۱ ^{ci}	۳/۸۰ ^o ee	۰/۸۳ ^{sd}	۱/۹۸ ^{ae}	۱۰۹ ^{ab}	I0 × S× CCC
۲۸۳۰۰	۰/۶۸ ^g	۵۰۱ ^a	۲/۶۰ ^o ee	۰/۹۳ ^a	۱/۷۵ ^{bg}	۹۹/۶ ^o cd	I0 × S× N
۲۹۱۰۰	۰/۷۶ ^b ee	۲۹۱ ^{nm}	۲/۵۸ ^{bf}	۰/۸۱ ^{ad}	۱/۷۶ ^{bg}	۱۱۰ ^{ab}	I0 × H× GA
۳۱۲۰۰	۰/۷۴ ^c e	۳۶۳ ^{el}	۲/۳۹ ^{dg}	۰/۷۳ ^b e	۱/۶۵ ^{cg}	۱۰۷ ^{ab}	I0 × H× CK
۲۸۰۰	۰/۷۵ ^c e	۳۳۱ ^{gn}	۲/۷۲ ^o e	۰/۷۴ ^b e	۱/۹۸ ^{ae}	۱۱۲ ^a	I0 × H× CCC
۲۹۰۰	۰/۶۲ ^h	۳۲۷ ^{hn}	۲/۲۰ ^o fg	۰/۷۶ ^b ee	۱/۴۴ ^{gh}	۹۴/۵ ^b de	I0 × H× N
۳۱۳۰۰	۰/۷۶ ^b ee	۵۴۴ ^{ac}	۲/۸۵ ^d	۰/۸۷ ^{sd}	۲/۰۷ ^{sd}	۱۱۰ ^{ab}	I1 × S× GA
۳۸۰۰	۰/۷۷ ^b ee	۳۹۴ ^{ch}	۲/۷۵ ^e	۰/۸۷ ^{sd}	۱/۹۱ ^{ae}	۱۱۰ ^{ab}	I1 × S× CK
۴۱۷۰۰	۰/۷۵ ^{df}	۲۲۰ ^b ee	۲/۶۷ ^o ee	۰/۷۹ ^q ad	۱/۸۸ ^{ae}	۷۱/۴ ^{gi}	I1 × S× CCC
۳۲۶۰۰	۰/۷۲ ^{eg}	۴۲۳ ^b ee	۲/۵۴ ^{bf}	۰/۸۰ ^{ad}	۱/۸۳ ^{bg}	۷۰/۹ ^{gi}	I1 × S× N
۳۸۲۰۰	۰/۷۷ ^b ee	۲۹۷ ⁱⁿ	۲/۷۶ ^o ee	۰/۷۶ ^b ee	۲/۰۰ ^{ad}	۱۰۸/۰ ^{ab}	I1 × H× GA
۳۸۲۰۰	۰/۶۸ ^g	۳۸۵ ^{ci}	۲/۹۷ ^{ab}	۰/۹۰ ^{ab}	۲/۰۵ ^{ab}	۱۰۷ ^{ab}	I1 × H× CK
۳۸۶۰۰	۰/۷۴ ^{dg}	۳۲۴ ^{fn}	۲/۹۷ ^{ab}	۰/۸۵ ^{ac}	۲/۱۱ ^{ab}	۱۱۲ ^a	I1 × H× CCC
۳۲۴۰۰	۰/۷۳ ^{eg}	۴۵۴ ^{ac}	۲/۳۳ ^{eg}	۰/۶۹ ^{ce}	۱/۶۴ ^{dg}	۸۱/۱ ^{eg}	I1 × H× N
۳۶۸۰۰	۰/۷۵ ^b ee	۳۱۱ ^{kn}	۲/۴۶ ^{eg}	۰/۶۸ ^b ee	۱/۷۸ ^{bg}	۷۱/۹ ^{gi}	I2 × S× GA
۳۸۴۰۰	۰/۷۵ ^b ee	۳۳۳ ^{kl}	۲/۶۱ ^{of}	۰/۵۸ ^e	۲/۰۷ ^{sd}	۱۱۲ ^a	I2 × S× CK
۳۹۱۰۰	۰/۷۵ ^b ee	۳۳۳ ^{kl}	۲/۷۸ ^{ae}	۰/۷۹ ^q ad	۱/۹۸ ^{ae}	۹۷/۴ ^o cd	I2 × S× CCC
۳۷۵۰۰	۰/۷۲ ^{eg}	۳۶۷ ^{dk}	۲/۱۷ ^g	۰/۶۷ ^{ce}	۱/۵۰ ^{fh}	۶۳/۵ ^{hj}	I2 × S× N
۳۸۷۰۰	۰/۷۲ ^{eg}	۳۴۳ ^{cm}	۲/۸۸ ^{ac}	۰/۸۸ ^{ad}	۲/۰۹ ^{ab}	۵۹/۱ ^{li}	I2 × H× GA
۳۸۳ ^{eg}	۰/۷۵ ^c e	۲۷۴ ^{mn}	۲/۴۰ ^o cg	۰/۷۹ ^q ad	۱/۶۱ ^{eh}	۵۹/۱ ^{li}	I2 × H× CK
۴۶۵۰۰	۰/۷۷ ^b ee	۳۱۵ ^{kn}	۲/۷۵ ^e	۰/۷۴ ^b ee	۲/۰۳ ^{sc}	۷۷/۵ ^{gh}	I2 × H× CCC
۳۸۵۰۰	۰/۷۷ ^b ee	۳۱۶ ⁱⁿ	۲/۱۷ ^g	۰/۶۸ ^b ee	۱/۴۸ ^{fh}	۴۱/۳ ^o	I2 × H× N
۳۳۷۰۰	۰/۸۳ ^a	۳۲۸ ^{hn}	۲/۷۴ ^o e	۰/۸۰ ^{ad}	۱/۹۴ ^{ae}	۵۹/۹ ^{li}	I3 × S× GA
۳۸۹۰۰	۰/۷۵ ^b ee	۴۴۵ ^{ac}	۳/۰۸ ^h	۰/۹۰ ^{ab}	۲/۱۷ ^o	۶۷/۶ ^{hj}	I3 × S× CK
۴۳۹۰۰	۰/۷۷ ^b ee	۴۱۳ ^b ee	۲/۸۷ ^{ac}	۰/۷۷ ^{ae}	۲/۱۰ ^{ab}	۷۴/۳ ^{gi}	I3 × S× CCC
۴۲۹۰۰	۰/۸۰ ^{ad}	۳۸۸ ^{ci}	۲/۰۷ ^g	۰/۷۹ ^q ad	۱/۲۸ ^h	۵۳/۹ ^{kl}	I3 × S× N
۴۲۱ ^{ce}	۰/۸۱ ^{ab}	۳۳۸ ^{cm}	۳/۰۱ ^{ab}	۰/۸۲ ^{ad}	۲/۱۸ ^{ae}	۸۶/۹ ^d g	I3 × H× GA
۴۲۱ ^{ce}	۰/۷۷ ^b ee	۳۶۲ ^{el}	۲/۶۷ ^o ee	۰/۶۵ ^{de}	۲/۰۱ ^{ad}	۸۵/۳ ^{eg}	I3 × H× CK
۴۷۷۰۰	۰/۸۱ ^{ac}	۲۶۷ ⁿ	۲/۵۷ ^{bf}	۰/۶۸ ^{ae}	۲/۰۹ ^{eg}	۹۰/۴ ^{cf}	I3 × H× CCC
۴۱۸۰۰	۰/۷۴ ^{eg}	۴۰۲ ^{cf}	۲/۴۸ ^g	۰/۷۷ ^{bg}	۴۵/۶ ^{ph}	۷۱/۳ ^{gi}	I3 × H× N

