تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۷-۱

مقاله پژوهشی

تأثیر محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم

مهدیه سادات حسینی[۱]، هادی سالک معراجی[۲]، افشین توکلی[۳*]، رضا فتوت[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- گروه علوم کشاورزی، دانشکده باهنر پاکدشت و شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران
۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* مسئول مکاتبه: tavakoli@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰ /۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306638.1138**

چکیده

گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی دنیا است. به‌کارگیری راه‌کارهایی که سبب بهبود عملکرد گندم شود، بسیار ضروری است. به‌منظور بررسی اثرات محلول‌پاشی سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکرد ارقام گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی بنزیل‌آمینوپورین در دو سطح (صفر (شاهد) و ۵۰ میکرومولار) و شش رقم گندم (آزادی، کرج ۳، روشن، فلات، سرداری و یاواروس) بودند. محلول‌پاشی هورمون در مرحله‌ی ۵۰ درصد ظهور خوشه‌ها (کد ۵۵ مرحله رشدی زادوکس) سه مرتبه به فاصله هر هفت روز یک بار انجام گردید. سرعت فتوسنتز، دوام شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه با کاربرد سیتوکینین افزایش معنی‌داری داشت. طول دوره پر شدن همه ارقام به‌جز رقم فلات با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت. هم‌چنین، کاربرد سیتوکینین سرعت پر شدن دانه همه ارقام را کاهش ولی رقم روشن را به‌میزان ۱۷/۳ درصد افزایش داد. محلول‌پاشی سیتوکینین وزن خشک نهایی دانه ارقام آزادی، روشن و یاواروس را به‌ترتیب به‌میزان ۵/۶، ۱۴/۸ و ۶/۲ درصد افزایش داد ولی بر سایر ارقام اثر معنی‌داری نداشت. از بین ارقام مورد بررسی، رقم آزادی با میانگین ۱/۰۸ و رقم سرداری با ۱/۵۵ میلی‌گرم در روز به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه را دارا بودند. کاربرد سیتوکینین طول دوره پر شدن دانه همه ارقام به‌غیر از رقم روشن را افزایش داد. در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین، رقم آزادی با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و رقم روشن با ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کمترین عملکرد دانه را دارا بودند. نتایج نشان داد که واکنش ارقام گندم به کاربرد سیتوکینین یکسان نبوده و نتیجه به‌دست آمده در ارقام مختلف گندم متفاوت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بنزیل‌آمینوپورین، پر شدن دانه، دوام سطح برگ، فتوسنتز، *Triticum aestivum*.

مقدمه

گندم یک محصول استراتژیک در جهان بوده (Khajehpour, 2014) که از نظر سطح زیر کشت رتبه اول و از نظر تأمین غذا، پس از برنج در رتبه دوم قرار دارد (FAOSTAT, 2018). در حال حاضر، گندم بیش از ۱۹ درصد کالری غذای انسان را تأمین کرده و تقریباً ۳۰ درصد تولید غلات در سراسر جهان را شامل می‌شود (Reynolds and Braun, 2019). جمعیت جهان هم‌چنان در حال افزایش بوده و همین عامل منجر به افزایش تقاضا برای غذا شده است (Nguyen *et al.*, 2020)؛ بنابراین افزایش عملکرد گیاهان جهت تأمین امنیت غذایی در جهان ضروری است.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که میانگین بارندگی سالانه آن‌ها تقریباً ۲۵۰ میلی‌متر است (Salehnia *et al.*, 2020)، ثبات و پایداری عملکرد گندم در شرایط مختلف محیطی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های گزینش ارقام می‌باشد (Bakhshayeshi, 2011). بر همین اساس، مطالعه و بررسی پایداری و سازگاری ارقام و لاین‌ها در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Rahemi karizaki *et al.*, 2020). عملکرد دانه یک ژنوتیپ تحت تأثیر اثر اصلی ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است (Mehari *et al.*, 2014)؛ بنابراین برای توصیه ارقام، علاوه بر عملکرد دانه، درجه سازگاری و ثبات عملکرد نیز بسیار مهم هستند (Bakhshayeshi, 2011). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با تفاوت ارقام گندم از نظر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و صفات مرتبط با عملکرد دانه با یکدیگر، گزارش گردیده (Bakhshayeshi and Bakhshayeshi, 2012; Karimi *et al.*, 2012; Hooshmandi, 2015; Aydin *et al.*, 2010;

(Rahemi karizaki *et al*., 2020) کـه ناشـــی از ویژگی‌های ژنتیکی و اثر عوامل محیطی بر آن‌هاست. به‌عبارت بهتر، وجود اثر متقابل ژنوتیپ در محیط ســـبب بروز تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در بین ژنوتیپ‌ها می‌گردد.

هورمون‌های گیاهی از مهم‌ترین عوامل داخلی تنظیم‌کننده رشـد و نمو گیاهان هستند (Sinclair and Jamieson, 2006). نقش برجسته فیتوهورمون‌ها در نمو گندم، به‌ویژه در مراحلی که عملکرد دانـه را تعیین می‌کننـد، بدین معناســـت که آگاهی در رابطـه بـا تنظیم هورمونی یک عامل کلیدی در برنامه‌های آینده تولیـد گنـدم اســـت (Nguyen *et al*., 2020) اســـتفـاده از فیتوهورمون‌ها به‌عنوان شـــاخص‌های اولیه عملکرد در برنامه‌های مدرن پرورش گندم، راهی امیدوارکننده برای تولید محصـــولات مقاوم به آب و هوا با عملکرد بالا اســـت (Jameson and Song, 2016; Wani *et al*., 2016). پژوهش‌ها نشـان داده اســـت که کاربرد خارجی برخی از فیتوهورمون‌ها در شرایط مطلوب و تنش، سـبب بهبود کیفیت و کمیت محصول می‌گردد (Nimir *et al*., 2015). ســـیتوکینین یکی از هورمون‌هـای گیـاهی بوده کـه بر فرآیندهای رشد و نموی مختلفی مانند تقسیم سلول، پیری برگ، انتقال و ذخیره‌ســازی مواد فتوسنتزی، غالبیت انتهایی، تشکیل و فعال‌ســازی مریســـتم انتهایی، نمو گل، شـکســـتن خواب جوانه، جوانه‌زنی، تمایز کلروپلاست، تمایز سلول‌ها، کنترل چرخه سلولی و گســـترش برگ (Ketelsen, 2012)، روابط منبع - مخزن گیاه در زمان پر شـدن دانه، گل‌دهی و نمو بذر نقش دارد (Peleg *et al*., 2011).

پژوهش‌ها بیانگر آن اسـت که افزایش غلظت سیتوکینین در گیاه به روش‌های مختلف، ممکن است سبب افزایش تحمل گیاه بـه شـــرایط نـامطلوب محیطی گردد. گزارش گردیده که کاربرد سـیتوکینین در شـرایط تنش سـبب حفظ غلظت کلروفیل برگ جـو، گـنـدم و ذرت گردیـد (Yaronskaya *et al*., 2006; Zavaleta-Mancera *et al*., 2007). هم‌چنین عنوان گردیده اسـت که هورمون سـیتوکینین سـبب کاهش سرعت پیری برگ می‌شـــود (Peleg *et al*., 2011; Qin *et al*., 2011). تأخیر ســـرعت پیری برگ در گیاهان، به‌ویژه در شـــرایط تنش آبی، می‌تواند به انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده و هم‌چنین روابط منبع - مخزن کمـک کرده و بنـابراین منجر بـه بهبود عملکرد محصول می‌شود (Joshi *et al*., 2019). افزایش بیوسنتز داخلی سـیتوکینین از طریق دسـت‌ورزی ژنتیکی، سبب افزایش سـرعت رشـد گیاه‌چه، محتوای نسبی آب برگ، غلظت کلروفیل، عملکرد و کیفیـت دانه گندم در شـــرایط تنش خشـــکی گردید (Joshi *et al*., 2019). کاربرد خارجی هورمون سـیتوکینین در گندم سبب افزایش طول خوشه (Aldesuquy *et al*., 2013) و دوام سـطح برگ (Alizade *et al*., 2010) گردید. گزارش شده اسـت که محلول‌پاشـی سـیتوکینین از طریق تأثیر بر دوام سطح برگ و افزایش تعداد سـلول‌های آندوسـپرم، وزن دانه را افزایش می‌دهـد (Ghatei *et al*., 2015). عملکرد دانـه، تعداد دانه در سـنبله و وزن هزار دانه گندم با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت که احتمالاً به‌علت تحریک تقسـیم سـلولی، تأخیر در پیری گیاه، افزایش ظرفیت فتوسـنتزی و افزایش دوره فعال رشد دانه، سبب افزایش وزن دانه‌ها می‌شـــود (Saeidi *et al*., 2006). افزایش تعداد برگ (Abd El-Rheem and Mahdy, 2014)، ســـطح برگ (Nagar *et al*., 2015; Zaheer *et al*., 2019; Farouk and Sanusi, 2019) شـاخص سـبزینگی (Zaheer *et al*., 2019)، سـرعت فتوسـنتز (Dwivedi *et al*., Khamdi *et al*., 2019; 2014)، وزن هزار دانه (Zaheer *et al*., 2019; Nagar *et al*., 2015; Sarfraz Ardakani, 2019; Farouk and Sanusi, 2019)، عملکرد زیست‌توده (Nagar *et al*., 2015; Zaheer *et al*., 2019)، عملکرد دانه (Zheng *et al*., Khamdi *et al*., 2019; 2016; Zaheer *et al*., 2019; Nagar *et al*., 2015) و شاخص برداشت (Nagar *et al*., 2015; Saeidi *et al*., 2006; Khamdi *et al*., 2019; Emam *et al*., 2013) گیاه گندم با کاربرد سـیتوکینین، بیانگر آن است که محلول‌پاشی سیتوکینین در شـرایط تنش رطوبتی، می‌تواند سـبب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گردد.

نکته قابل توجهی که در پژوهش‌های مختلف گزارش شـــده این اســـت کـه واکنش ارقـام مختلف گنـدم نســـبت به کاربرد هورمون‌ها با یکدیگر متفاوت اسـت. به‌عنوان مثال، در پژوهشـی گزارش شده که واکنش ارقام پیشگام و MV-17 گندم نسبت به کاربرد سـیتوکینین و آبسـیزیک اسید متفاوت بود (Sarafraz Ardakani *et al*., 2018). در آزمایش دیگری گزارش شده است که واکنش ارقام گندم ریژاو و آذر ۲ نسـبت به کاربرد اکسـین، جیبرلین و سـیتوکینین در شـرایط دیم با یکدیگر تفاوت داشـت (Jalali Honarmand *et al*., 2018). در پژوهشـی، گزارش

کرده‌اند که تأثیر کاربرد هورمون سیتوکینین و آبسیزیک اسید در ارقام گندم متفاوت است (Khosravi-Nejad *et al*., 2013). همچنین گزارش شده که واکنش ارقام سیوند و پیشتاز گندم به کاربرد سیتوکینین متفاوت بود (Jalali-Honarmand *et al*., 2015). در پژوهش دیگری، مشخص گردیده که تأثیرپذیری ارقام جو به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر تفاوت داشت (Maddah Hosseini *et al*., 2008). با توجه به نتایج گزارش شده، هورمون سیتوکینین می‌تواند سبب ثبات عملکرد گندم گردد. این در حالی است که واکنش ارقام گندم نسبت به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر متفاوت است، بر همین اساس، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر ارقام مختلف گندم طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، با مختصات جغرافیایی ″۱۵ ′۲۴ °۴۸ طول شرقی و ″۳۷ ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۳۴ متر از سطح دریا، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل کاربرد هورمون سیتوکینین در دو سطح (صفر و ۵۰ میکرومولار) و شش رقم گندم (آزادی، کرج ۳، روشن، فلات، سرداری و یاواروس) بود. ارقام مورد استفاده در پژوهش حاضر از بین ۶۴ رقم گندم که طی آزمایش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته بودند، گزینش شد. به‌منظور اجرای طرح، ابتدا در تاریخ سوم مهرماه زمین مورد نظر با گاوآهن برگردان‌دار به‌عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد. پس از انجام شخم، مقدار ۱۶۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات‌تریپل، ۱۲۰ کیلوگرم پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژنه اوره به‌عنوان استارتر بر اساس عرف کشاورزان منطقه، به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک، با لولر زمین مورد نظر تسطیح گردید. در ادامه، کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر و طول چهار متر بود. کاشت بذر در نیمه اول مهرماه (۱۴ مهرماه) توسط عمیق‌کار غلات انجام گردید. در بهار نیز مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک به محصول داده شد. علف‌های هرز کرت‌ها نیز به‌صورت مکانیکی (وجین کردن) کنترل شد. جهت مبارزه با آفت سن گندم، یک مرتبه در مرحله خوشه‌دهی حشره‌کش دلتامترین با غلظت ۰/۵ در هزار محلول‌پاشی گردید. آبیاری نیز بر اساس عرف منطقه هر هفت روز یک‌بار به‌صورت آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ انجام گردید. محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین نیز با ترکیب بنزیل‌آمینوپورین (BAP) طی سه مرتبه (به فاصله هفت روز یک‌بار) در مرحله‌ی حدود ۵۰ درصد ظهور خوشه‌ها (کد ۵۵ مرحله رشدی زادوکس) انجام شد (Zadoks *et al*., 1974). تیمار شاهد نیز سه مرتبه با آب شهری محلول‌پاشی گردید. پنج روز پس از محلول‌پاشی نوبت سوم، شاخص سبزینگی هر تیمار به کمک کلروفیل‌متر دستی مدل CCM-200از برگ پرچم پنج بوته اندازه‌گیری و میانگین آنها به‌عنوان عدد نهایی گزارش گردید. سرعت فتوسنتز نیز در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح به کمک دستگاه فتوسنتز متر مدل LCA4- ADCCO.UK مورد سنجش قرار گرفت. سطح برگ به کمک دستگاه پهنه‌سنج مدل VME/K 900 اندازه‌گیری شد. بدین منظور، یک هفته پس از محلول‌پاشی نوبت سوم، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و سپس در آزمایشگاه سطح برگ اندازه‌گیری گردید. در ادامه شاخص سطح برگ به کمک معادله ۱ و دوام شاخص سطح برگ طبق معادله ۲ محاسبه گردید (Aldesuquy *et al*., 2013).