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. I0: دیم، I1: یک مرحله آبیاری، I2: دو مرحله آبیاری، I3: سه مرحله آبیاری، S: سیروان، H: عدم محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد، CK: سیتوکینین، SA: سالیسیل.

آبیاری کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در رقم سیروان نسبت به عدم کاربرد آنها تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل b نداشت درحالی‌که در رقم هما در شرایط دیم کاربرد جیبرلین و در تیمار سه‌بار آبیاری، کاربرد سیتوکینین و سایکوسل غلظت کلروفیل b را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. در بین تیمارها، بیشترین غلظت کلروفیل b در تیمار یک‌بار آبیاری و با کاربرد جیبرلین در رقم هما به‌دست آمد (جدول ۶).

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، نتایج نشان داد که اثر اصلی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار شد. در غلظت کلروفیل b اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل سه جانبه نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a به‌ترتیب با کاربرد جیبرلین در رقم هما و کاربرد سیتوکینین در رقم سیروان تحت تیمار سه‌بار آبیاری به‌دست آمد و بیشترین کلروفیل کل در تیمار سه‌بار آبیاری در رقم سیروان و با کاربرد سیتوکینین به‌دست آمد (جدول ۷). پیشنهاد شده است که کمترین ممکن است دو اثر بر کلروفیل داشته باشد، اول اینکه می‌تواند باعث تجمع کلروفیل شود و دوم اینکه از تجزیه کلروفیل از طریق اثر بر فعالیت کلروفیل‌لاز جلوگیری کند (۵۰). چانگ و همکاران (۹) نیز گزارش کرده‌اند که سیتوکینین می‌تواند مقدار غلظت کلروفیل برگ، پایداری کلروپلاست و میزان فتوسنتز خالص را افزایش دهد.

اثر متقابل سه عامل نشان داد که در بین کلیه تیمارها در دو رقم، تنها کاربرد سیتوکینین در تیمار یک آبیاری در رقم هما توانست غلظت کلروفیل b را به‌طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ها افزایش دهد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد افزایش محتویات رنگدانه فتوسنتزی توسط بنزیل آدنین به‌دلیل تأثیر مستقیم بنزیل آدنین بر واکنش‌های فتوسنتزی/ و افزایش اندازه و تعداد کلروپلاست در برگ‌ها در نتیجه تقسیم سلولی باشد (۳).

در محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. در کلروفیل b اثر آبیاری و اثر متقابل آبیاری در رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد در همه سطوح آبیاری، کاربرد تنظیم‌کننده‌ها در رقم سیروان نسبت به عدم کاربرد آنها اثر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل‌های a و کل نداشت اما در رقم هما کاربرد جیبرلین و سایکوسل در شرایط دیم و کاربرد سیتوکینین در تیمار سه‌بار آبیاری میزان غلظت کلروفیل a و کلروفیل کل را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. معمار و همکاران (۲۷) بیان کردند که احتمالاً اثر مثبت سایکوسل بر فعالیت آنزیمی و یا افزایش اسیدهای آمینه و ترکیبات پروتئینی منجر به افزایش محتوای کلروفیل می‌شود و در مطالعه‌ای که اثر شوری و کاربرد جیبرلیک اسید بر رشد دو رقم گندم مورد بررسی قرار گرفت، گزارش شد که تیمار جیبرلیک اسید اثر منفی تنش شوری بر سطح برگ و رنگدانه‌های فتوسنتزی دو رقم گندم را کاهش داد (۳۹). افزایش سطح کلروفیل تحت تیمار جیبرلین و سایکوسل در شرایط دیم، در رقم هما در این آزمایش نیز ممکن است به‌دلیل تأثیر این تنظیم‌کننده‌های رشد در جلوگیری از تخریب کلروفیل، سنتز کلروفیل، تحریک سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های محلول باشد (۳۱). به‌طورکلی بیشترین محتوای کلروفیل a و کلروفیل کل در تیمار سه‌بار آبیاری و با کاربرد سیتوکینین در رقم هما به‌دست آمد و کمترین میزان این صفات نیز در رقم هما در تیمار شاهد تحت شرایط دیم حاصل شد (جدول ۶). در طی آزمایشی روی دو ژنوتیپ گندم نیز گزارش شد که در گیاهان تیمار شده با سیتوکینین، محتوای رنگدانه‌ها به میزان قابل توجهی در مقایسه با شاهد مربوطه بالاتر بود (۲۲).

اثر متقابل سه عامل نشان داد که غلظت کلروفیل b در تیمار سه بار آبیاری نسبت به دیگر سطوح بیشتر بود. در همه سطوح

کاروتنوئید

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، نتایج نشان داد که اثر اصلی آبیاری و رقم، اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل آبیاری در رقم در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مشخص کرد که در مجموع، با افزایش شدت تنش غلظت کاروتنوئیدها افزایش یافت و تیمارهای دیم، یک و دوبار آبیاری نسبت به تیمار سه آبیاری غلظت کاروتنوئید بیشتری داشتند. به‌طور کلی بیشترین غلظت کاروتنوئیدها (۰/۶۷۱) در تیمار دیم و کاربرد تنظیم‌کننده سایکوسل و کمترین (۰/۳۳۸) در شرایط شاهد در رقم هما و تیمار سه‌بار آبیاری به‌دست آمد (جدول ۶).

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلین، سیتوکینین و سایکوسل نسبت به شاهد، غلظت کاروتنوئیدها را به‌طور معنی‌داری به‌ترتیب حدود ۱۶، ۱۴ و ۱۶ درصد افزایش دادند (شکل ۱). جیبرلین می‌تواند با تأثیر بر ژن‌های کدکننده مسیر بیوستز ژرانیل پیروفسفات سنتز کاروتنوئیدها را تحت تأثیر قرار دهد (۳۹). برالت و مالدینی (۸) نشان دادند که سیتوکینین از طریق افزایش غلظت کاروتنوئیدها، کلروفیل را در برابر اکسیداسیون نوری محافظت می‌کند. رن و همکاران (۳۶) در مطالعه‌ای با بررسی اثر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین بر ذرت گزارش کردند که کاربرد این هورمون مقدار کاروتنوئید را به میزان قابل توجهی افزایش داد و سبب بهبود فتوسنتز در گیاه شد. وانگ و شیائو (۴۶) نیز نشان دادند که تیمار گیاهان با سایکوسل ممکن است غلظت کاروتنوئیدها را افزایش دهد.

فلورسانس حداقل (Fo)

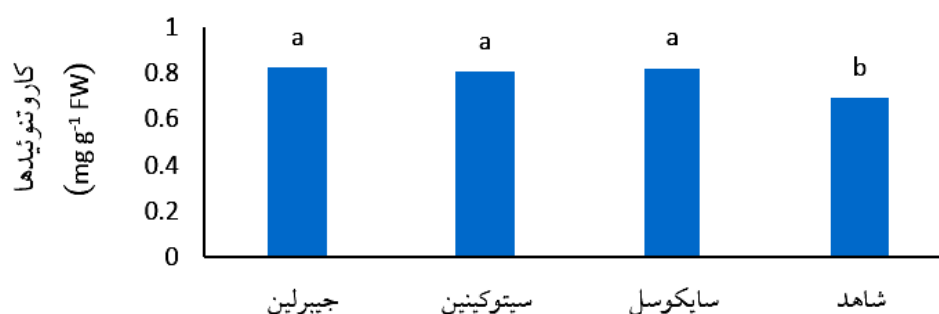
در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل سه جانبه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). اثر متقابل سه عامل نشان داد که در رقم سیروان

تحت شرایط دیم، هر سه تنظیم‌کننده رشد و در تیمار یک‌بار آبیاری و کاربرد سیتوکینین، Fo را به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. در رقم هما، سیتوکینین در تیمار دوبار آبیاری و سایکوسل در تیمار سه‌بار آبیاری میزان این پارامتر را نسبت به شرایط عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش دادند. لذا سیتوکینین و سایکوسل نسبت به جیبرلین در کاهش این پارامتر بیشتر مؤثر بودند (جدول ۶).

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آبیاری و اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد، اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه جانبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که فلورسانس حداقل در تیمار دیم و یک‌بار آبیاری نسبت به دو سطح دیگر آبیاری بیشتر بود. در رقم سیروان در شرایط دیم و در رقم هما در تیمار یک‌بار آبیاری، کاربرد جیبرلین و سایکوسل در مقایسه با شاهد مربوطه این صفت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. لازم به ذکر است که در همین رقم، کاربرد سایکوسل در تیمار سه‌بار آبیاری نیز توانست مقدار این صفت را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش دهد. به‌طور کلی با محلول‌پاشی در هر دو مرحله رشد بیشترین فلورسانس حداقل در شاهد و در رقم سیروان تحت شرایط دیم مشاهده شد که کمترین مقدار نیز به تیمار سه‌بار آبیاری و کاربرد سایکوسل در رقم هما مربوط بود (جدول ۷). با توجه به مشاهدات آرائوس و همکاران (۶)، تنش‌های محیطی موجب تغییر ساختاری در مرکز واکنش فتوسیستم II می‌شوند. بنابراین خسارت محدودیت آبی با خسارت به مرکز واکنش فتوسیستم II و جب افزایش Fo می‌شود.