معادله ۱: $$LAI = \frac{LA}{GA}$$

LAI: شاخص سطح برگ، LA: سطح برگ، GA: سطح زمینی که توسط برگ اشغال شده است.

معادله ۲: $$LAID = \frac{LAI\ 1 + LAI\ 2}{2} \times t_2 - t_1$$

LAID: دوام شاخص سطح برگ، LAI_1 و LAI_2 به‌ترتیب شاخص سطح برگ نمونه‌برداری اول و دوم، t_1 و t_2 به‌ترتیب زمان نمونه‌برداری اول و دوم.

به‌منظور تعیین روند رشد دانه‌ها، بعد از اتمام دوره گل‌دهی، هر هفت روز یک‌بار تا زمان رسیدگی کامل خوشه‌ها نمونه‌برداری انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری، پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت کف‌بر شده و پس از جداسازی خوشه‌ها در پاکت‌های کاغذی به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند سپس وزن خشک دانه‌ها با ترازوی دقیق (با دقت ۰/۰۰۱) اندازه‌گیری گردید. پس از محاسبه‌ی وزن خشک تک دانه، روند رشد دانه از معادله

لجستیک (معادله ۳) محاسبه گردید (Duguid and Brule-Babel, 1994).

معادله ۳: $$Y=\frac{W}{1+Be^{-cx}}$$

که در این معادله، Y: وزن دانه (میلی‌گرم)، W: وزن نهایی دانه (میلی‌گرم)، B: ضریب مربوط به سرعت و دوره پر شدن دانه، c: ضریب مربوط به سرعت پرشدن دانه و x: روز پس از گرده‌افشانی بود.

با توجه به اینکه از نظر تئوری در معادله وزن دانه هرگز به وزن نهایی دانه نمی‌رسد، دوره پر شدن دانه را از زمان گرده‌افشانی تا رسیدن وزن دانه به ۹۵ درصد وزن نهایی دانه، با قرار دادن در معادله ۴ به دست می‌آوریم:

معادله ۴: $$D=\frac{\ln B-\ln 19}{c}$$

D: طول دوره پرشدن دانه و B و c ضرایب برآوردی معادله می‌باشد. سرعت پر شدن دانه نیز بر اساس معادله ۵ محاسبه گردید:

معادله ۵: $$SFR=\frac{GW}{GF}$$

SFR: میانگین سرعت پر شدن دانه، GW: وزن نهایی دانه، GF: طول دوره پر شدن دانه. به‌منظور بررسی عملکرد دانه و اجزای عملکرد، پس از رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان، دو متر مربع از هر کرت برداشت و صفات تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. شاخص برداشت نیز به کمک معادله ۶ برآورد گردید (Karam *et al.*, 2007).

معادله ۶: $$HI=\frac{GY}{BY}\times 100$$

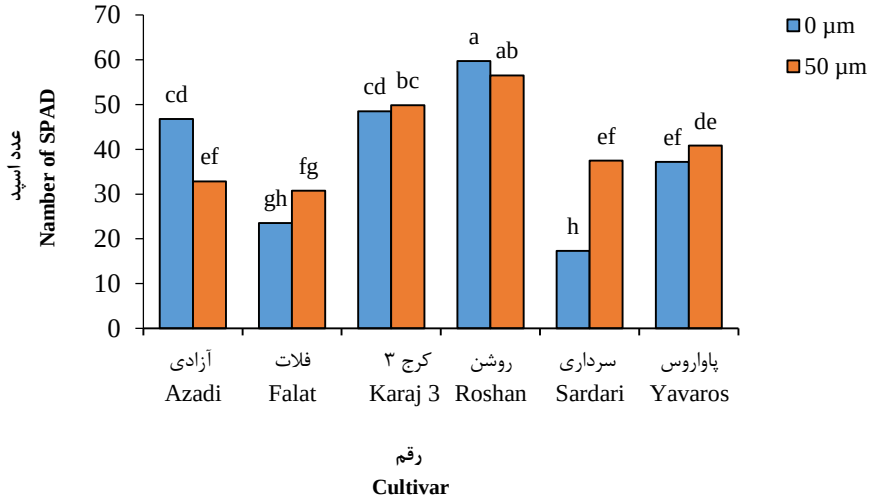
HI: شاخص برداشت، GY: عملکرد دانه و BY: عملکرد زیست‌توده.

پس از اندازه‌گیری‌ها و جمع‌آوری داده‌ها، مقایسات میانگین، ضرایب همبستگی صفات و برازش خطوط رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۱) انجام شد. مقایسات میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام محاسبه گردید. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده گردید.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی برگ (SPAD)

تیمار رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر شاخص سبزینگی برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (P≤۰/۰۱) داشت (جدول ۱). تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر شاخص سبزینگی در ارقام مورد بررسی بسیار متفاوت بود (شکل ۱). سیتوکینین بر شاخص سبزینگی ارقام فلات، کرج ۳، روشن و یاواروس اثر معنی‌داری نداشت ولی شاخص سبزینگی رقم سرداری را به‌میزان ۱۱۶/۲ درصد افزایش و رقم فلات را به‌میزان ۱۲/۸ درصد کاهش داد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر شاخص سبزینگی

Figure 1- The interaction effect of cytokinin × cultivar on greenness index

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد ارقام گندم با کاربرد سیتوکینین

Table 1- Analysis of variance of physiological traits and yield components of wheat whit cytokinin application

منابع تغییرات S. O. V	درجه آزادی d.f	شاخص سبزینگی Index Greenness	سرعت فتوسنتز خالص Net CO_2 assimilation rate (ACO_2)	دوام شاخص سطح برگ Leaf area index duration	تعداد دانه در بوته Number of grain per plant	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate	وزن خشک نهایی دانه Final grain dry weight	وزن هزار دانه Weight of thousand grain	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Repeat	3	48.35^{ns}	5.52^{ns}	2.94^{ns}	1251.9^{ns}	4.14^{ns}	0.07^{ns}	5.61^{ns}	15.44^{ns}	679511.96^{ns}	1939047.8^{ns}	35.08^{ns}
سیتوکینین Cytokinin	1	75.16^{ns}	109.95**	664.4**	4998.3^{ns}	412.77**	0.10^{ns}	3.08**	49.58*	9289866.90**	36517037.01*	53.79^{ns}
رقم Cultivar	5	1180.9**	25.48**	102.04**	7427.9**	94.29**	0.20**	189.16**	239.33**	7095746.53**	20809416.7*	155.31*
سیتوکینین × رقم C × C	5	254.6**	4.27^{ns}	94.44**	2318.8^{ns}	60.78**	0.04^{ns}	18.98**	2.49^{ns}	1908450.23**	1959939.8^{ns}	78.11^{ns}
خطای آزمایشی Error	33	17.17	3.02	21.53	683.95	1.60	0.04	3.46	9.55	377500.18	7576856.8	46.72
ضریب تغییرات C.V (%)	--	13.01	20.72	13.77	20	3.70	15.11	3.94	7.40	12.84	18.54	20.88

*، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری

* ,** and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

مقدار کلروفیل برگ‌ها در بسیاری از گیاهان با ظرفیت فتوسنتزی ارتباط نزدیکی دارد (Arunyanark *et al*., 2008). هورمون سیتوکینین از طریق کاهش فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز و مشارکت در تشکیل پروتوکلروفیل، محتوای کلروفیل را افزایش می‌دهد (Cortleven and Schmülling, 2015). افزایش شاخص کلروفیل در نتیجه محلول‌پاشی با هورمون سیتوکینین در گندم (Alizadeh *et al*., 2010; Zaheer *et al*., 2019) و ذرت (Pan and Xu, 2011; Davani *et al*., 2016) نیز گزارش گردیده که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که واکنش ارقام مختلف به کاربرد سیتوکینین یکسان نبوده و تأثیر سیتوکینین بر شاخص سبزینگی ارقام مختلف ممکن است به‌صورت کاهشی، افزایشی و یا بی‌تأثیر باشد که دلیل این نتایج متفاوت را می‌توان به خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ژنتیکی هر رقم نسبت داد. در پژوهشی

گزارش شده است که محلول‌پاشی سیتوکینین سبب افزایش شاخص سبزینگی ارقام جو گردید این افزایش در ارقام مختلف متفاوت بود (Maddah Hosseini *et al*., 2008) که هم‌سو با نتایج بدست آمده در این آزمایش است.

سرعت فتوسنتز

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) سیتوکینین و رقم بر سرعت فتوسنتز بود (جدول ۱). کاربرد ۵۰ میکرومولار سیتوکینین، سرعت فتوسنتز را ۴۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (صفر میکرومولار) افزایش داد (جدول ۲). سرعت فتوسنتز در بین ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود. رقم کرج ۳ با میانگین ۱۰/۶ میکرومول CO_2 در متر مربع در ثانیه بیش‌ترین و رقم فلات با ۶/۴۶ میکرومول CO_2 در متر مربع در ثانیه کم‌ترین مقدار فتوسنتز را داشتند (جدول ۲).

گزارش‌ها بیانگر آن است که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت فتوسنتز گندم می‌گردد (Dwivedi *et al*., 2014; Xie *et al*., 2004; Khamdi *et al*., 2019). سیتوکینین با القای سنتز پروتئین‌های زنجیره انتقال الکترون و رابیسکو سبب افزایش فعالیت واکنش هیل و غلظت کلروفیل شده، در نهایت سبب افزایش فتوسنتز می‌شود (Chernyad'ev, 2009; Yang *et al*., 2003). نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیر سرعت فتوسنتز ارقام مختلف گندم متفاوت است. در همین راستا، در پژوهشی بر روی دو رقم گندم، گزارش گردید که میزان فتوسنتز رقم زاگرس نسبت به رقم مرودشت بالاتر بود (Saeidi *et al*., 2006). هم‌چنین بالا بودن سرعت فتوسنتز رقم آذر۲ در بین چندین رقم گندم نیز گزارش گردیده است (Miranzadeh *et al*., 2011) که هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیتوکینین در گیاه جو مشخص و گزارش گردیده که سرعت افزایش فتوسنتز در بین ارقام مختلف متفاوت است (Maddah Hosseini *et al*., 2008) که مشابه با نتایج پژوهش حاضر است.

جدول ۲- مقایسه میانگین تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر خصوصیات فیزیولوژیکی و اجزای عملکرد ارقام گندم

Table 2- Mean comparisons effect of cytokinin application on physiological traits and yield components of wheat cultivars

تیمار Treatment	سرعت فتوسنتز خالص Net CO_2 assimilation rate (ACO_2) ($\mu mol\ co_2.m^{-2}.s^{-1}$)	تعداد دانه در بوته Number grain per plant	وزن هزار دانه Weight of thousand grain (g)	عملکرد زیست‌توده Biological yield (Kg/h)	شاخص برداشت Harvest Index (HI) (%)
سیتوکینین Cytokinin					
۰ میکرومولار 0 µm	6.88b	119.55a	40.69b	13971.5b	31.67a
۵۰ میکرومولار 50 µm	9.91a	127a	42.73a	15716.2a	33.79a
رقم Cultivar					
روشن Roshan	9.90a	145.56b	45.55a	13248.11b	25.12b
کرج۳ Karaj 3	10.59a	172.68a	34.95b	13208.45b	35.38a
آزادی Azadi	9.44a	132.22bc	34.60b	16183.08ab	37.53a
فلات Falat	6.45b	138.50bc	45.19a	15933.32ab	33.34a
یاواروس Yavarus	7.03b	83.77d	43.40a	16742.25a	30.43ab
سرداری Sardari	6.94b	111.30c	46.58a	13748.81ab	34.58a

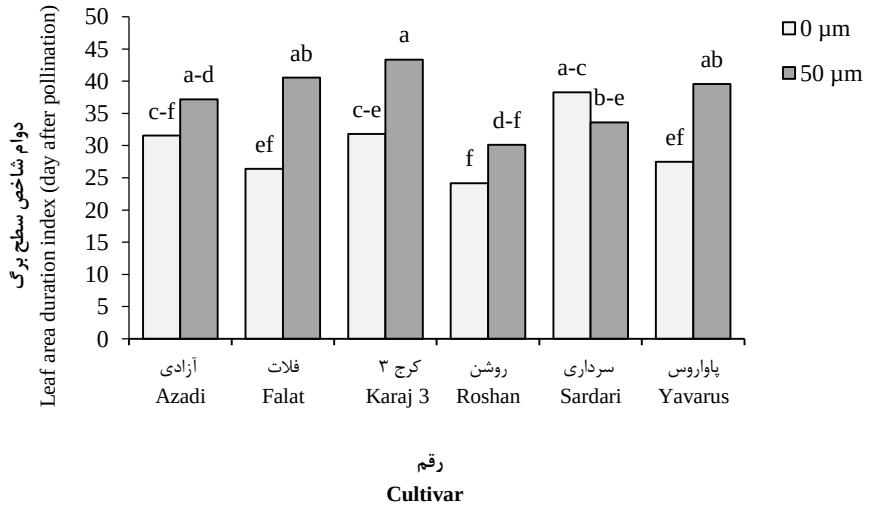
در هر ستون سطوح تیماری که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

In each column, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test.

دوام شاخص سطح برگ

دوام شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمار سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم قرار گرفت (جدول ۱). رقم روشن و سرداری با ۲۴/۱ و۳۸/۲ به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین دوام شاخص سطح برگ را در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین داشتند (شکل ۲). کاربرد سیتوکینین دوام شاخص برگ ارقام فلات، کرج ۳ و یاواروس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد و بر سایر ارقام اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۲). بالا بودن دوام شاخص سطح برگ سبب افزایش سطوح فتوسنتز کننده و تولیدات فتوسنتزی شده و در نهایت عملکرد را افزایش می‌دهد. گزارش گردیده که پیری برگ در ارقام گندم، با کاربرد سیتوکینین به تأخیر افتاده و محلول‌پاشی سیتوکینین سبب حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی شده و دوره رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Dwivedi *et al*., 2014).

افزایش دوام شاخص سطح برگ گیاه گندم با کاربرد سیتوکنین در تحقیقات مختلفی گزارش گردیده است (Azzedine *et al*., 2011; Dwivedi *et al*., 2014; Alizadeh *et al*., 2010) که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی دارد. متفاوت بودن دوام شاخص سطح برگ ارقام مختلف را می‌توان به خصوصیات ژنتیکی و هم‌چنین شرایط محیطی نسبت داد. به‌نظر می‌رسد ارقامی که از تحمل بالاتری نسبت به شرایط کمبود رطوبت برخوردار باشند از دوام شاخص سطح برگ بالاتری نیز برخوردار خواهند بود. در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده که شاخص سطح برگ ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت است (Rahemi karizaki *et al*., 2020; Hooshmandi, 2015) که هم‌سو با نتایج پژوهش حاضر است.



شکل ۲- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر دوام شاخص سطح برگ

Figure 2- The interaction effect of cytokinin × cultivar on leaf area duration index

تعداد دانه در بوته

محلول‌پاشی سیتوکینین بر تعداد دانه در بوته اثرگذار نبود ولی تعداد دانه در ارقام مورد بررسی با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۱) داشتند (جدول ۱). با توجه به این‌که گندم گیاهی رشد محدود می‌باشد، صفات تعداد دانه در خوشه و طول خوشه در مرحله ساقه‌رفتن به اتمام می‌رسد (Khajehpour, 2014) و از آن‌جا که محلول‌پاشی سیتوکینین در آزمایش حاضر یک هفته بعد از شروع گل‌دهی انجام گردید، بر همین اساس، کاربرد سیتوکینین در شروع گل‌دهی بر تعداد دانه در بوته اثر معنی‌داری نداشت. ارقام مورد بررسی از نظر تعداد دانه در بوته با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند. رقم کرج ۳ و یاواروس به‌ترتیب با ۱۷۲/۶ و ۸۳/۷ عدد، بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد دانه در بوته را دارا بودند (جدول ۲). گزارش‌ها بیانگر آن است که تعداد دانه در بوته ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت بوده و همین عامل یکی از دلایل اصلی تفاوت در عملکرد ارقام می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج دیگر تحقیقات مطابقت دارد (Ghatei et al., 2015; Pan and Xu, 2011; Pirasteh Anosheh and Emam, 2012; Mohammadi et al., 2012; Moshattati et al., 2010;

(Talebifar et al., 2015; Rahemi karizaki et al., 2020). در پژوهشی گزارش گردیده که اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر تعداد دانه در بوته گیاه گندم اثر معنی‌داری نداشت (Jalali-Honarmand et al., 2015) که مشابه با نتایج این پژوهش است.

روند رشد دانه

وزن خشک دانه و طول مدت زمان پر شدن دانه تحت تأثیر سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم قرار گرفت ولی سرعت پر شدن دانه فقط تحت تأثیر تیمار رقم قرار داشت (جدول ۱). روند رشد دانه ارقام با کاربرد سیتوکینین بر اساس مدل لجستیک برازش و در جدول ۳ آورده شده است. محلول‌پاشی سیتوکینین وزن خشک نهایی دانه ارقام آزادی، روشن و یاواروس را به‌ترتیب به میزان ۵/۶، ۱۴/۸ و ۶/۲ درصد افزایش داد ولی بر سایر ارقام اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). سرعت پر شدن دانه تحت تأثیر رقم قرار داشت و از بین ارقام مورد بررسی، رقم آزادی با میانگین ۱/۰۸ و رقم سرداری با میانگین ۱/۵۵ میلی‌گرم در روز به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین سرعت پر شدن دانه را دارا بودند (جدول ۳). کاربرد سیتوکینین بر طول دوره پر شدن دانه همه ارقام به‌غیر از رقم روشن، اثر معنی‌داری داشت و سبب افزایش طول دوره پر شدن دانه گردید (جدول ۳).

جدول ۳- مدل لجستیک برازش شده روند رشد دانه ارقام گندم تحت شرایط محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین

Table 3- Fitted logistic model of grain growth trend of wheat cultivars under cytokinin foliar application conditions

سیتوکینین Cytokinin	رقم Cultivar	وزن خشک نهایی دانه Final grain dry weight (mg)	سرعت پر شدن دانه Grain filling rate (mg/day)	طول دوره پر شدن دانه Grain filling period (day)
۰ میکرومولار 0 µm	آزادی Azadi	39.08f	1.14ab	24.14h
	فلات Falat	49.26bc	1.37a	35.90c
	کرج ۳ Karaj 3	52.037ab	1.51a	34.37cd
	روشن Roshan	38.84e	1.26ab	30.72fg
	سرداری Sardari	50.55abc	1.67a	30.23g
	یاواروس Yavarus	48.36c	1.5a	32.25ef
۵۰ میکرومولار 50 µm	آزادی Azadi	41.29e	1.01b	39.66b
	فلات Falat	51.93ab	1.21ab	42.87a
	کرج ۳ Karaj 3	52.55a	1.38a	38.03b
	روشن Roshan	44.62d	1.48a	30.09g
	سرداری Sardari	48.07c	1.45a	33.03de
	یاواروس Yavarus	51.36ab	1.31ab	38.97b

به‌نظر می‌رسد که سیتوکینین با افزایش تقسیم و تعداد سلول‌های اندوسپرم سبب طولانی شدن مدت و سرعت پر شدن دانه می‌گردد. منحنی رشد دانه حاصل از معادله لجستیک در تمامی تیمارهای سیتوکینین و ارقام گندم تقریباً روند یکسانی داشت (نمودار ۳). سرعت پر شدن دانه بیشتر تحت تأثیر ژنوتیپ بوده ولی طول دوره پر شدن دانه عمدتاً توسط شرایط محیطی کنترل می‌شود (Mohammadi Gonbad *et al*., 2016). کاربرد سیتوکینین باعث طولانی شدن تقسیم سلول‌های آندوسپرم دانه شده در نتیجه مدت زمان پر شدن دانه‌ها و به تبع آن وزن دانه‌ها افزایش خواهد یافت (Alizadeh *et al*., 2010). به‌نظر می‌رسد که

سیتوکینین با افزایش اندازه دانه‌ها سبب طولانی شدن مدت زمان پر شدن دانه‌ها شده باشد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج گزارش شده روی گندم هم‌خوانی دارد (Saeidi *et al*., 2006; Jalali Honarmand *et al*., 2016). هم‌چنین گزارش شده که در شرایط تنش خشکی، کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت پر شدن دانه و وزن دانه برنج گردید (Zhang *et al*., 2010) که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. نتایج نشان داد که وزن خشک نهایی دانه، سرعت پر شدن دانه و طول مدت دوره پر شدن دانه در بین ارقام مختلف گندم متفاوت بود. گزارش شده که سرعت و طول مدت پر شدن دانه در ارقام گندم متفاوت است (Talebifar *et al*., 2015; Rahemi karizaki *et al*., 2020) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌سو می‌باشد.

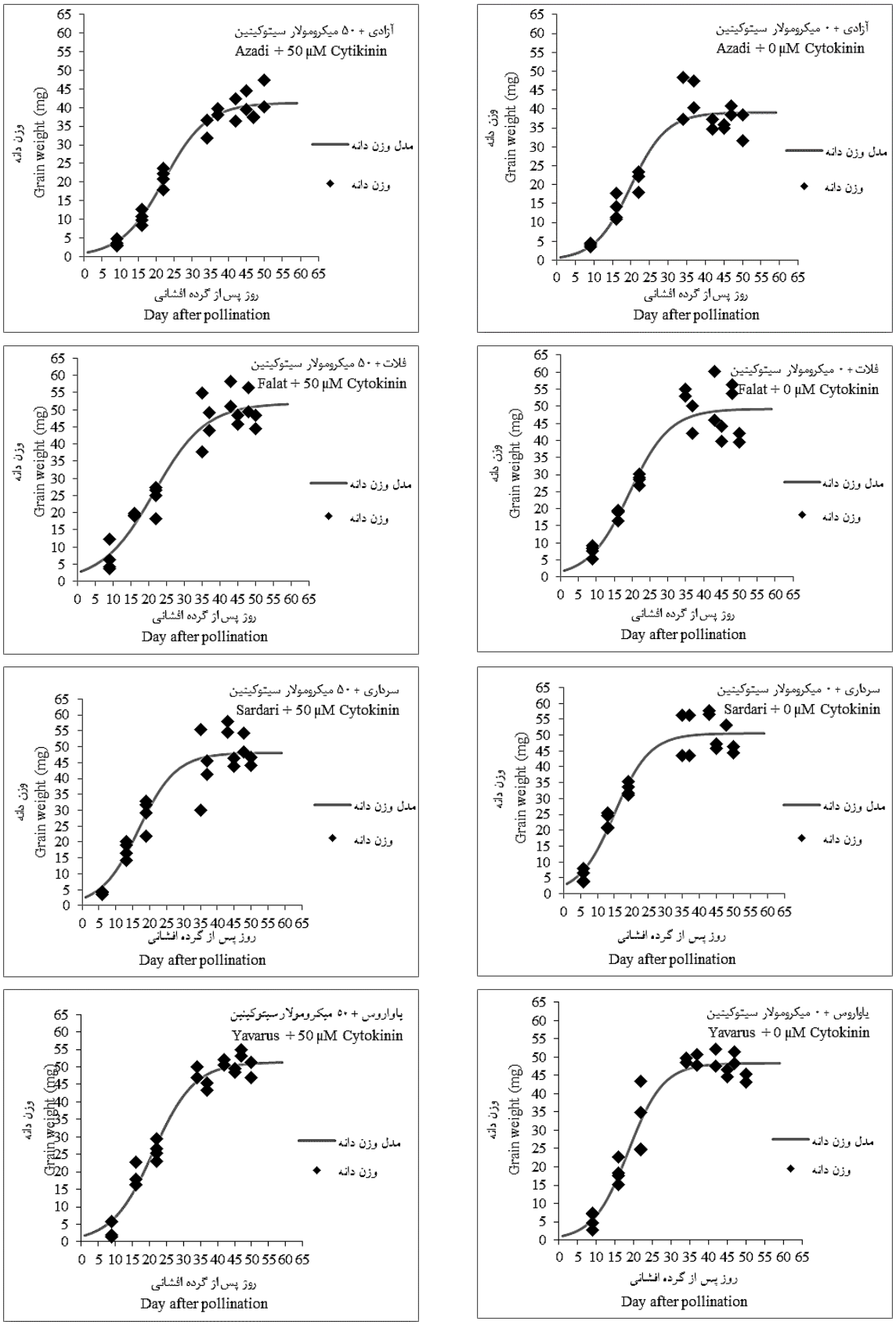
وزن هزار دانه

تیمار سیتوکینین در سطح احتمال پنج درصد و تیمار رقم در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش ۵ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم کرج ۳ و آزادی کمترین وزن هزار دانه را دارا بودند و بین سایر ارقام تفاوت معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نگردید (جدول ۲).

در مرحله پس از گرده‌افشانی، دانه‌ها نیاز بیش‌تری به مواد غذایی دارند و سیتوکینین‌ها نقش مهمی را در تنظیم جهت‌دهی و انتقال عناصر غذایی به سمت گل‌آذین گیاه بر عهده دارند و به این طریق می‌تواند بر وزن دانه تأثیر بگذارد (Khalil *et al*., 2006). به بیان دیگر، سیتوکینین با افزایش تقسیم سلولی در سطح مخزن فیزیولوژیک، باعث افزایش تعداد سلول‌های اندوسپرم و اندازه مخزن فیزیولوژیک شود و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی و میزان کلروفیل (Xie *et al*., 2004)، تأخیر در پیری برگ و افزایش دوره فعال رشد دانه، باعث افزایش وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته و نهایتاً عملکرد در واحد سطح شود (Dwivedi *et al*., 2014). افزایش وزن هزار دانه گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌های مختلفی گزارش گردیده است (Jalali Honarmand *et al*., 2016; Ghatei *et al*., 2015; Zheng *et al*., 2016; Saeidi *et al*., 2006) که با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. هر چند در پژوهش دیگری گزارش کرده‌اند که کاربرد سیتوکینین بر وزن هزار دانه ارقام گندم اثر معنی‌داری نداشت (Jalali-Honarmand *et al*., 2015) که مغایر با نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که وزن هزار دانه بین ارقام مختلف گندم متفاوت بوده که با نتایج سایر پژوهش‌ها مطابقت دارد (Rahemi karizaki *et al*., 2020; Karimi *et al*., 2012; Hooshmandi, 2015).