فلورسانس حداکثر (Fm)

تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که با محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن و دانه‌بندی، اثر اصلی آبیاری و رقم و اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار شد (جدول ۸). در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، نتایج مشخص کرد فلورسانس حداکثر (Fm) در رقم سیروان حدود ۱۱/۸ درصد از



شکل ۱. مقایسه میانگین محتوی کاروتنوئیدها تحت اثر تنظیم‌کننده‌های رشد در محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی. ستون‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

دیم و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به‌دست آمد (جدول ۱۰). نتایج ممنوعی و سید شریفی (۲۶) نیز نشان داد که در شرایط محدودیت آبی، اختلاف بین Fm و Fo یعنی فلورسانس متغیر کاهش پیدا می‌کند و این امر به خاطر افزایش Fo و کاهش Fm بوده است.

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که اثر اصلی آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و تأثیر رقم و اثر متقابل آبیاری با تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۸). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که فلورسانس متغیر در تیمار سه‌بار آبیاری نسبت به دیگر سطوح آبیاری بیشتر بود. اثر متقابل دو جانبه آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که در تیمار یک، دو و سه‌بار آبیاری اختلاف معنی‌داری بین کاربرد و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد وجود نداشت اما در شرایط دیم، سیتوکینین و سایکوسل این صفت را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۱۰). به‌طور کلی Fv به تغییرات فراساختاری حساس بوده و تنش‌های محیطی میزان آن را به علت ممانعت از فتواکسیداسیون فتوسیستم II کاهش می‌دهند (۳۵).

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II

نتایج آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن حاکی از آن

رقم هما بیشتر بود (جدول ۹). اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که بالاترین Fm در تیمار سه‌بار آبیاری با کاربرد سایکوسل و کمترین میزان در تیمار دیم در شرایط عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به‌دست آمد (جدول ۱۰).

با محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی نتایج مقایسه دو رقم مشخص کرد که رقم سیروان با میانگین ۱۶۹۳/۹ دارای Fm بیشتری نسبت به رقم هما با میانگین ۱۳۸۳/۹ بود (جدول ۹). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین Fm در تیمار سه آبیاری با کاربرد جیبرلین به‌دست آمد و کمترین مقدار تحت شرایط دیم و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ها به‌دست آمد (جدول ۱۰).

فلورسانس متغیر (Fv)

نتایج آماری به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در محلول‌پاشی طی مرحله ساقه رفتن، اثر اصلی آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در سطح احتمال ۱ درصد بر Fv معنی‌دار شد (جدول ۸). اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد نشان داد که در شرایط دیم، کاربرد هر سه تنظیم‌کننده رشد به‌طور معنی‌داری Fv را نسبت به شرایط شاهد افزایش داد، اما در دیگر تیمارهای آبیاری کاربرد تنظیم‌کننده‌ها نسبت به شرایط شاهد اثر معنی‌داری بر این پارامتر نداشت. بیشترین Fv با کاربرد سایکوسل در تیمار سه‌بار آبیاری و کمترین مقدار تحت شرایط

جدول ۸. تجزیه واریانس تأثیر آبیاری، رقم و محلول پاشی تنظیم کننده های رشد در مراحل ساقه رفتن و دانه بندی بر پارامترهای کلروفیل فلورسانس در گندم

منابع تغییرات					
ساقه رفتن			دانه بندی		
فلورسانس	فلورسانس	فلورسانس	فلورسانس	فلورسانس	فلورسانس
حداکثر	حداکثر	متغیر	حداکثر	حداکثر	حداکثر
df	df	df	df	df	df
منابع تغییرات					
تکرار	۲	۵۸۲۴۴	۴۹۵۷۳	۱۸۲۱	۳۸۹۰۷
آبیاری (I)	۳	۲۴۵۴ ^{ns}	۶۱۱۳۷۹*	۱۲۶۱۷*	۵۸۸۸۱۸*
خطای اول	۶	۳۰۶۳	۸۷۳۶۷	۱۶۳۴	۹۹۰۸۹
رقم (V)	۱	۸۵۵۹۱**	۷۵۰۵۵	۱۱۸۹۶۸**	۲۳۰۶۴۰۰**
I×V	۳	۴۸۳۵ ^{ns}	۳۵۸۷۴۳ ^{ns}	۵۲۹۱ ^{ns}	۶۴۱۸۶ ^{ns}
خطای دوم	۸	۲۰۱۲	۱۶۸۰ ^{ns}	۲۱۳۴	۳۱۹۸۴
تنظیم کننده های رشد (PGRs)	۳	۱۰۹۰۱**	۱۱۵۱۸۲	۱۳۱۰۹**	۲۱۶۳۳ ^{ns}
I×PGRs	۹	۸۸۵۲**	۱۸۵۶۵۲ ^{ns}	۴۱۰۴**	۱۵۶۵۳۷**
V×PGRs	۳	۱۳۰۳ ^{ns}	۲۲۲۹۶۶*	۴۳۳۱*	۶۳۳۱۵ ^u
I×V×PGRs	۹	۵۰۳۱*	۱۶۲۵۹۴ ^{ns}	۸۳۷۹**	۱۰۶۰۸۹ ^{ns}
خطای سوم	۴۸	۱۸۸۷	۷۷۵۴۱ ^{ns}	۱۲۶۶	۵۵۳۷۲
ضرب تغییرات (%)	۱۱/۸	۲۲/۰	۳۷/۰	۹/۵	۱۵/۲
و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار، وجود اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد و یک درصد است.					