عملکرد زیست‌توده

عملکرد زیست‌توده در سطح پنج درصد تحت تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین و رقم قرار گرفت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین سبب افزایش ۱۲/۴ درصدی عملکرد زیست‌توده گردید (جدول ۲). تقسیم سلولی یکی از مهم‌ترین نقش‌های سیتوکینین بوده و به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی سیتوکینین از طریق افزایش تقسیم سلولی اندام‌های رویشی، افزایش فتوسنتز، افزایش دوام شاخص سطح برگ و وزن دانه، سبب افزایش وزن زیست‌توده شده است. افزایش وزن زیست‌توده گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Nagar *et al*., 2015; Zaheer *et al*., 2019; Jalali Honarmand *et al*., 2016) که هم‌سو با نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر است. هر چند گزارش شده که سیتوکینین بر وزن هزار دانه گندم تأثیر معنی‌داری نداشت (Jalali-Honarmand *et al*., 2015) که بر خلاف نتایج پژوهش حاضر است. ارقام مورد بررسی نیز از نظر عملکرد زیست‌توده با یکدیگر متفاوت بودند. از بین ارقام مورد بررسی رقم روشن با ۱۳۲۰۸/۱۱ کیلوگرم کم‌ترین و رقم فلات با ۱۶۷۴۲/۱۳ کیلوگرم بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده را دارا بود (جدول ۲). دلیل تفاوت عملکرد زیست‌توده در بین ارقام می‌تواند به‌علت وجود تفاوت در صفاتی مانند سطح برگ، ارتفاع بوته، سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، تعداد پنجه بارور، طول خوشه و سایر عوامل باشد. تفاوت در عملکرد زیست‌توده ارقام گندم در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Jalali Honarmand *et al*., 2016; Rahemi karizaki *et al*., 2020; Karimi *et al*., 2012; Hooshmandi, 2015) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

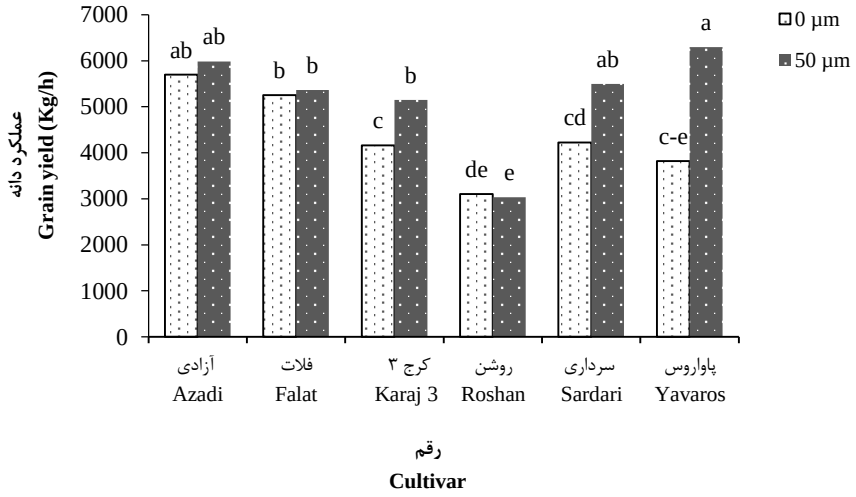


شکل ۳- نمودار روند رشد دانه ارقام گندم تحت کاربرد هورمون سیتوکینین که توسط مدل لجستیک برازش گردیده است.

Figure 3- Graph of grain growth trend of wheat cultivars application cytokinin which has been fitted by logistic model.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم ($P\leq$۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۱). کاربرد سیتوکینین فقط بر عملکرد ارقام یاواروس، کرج ۳ و سرداری اثر معنی‌داری داشت و سبب افزایش عملکرد دانه آن ارقام گردید (شکل ۴). عملکرد رقم کرج ۳ به‌میزان ۲۳/۷ درصد، رقم سرداری به‌میزان ۳۰/۱ درصد و رقم یاواروس به‌میزان ۶۵ درصد با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت (شکل ۴). در شرایط بدون کاربرد سیتوکینین، رقم آزادی با ۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و رقم روشن با ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، کم‌ترین عملکرد دانه را دارا بودند (شکل ۴). گزارش شده که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش عملکرد دانه گندم گردید (Sarafraz Ardakani *et al*., 2018; Jalali Honarmand *et al*., 2016; Zheng *et al*., 2016; Xie *et al*., 2004; Saeidi *et al*., 2006). افزایش وزن دانه و عملکرد در نتیجه کاربرد سیتوکینین نشان داد که محدودیت مخزن ممکن است عامل مهمی در تعیین پتانسیل عملکرد دانه باشد (Maddah Hosseini *et al*., 2008). با توجه به این واقعیت که افزایش غلظت سیتوکینین در سنبلچه‌های تحتانی می‌تواند باعث پر شدن دانه شود (Yang and Zhang, 2010) بنابراین مستقیماً با افزایش فتوسنتز در ارتباط است (Peleg *et al*., 2011). ارقام مختلف گندم از نظر عملکرد دانه در واحد سطح با یکدیگر تفاوت داشته که در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده (Momtazi, 2011; Mohammadi *et al*., 2012; Moshattati *et al*., 2010; Jalali Honarmand *et al*., 2016; Rahemi karizaki *et al*., 2020; Karimi *et al*., 2012; Hooshmandi, 2015) و هم‌سو با نتایج آزمایش حاضر می‌باشد.



شکل ۴- اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر عملکرد دانه

Figure 4- The interaction effect of cytokinin × cultivar on grain yield

شاخص برداشت

کاربرد سیتوکینین تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (جدول ۱) که دلیل آن را می‌توان به زمان کاربرد هورمون ارتباط داد چرا که با توجه به این‌که زمان کاربرد سیتوکینن در مرحله ظهور خوشه انجام گردید که گیاه گندم رشد رویشی خود را به اتمام رسانده بود. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) رقم بر شاخص برداشت بود (جدول ۱). گزارش شده که کاربرد سیتوکینین سبب افزایش شاخص برداشت گندم (Jalali Honarmand *et al*., 2016; Jalali-Honarmand *et al*., 2015) و جو (Maddah Hosseini *et al*., 2008) گردید که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد. حداکثر و حداقل شاخص برداشت (۳۱/۴ و ۲۵/۱ درصد) به‌ترتیب در ارقام سرداری و یاواروس حاصل شد و سایر ارقام از نظر شاخص برداشت با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). با توجه به این‌که ارقام گندم از نظر زیست‌توده با یکدیگر متفاوت هستند، بنابراین شاخص برداشت آن‌ها نیز ممکن است با یکدیگر متفاوت باشند. تفاوت در شاخص برداشت ارقام گندم در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده (Jalali Honarmand *et al*., 2016; Saeidi *et*

al., 2006; Rahemi karizaki *et al*., 2020; Karimi *et al*., 2012; Hooshmandi, 2015) که هم‌سو با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش است.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر کاربرد سیتوکینین تنها بر عملکرد ارقام کرج ۳، سرداری و یاواروس اثر معنی‌داری داشت و بر سایر ارقام اثرگذار نبود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بین ارقام مختلف گندم از نظر خصوصیات موفولوژیکی، فیزیولوژیکی و صفات مرتبط با عملکرد تفاوت وجود دارد. مشخص گردید که واکنش ارقام گندم به کاربرد سیتوکینین با یکدیگر بسیار متفاوت بوده و گاهی ممکن است هورمون به کار برده شده بی‌تأثیر باشد و یا تأثیر نامطلوبی روی برخی صفات بگذارد. بنابراین جهت کاربرد سیتوکینین در گیاه گندم بهتر است ابتدا آزمایشات اولیه و تکمیلی در سطح محدود انجام و واکنش رقم مورد بررسی قرار گیرد و در صورت مقرون به‌صرفه بودن، کاربرد سیتوکینین انجام شود.