جدول ۹. مقایسه میانگین فلورسانس حداکثر در دو رقم مورد مطالعه

سیروان	هما
۱۵۳۴ ^a	۱۳۵۲ ^b
۱۶۹۳ ^a	۱۳۸۳ ^b

در هر ردیف میانگین‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین صفات فلورسانس حداکثر و فلورسانس متغیر تحت اثر دوجانبه آبیاری و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله ساقه رفتن و دانه‌بندی

آبیاری	تنظیم‌کننده‌های رشد	ساقه رفتن		دانه‌بندی	
		فلورسانس حداکثر (F _M)	فلورسانس متغیر (F _V)	فلورسانس حداکثر (F _M)	فلورسانس متغیر (F _V)
I0	GA	۱۵۱۲ ^{a-e}	۱۱۳۵ ^{a-d}	۱۳۷۴ ^{c-e}	۱۰۲۸ ^{c-e}
	CK	۱۳۱۸ ^{b-f}	۹۶۲/۹ ^{b-d}	۱۶۶۹ ^{a-c}	۱۲۴۸ ^{bc}
	CCC	۱۴۲۵ ^{a-f}	۱۰۸۸ ^{b-d}	۱۵۶۳ ^{b-e}	۱۲۰۲ ^{b-d}
	N	۱۰۲۴ ^f	۵۸۱/۳ ^e	۱۲۴۸ ^e	۸۳۳ ^e
I1	GA	۱۶۹۵ ^{ab}	۱۲۹۸ ^{ab}	۱۶۵۷ ^{a-c}	۱۲۸۳ ^{bc}
	CK	۱۱۹۶ ^{d-f}	۸۷۶ ^{c-e}	۱۴۸۴ ^{b-e}	۱۰۹۴ ^{b-e}
	CCC	۱۴۶۷ ^{a-e}	۱۰۶۱ ^{b-d}	۱۴۷۱ ^{b-e}	۱۰۹۸ ^{b-e}
	N	۱۶۳۰ ^{a-d}	۱۲۶۹ ^{a-c}	۱۶۴۱ ^{a-c}	۱۲۰۱ ^{b-d}
I2	GA	۱۲۴۵ ^{c-f}	۸۹۷ ^{b-e}	۱۲۵۶ ^e	۹۲۹ ^{de}
	CK	۱۱۱۵ ^{ef}	۷۹۱ ^{de}	۱۳۲۰ ^{de}	۹۹۶ ^{c-e}
	CCC	۱۴۶۸ ^{a-e}	۱۰۹۴ ^{b-d}	۱۵۸۹ ^{b-d}	۱۲۱۵ ^{b-d}
	N	۱۴۱۵ ^{a-f}	۱۰۴۴ ^{b-d}	۱۳۶۵ ^{c-e}	۱۰۲۳ ^{c-e}
I3	GA	۱۴۴۱ ^{a-f}	۱۰۴۸ ^{b-d}	۱۹۲۲ ^a	۱۵۸۹ ^a
	CK	۱۶۷۹ ^{a-c}	۱۲۹۹ ^{ab}	۱۶۹۸ ^{ab}	۱۲۹۴ ^{bc}
	CCC	۱۸۱۱ ^a	۱۵۱۳ ^a	۱۶۳۳ ^{a-d}	۱۲۹۳ ^{bc}
	N	۱۶۴۸ ^{a-c}	۱۲۶۱ ^{a-c}	۱۷۲۹ ^{ab}	۱۳۳۴ ^{ab}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. I0: دیم، I1: یک مرحله آبیاری، I2: دومرحله آبیاری، I3: سه مرحله آبیاری N: عدم محلول‌پاشی با تنظیم‌کننده‌های رشد، GA: جیبرلین، CK: سیتوکینین، CCC: سایکوسل

سایکوسل توانست این پارامتر را نسبت به شرایط عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش دهد، اما در دیگر تیمارهای آبیاری بین تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در مطالعه‌ای با بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر گندم تحت تنش

است که حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II از نظر آماری تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و اثرات متقابل دوجانبه و سه‌جانبه آنها به جز اثر رقم و اثر متقابل آبیاری در رقم قرار گرفت (جدول ۸). نتایج نشان داد که در شرایط دیم در رقم سیروان کاربرد هر سه تنظیم‌کننده و در رقم هما کاربرد

خشکی گزارش شد که حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II تخت تنش خشکی کاهش یافت، اما کاربرد سایکوسل آن را بهبود داد (۷).

در آزمایش محلول‌پاشی طی مرحله دانه‌بندی، تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که اثر اصلی آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد، اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه عامل در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۸). با افزایش شدت تنش در این آزمایش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به‌طور کلی، بیشترین میزان این صفت در تیمار سه‌بار آبیاری و کاربرد جیبرلین در رقم سیروان و کمترین مقدار در ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی و رقم هما در شرایط دیم به‌دست آمد (جدول ۷). از آنجایی رابطه مثبتی بین فتوستز و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II وجود دارد (۲۶) لذا احتمالاً جیبرلین از طریق افزایش فتوستز سبب افزایش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شده است.

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که با محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن و دانه‌بندی، عملکرد دانه از نظر آماری تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و اثرات متقابل دوجانبه و سه جانبه آنها به جز اثر متقابل آبیاری در رقم قرار گرفت (جدول ۳ و ۴). در هر دو رقم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، بالاترین عملکرد دانه مربوط به تیمار سه مرحله آبیاری بود و با کاهش دفعات آبیاری از میزان عملکرد دانه کاسته شد به گونه‌ای که در تیمار دیم کمترین عملکرد دانه به‌دست آمد.

با محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن، بیشترین عملکرد دانه در رقم هما با کاربرد سیتوکینین (504 g m^{-2}) و در رقم سیروان با کاربرد سایکوسل (502 g m^{-2}) در تیمار سه‌بار آبیاری به‌دست آمد (جدول ۶). با محلول‌پاشی در مرحله دانه‌بندی بیشترین عملکرد دانه معادل 477 g m^{-2} گرم در مترمربع در تیمار سه‌بار آبیاری با کاربرد سایکوسل در رقم هما به‌دست آمد (جدول ۷).

اثر مثبت سیتوکینین بر افزایش عملکرد دانه گندم توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (۱۰). احتمالاً سیتوکینین با به تعویق انداختن پیری و افزایش دوره فعال رشد دانه (۱۵) و با اثر مثبت بر افزایش ظرفیت فتوستزی موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. همچنین گزارش شده است که کاربرد سایکوسل در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (۴). صداقت و امام (۳۸) با بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر عملکرد دانه ارقام گندم در رژیم‌های متفاوت رطوبتی گزارش کرده‌اند که در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، سایکوسل بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه داشت و بیان کردند که سایکوسل با افزایش مدت سبزمانی برگ پرچم و سنبله تأثیر مثبتی بر طول فرایند فتوستز داشته است. لذا احتمالاً سایکوسل از طریق افزایش غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدها، تسریع روند فسفوریلاسیون، افزایش تعداد کلروپلاست‌ها و افزایش سرعت فتوستز (۴۷)، همچنین به دلیل تغییر در تخصیص مواد پرورده به سمت پر شدن دانه (۲۱)، سبب افزایش عملکرد شده است.

نتیجه‌گیری

اهمیت اقتصادی گندم، ایجاب می‌کند که هر گونه راه‌کاری برای بهینه‌سازی سیستم تولید این محصول مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی‌ها نشان داده است که با انجام آبیاری در مراحل حساس به تنش کمبود آب، عملکرد دانه گندم افزایش می‌یابد. کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد نیز در شرایط تنش و غیر تنش، در افزایش رشد و نمو گیاه نقش دارد. در آزمایش حاضر، آبیاری توانست نقش مهمی در کاهش آسیب‌های وارده به گیاه از طریق افزایش محتوی نسبی آب برگ و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II داشته باشد. همچنین افزایش عملکرد دانه توسط تیمارهای یک، دو و سه‌بار آبیاری در مقایسه با شرایط دیم بیانگر نقش بسیار مهم آبیاری در بهبود عملکرد دانه بود. محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد در مرحله ساقه رفتن موجب افزایش کربوهیدرات‌های محلول و افزایش حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II شد. محلول‌پاشی در مرحله دانه‌بندی علاوه بر

دانه‌بندی در تیمار سببار آبیاری به‌دست آمد و در مقایسه دو رقم، رقم هما عملکرد دانه بالاتری نسبت به رقم سیروان داشت. لذا با توجه به اثر مثبت این تنظیم‌کننده‌های رشد به‌ویژه سیتوکینین و سایکوسل در بهبود صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه و افزایش عملکرد دانه، می‌توان استفاده از این دو تنظیم‌کننده رشد را به‌ویژه در شرایط عدم محدودیت آب آبیاری، جهت افزایش عملکرد دانه پیشنهاد کرد.

افزایش صفات مذکور سبب افزایش غلظت کلروفیل a، کلروفیل کل و کاروتنوئید شد. در محلول‌پاشی طی دو مرحله رشدی ساقه رفتن و دانه‌بندی سرعت کاهش آب از برگ، فلورسانس حداقل و فلورسانس حداکثر در رقم سیروان بیشتر از رقم هما بود. علاوه بر این، نتایج نشان داد بالاترین میزان عملکرد دانه از طریق محلول‌پاشی گندم توسط تنظیم‌کننده‌های سیتوکینین و سایکوسل در مرحله ساقه رفتن و کاربرد سایکوسل در مرحله

منابع مورد استفاده

1. Abdelrahman, M. D. J. Burritt and L. P. Tran. 2018. The use of metabolomic quantitative trait locus mapping and osmotic adjustment traits for the improvement of crop yields under environmental stresses. *Seminars in Cell and Developmental Biology* 83: 86-94.
2. Abid, M. 2016. Improved tolerance to post-anthesis drought stress by pre-drought priming at vegetative stages in drought-tolerant and-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry* 106: 218-227.
3. Abou Rayya, M. S., S. M. Thanaa and E. K. Nabila. 2015. Photosynthetic pigments and fruit quality of Manzanillo olive as affected by 6-benzyl adenine and studying the chemical constituents in leaves using Fourier transform infrared spectroscopy technique. *International Journal of ChemTech Research* 8: 514-522.
4. Akbarimehr, S., S. Sayfzadeh, N. Shahsavari, S. A. Valad Abadi and E. H. Masouleh. 2022. Cycocel, iron and zinc effects on yield and physiological characteristics of wheat under drought stress conditions. *Journal of Plant Nutrition* 45: 664-673.
5. Allahverdiyev, T. I. 2015. Physiological traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress. *Agricultural Science* 6: 848-859.
6. Araus, J. L., T. Amaro, J. Voltas, H. Nakkoul and M. M. Nachit. 1998. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 55: 209-223.
7. Barányiová, I. and K. Klem. 2016. Effect of application of growth regulators on the physiological and yield parameters of winter wheat under water deficit. *Plant Soil and Environment* 62: 114-120.
8. Brault, M. and R. Maldiney. 1999. Mechanisms of cytokinin action. *Plant Physiology and Biochemistry* 37: 403-412.
9. Chang, C., J. Lu, H. P. Zhang, C. X. Ma and G. Sun. 2015. Copy number variation of cytokinin oxidase gene *Tackx4* associated with grain weight and chlorophyll content of flag leaf in common wheat. *PloS One* 10: e0145970.
10. Chen, L., J. Zhao, J. Song and P. E. Jameson. 2020. Cytokinin dehydrogenase: a genetic target for yield improvement in wheat. *Plant Biotechnology Journal* 18: 614-630.
11. Cortleven, A., J. E. Leuendorf, M. Frank, D. Pezzetta, S. Bolt and T. Schmeuelling. 2019. Cytokinin action in response to abiotic and biotic stresses in plants. *Plant Cell Environment* 42: 998-1018.
12. Daryanto, S., L. Wang and P. A. Jacinthe. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. *PLoS One* 11: e0156362.
13. Ekren, S., C. Sonmez, E. Ozcalak, Y. S. Kukul Kurtas, E. Bayram and H. Gurgulu. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural Water Management* 109: 155-161.
14. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
15. Hönig, M., L. Plihalova, A. Husíckova, J. Nisler and K. Doležal. 2018. Role of cytokinins in senescence, antioxidant defense and photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences* 19: 1-23.
16. Hussain, H. A., S. Men, S. Hussain, Y. Chen, S. Ali, S. Zhang, K. Zhang, Y. Li, Q. Xu, C. Liao and L. Wang. 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports* 9: 1-12.
17. Izanloo, A., A. G. Condon, P. Langridge, M. Tester and T. Schnurbusch. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany* 59: 3327-3346.
18. Juan, M., R. M. Rivero, L. Romero and J. M. Ruiz. 2005. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 54: 193-201.

19. Kameli, A. and D. M. Losel. 1996. Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytologist* 132: 57-62.
20. Khalilzadeh, R., R. Seyed Sharifi and J. Jalilian. 2016. Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. *Journal of Plant Growth Regulation* 11: 130-137.
21. Khan, H. U., W. Link, T. Hocking and F. Stoddard. 2007. Evaluation of physiological traits for improving drought tolerance in fababeen (*Vicia faba*). *Plant and Soil* 292: 205-217.
22. Kumari, S., S. Kumar and P. Prakash. 2018. Exogenous application of cytokinin (6-BAP) ameliorates the adverse effect of combined drought and high temperature stress in wheat seedling. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7: 1176-1180.
23. Lawlor, D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell and Environment* 25: 275-294.
24. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 11: 591-592.
25. Mamnoei, E and R. Seyed Sharifi. 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Iranian journal of plant biology* 2: 51-62. (In Farsi).
26. Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence ea practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
27. Memari, H., E. Tafazoli and A. Haghighi. 2011. Effect of drought stress and cycocel on seedling growth of two olive cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 55: 1-10.
28. Movahhedi Dehnavi, M., M. Ranjbar, A. R. Yadavi and B. Kavusi. 2010. Effect of cycocel on proline, soluble sugar, protein, oil and fatty acids of flax (*Linum usitatissimum* L.) plants under drought stress in a pot trial. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 3: 129-138. (In Farsi).
29. Naseri, Z., F. Abbassi and H. Mahmoodzadeh. 2011. Effects of different water deficit levels and GA3 on the accumulation of proline and soluble and insoluble sugars in leaves of a new cultivar of barley (*Hordeum vulgar* L.). *Journal on Plant Science Researches* 6: 1-10. (In Farsi).
30. Nouri-Rad, M. R., M. Abdulkadir, M. Y. Rafii, H. Z. E. Jaffa and M. Danaee. 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content for selection of tolerant and high yield genotyped in F2 population of wheat. *Australian Journal of Crop Science* 7: 400-413.
31. Osman, A. R. 2014. Improving some quantitative and qualitative characteristics of *Solidago canadensis* 'Tara' using cycocel and planting density under drip irrigation and lighting systems. *Life Science Journal* 11: 110-118.
32. Percival, G. C. and C. N. Sheriffs. 2002. Identification of drought-tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture* 28: 215-223.
33. Prakash, M. and K. Ramachandran. 2005. Effects of moisture stress and antitranspirant on leaf chlorophyll, soluble protein and photosynthetic rate in brinjal plants. *Journal of Agronomy* 184: 153-156.
34. Raza, M. A. S., M. F. Saleem, I. H. Khan, M. B. Hussain and G. M. Shah. 2018. Amelioration in growth and physiological efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought by potassium application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49: 2291-300.
35. Reddy, A. R., K. V. Chaitany and M. D. Vivekanandan. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161: 1189-1202.
36. Ren, B., Y. Zhu, J. Zhang, S. Dong, P. Liu and B. Zhao. 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.
37. Ristic, Z. and M. A. Jenks. 2002. Leaf cuticle and water loss in maize lines differing in dehydration avoidance. *Journal of Plant Physiology* 159: 645-651.
38. Sedaghat, M. and Y. Emam. 2016. Effect of three growth regulators on grain yield of wheat cultivars under different moisture regimes. *Journal of crop production and processing* 6: 15-33.
39. Shaddad, M. A. K., H. M., Abd El-Samad and D. Mostafa. 2013. Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 5: 50-57.
40. Srivastava, M. and P. Singh. 2010. Response of growth regulators on some physiological traits and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Progressive Agriculture* 10: 387-388.
41. Sun, C., X. Gao, X. Chen, J. Fu and Y. Zhang. 2016. Metabolic and growth responses of maize to successive drought and re-watering cycles. *Agricultural Water Management* 172: 62-73.
42. Talaat, N. B. 2020. 24-Epibrassinolide and Spermine combined treatment sustains maize (*Zea mays* L.) drought tolerance by improving photosynthetic efficiency and altering phytohormones profile. *Soil Science and Plant Nutrition* 20: 516-529.
43. Tambussi, E. A., S. Nogues and J. L. Araus. 2005. Ear of durum wheat under water stress: water relations and

- photosynthetic metabolism. *Planta* 221(3): 446-458.
44. Upreti, K.K. and Sharma, M. 2016. Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance. *Abiotic Stress Physiology. Horticultural Crops* 150: 414-418.
 45. Vysotskaya, L., P. E. Hedley, G. Sharipova, D. Veselov, G. Kudoyarova, J. Morris and Jones H. G. 2010. Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. *AoB Plants* 86: 407-421.
 46. Wang, H. Q. and L. T. Xiao. 2009. Effects of chlorocholine chloride on phytohormones and photosynthetic characteristics in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Plant Growth Regulation* 28: 21-27.
 47. Wen, F. P., Z. H. Zhang, T. Bai, Q. Xu and Y. H. Pan. 2010. Proteomics reveals the effects of gibberellic acid (GA3) on salt-stressed rice (*Oryza sativa* L.) shoots. *Plant Science* 178: 170-175.
 48. Wilkinson, S., G. R. Kudoyarova, D. S. Veselov, T. N. Arkhipova and W. J. Davies. 2012. Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management. *Journal of Experimental Botany* 63: 3499-3509.
 49. Winter, S. R., J. T. Musik and K. B. Porter. 1988. Evaluation of screening technique for breeding drought-resistant winter wheat. *Crop Science* 28: 512-516.
 50. Xiaotao, D., J. Yuping, W. Hong, J. Haijun, Z. Hongmei, C. Chunhong and Y. Jizhu. 2013. Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters, antioxidative system and carbohydrate accumulation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) under low light. *Acta Physiologiae Plantarum* 35: 1427-1438.
 51. Yemn, E. W. and A. J. Wills. 1954. The stimulation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Journal of Biochemistry* 57: 508-514.
 52. Zadoks, J. C., T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421.
 53. Zhan, H., H. Yue, X. Zhao, M. Wang, W. Song and X. Nie. 2017. Genome-wide identification and analysis of MAPK and MAPKK gene families in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genes* 8: 1-11.
 54. Zhao, G., H. Xu, P. Zhang, X. Su and H. Zhao. 2017. Effects of 24-epibrassinolide on photosynthesis and Rubisco activase gene expression in *Triticum aestivum* L. seedling under a combination of drought and heat stress. *Plant Growth Regulation* 8f: 377-384.

Effect of Plant Growth Regulators on Soluble Carbohydrates, Photosynthetic Pigments and Chlorophyll Fluorescence of Sirvan and Homa Wheat Cultivars in Rainfed and Irrigation Conditions

F. Sadeghi¹, Y. Sohrabi^{2*} and A. Sio-Se Mardeh²

(Received: March 12-2022; Accepted: May 29-2022)

Abstract

Adverse environmental conditions cause stress in plants, and some plant growth regulators (PGR's) improve plant tolerance to these undesirable conditions. In order to study the effect of gibberellin, cytokinin and cycocel on some physiological traits of two wheat cultivars under different irrigation regimes, a study was conducted as a split-split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station of Kurdistan University, Sanandaj, Iran in 2016. Irrigation at four levels: rainfed, irrigation at booting stage, irrigation at booting + flowering and irrigation at booting + flowering + grain filling stages as the main plots, two wheat cultivars (Sirvan and Homa) as sub-plots and levels of plant growth regulators foliar application including control (no-PGR), gibberellin (100 μm), cytokinin (100 μm) and cycocel (3 g l⁻¹) at the wheat stem elongation and grain filling stages as the sub-sub plots were examined. The results showed that soluble carbohydrates concentration was higher in rainfed conditions, compared to the other levels of irrigation. Relative water content, rate of water loss and maximum quantum yield of photosystem II (F_v/F_m) increased due to irrigation, relative to the rainfed condition. A higher chlorophyll a and total chlorophyll concentration was observed with cytokinin spray in the presence of the three irrigation treatments. The results also indicate that, at the stem elongation and grain filling stages, foliar application of gibberellin reduced the rate of leaf water loss. Application of cytokinin and cycocel increased the content of carotenoids, application of gibberellin and cycocel increased the F_v/F_m and the use of all three PGR's increased soluble carbohydrates concentration compared to the no-PGR condition. The highest grain yield was obtained with cytokinin and cycocel spray at the wheat stem elongation and with the application of cycocel at grain filling stages under the condition of irrigation at booting + flowering + grain filling stages. Homa cultivar produced a higher grain yield compared to Sirvan. It may be concluded that the application of cytokinin and cycocel is beneficial to some physiological attributes and hence increasing the grain yield of wheat.

Keywords: Carotenoid, Cycocel, Cytokinin, Gibberellin, Relative water content

1, 2. PhD Student and Associate Professors, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: y.sohrabi@uok.ac.ir