تعارض منافع

نویسندگان اظهار می‌نمایند که هیچ‌گونه تعارض منافعی در رابطه با نشر این مقاله وجود ندارد.

References

Abd El-Rheem Kh, M. and Mahdy, H.A. 2014. Effect of organic cytokinin and nitrogen fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 4(8): 1-7.

Aldesuquy, H.S., Baka, Z.A. and Mickky, B.M. 2013. Does exogenous application of kinetin and spermine mitigate the effect of seawater on yield attributes and biochemical aspects of grains? *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 9(2): 21-34.

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

Arunyanark, A., Jogloy, S., Akkasaeng, C., Vorasoot, N., Kesmala, T., Nageswara Rao, R.C., Wright, G.C. and Patanothai, A. 2008. Chlorophyll stability is an indicator of drought tolerance in peanut. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(2): 113-125.

Aydin, N., Mut, Z. and Ozcan, H. 2010. Estimation of broad-sense heritability for grain yield and some agronomic and quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8(2): 419-421.

Azzedine, F., Gherroucha, H. and Baka, M. 2011. Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 7: 27-33.

Bakhshayeshi Geshlagh, M. 2011. Study of adaptability and yield stability of wheat cultivars in cold and mountainous moderate-cold climate of Iran. *Journal of Crops Improvement*, 13 (2): 41-49. (In Persian).

Bakhshayeshi, M. and Bakhshayeshi, H. 2012. Study of interaction of genotype environment and stability of grain yield in bread wheat cultivars in Kurdestan province. *New Finding in Agriculture*, 6(4): 201-213. (In Persian).

Chernyad'ev, I.I. 2009. The protective action of cytokinins on the photosynthetic machinery and productivity of plants under stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 45(4): 351-362.

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

Davani, D., Nabipoor, M. and Roshanfekr Dezfoli, H. 2016. Effect of cytokinin and auxin regulators on some characteristics of grain maize under different planting patterns in salinity conditions. *Cereal Research*, 6(2): 215-228. (In Persian).

Duguid, S.D. and Brûlé-Babel, A.L. 1994. Rate and duration of grain filling in five spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 74(4): 681-686.

Dwivedi, S.K., Kumar, S., Mondal, S., Malviya, N. and Dubey, R. 2014. Physiological basis of cytokinin induced drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of AgriSearch*, 1(3): 139-144.

Emam, Y., Karimzadeh Sureshjani, H., Moori, S. and Maghsoudi, K. 2013. Yield response of bread and durum wheat to different levels of auxin and cytokinin application under terminal drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(8): 93-104. (In Persian).

Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations Database; Food and Agriculture Organization (FAO), Rome. Available online: http://www.fao.org.

Farouk, S. and Sanusi, A.B.A.J. 2019. Potent induction of wheat flowering and its related to yield components. *Journal of Animal and Poultry Sciences*, 19(4): 270-278.

Ghatei, A., Bakhshandeh, A., Abdali Mashhadi, A., Siadat, S.A., Alami saeid, K. and Gharineh, M. 2015. Effect of different nitrogen levels and cytokinin foliar application on yield and yield components of wheat at terminal heat stress conditions in ahwaz. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(16): 97-107. (In Persian).

Hooshmandi, B. 2015. Evaluation some morphophysiological indices and yield of bread wheat cultivars. *Crop Physiology Journal*, 7(26): 121-134. (In Persian).

Jalali Honarmand, S., Rasaei, A., Saeidi, M., Ghobadi, M. and Khanizadeh, S. 2016. Impact of foliar application of growth hormones at stages of yield components formation of two wheat cultivars under dry-land conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(29): 43-57. (In Persian).

Jalali-Honarmand, S., Rasaei, A., Saeidi, M., Ghobadi, M.E. and Khanizadeh, S. 2015. The effects of foliar application of plant hormones at booting stage on wheat yield components. *Thai Journal of Agricultural Science*, 48(1): 35-38.

Jameson, P.E. and Song, J. 2016. Cytokinin: a key driver of seed yield. *Journal of Experimental Botany*, 67(3): 593-606.

Joshi, S., Choukimath, A., Isenegger, D., Panozzo, J., Spangenberg, G. and Kant, S. 2019. Improved wheat growth and yield by delayed leaf senescence using developmentally regulated expression of a cytokinin biosynthesis gene. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1285.

Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C. and Rouphael, Y. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management*, 90(3): 213-223.

Karimi, A., Meskarbashee, M., Nabipour, M. and Broomandnasab, S. 2012. The study of some quantity and quality characteristics of two wheat cultivars under different planting method and irrigation levels conditions. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, 21(4): 95-104. (In Persian)

Khajehpour, M.R. 2014. Cereal crops. Isfahan University of Technology Publication Center. 1st edition, pp.764. (In Persian).

Khamdi, N., Nabipour, M., Roshanfekr, H. and Rahnama, A. 2019. Effect of seed priming and application of cytokinin and auxin on growth and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under Ahwaz climatic conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21(1): 31-44. (In Persian).

Khosravi-Nejad, F., Khavari-Nejad, R.A., Moradi, F. and Najafi, F. 2013. Abscisic acid and cytokinin spraying effect on cation contents in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress. *Jrournal of Plant & Biotechnology*, 8(2): 1-12. (In Persian).

Maddah Hosseini, S., Poustini, K. and Ahmadi, A. 2008. Effects of foliar application of BAP on source and sink strength in four six-rowed barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 54(3): 231-239.

Mehari, M., Alamerew, S. and Lakew, B. 2014. Genotype environment interaction and yield stability of malt barley genotypes evaluated in Tigray, Ethiopia Using the Ammi Analysis. *Asian Journal of Plant Sciences*, 13(2): 73-79.

Mohammadi, H., Moradi, F., Ahmadi, A., Abbasi, A. and Poustini, K. 2012. Drought effect on hormone changes and carbohydrates levels in developing grains of two wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 4(4): 139-155.

Mohammadi Gonbad, R., Esfahani, M., Roustaei, M. and Sabouri, H. 2016. Effect of planting dates on grain filling of bread wheat genotypes under rain-fed condition of Gonbad-e-Qabus region. *Cereal Research*, 6(3): 307-321. (In Persian).

Momtazi, F. 2011. Responses of different wheat cultivars to post anthesis drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 3(9): 1-16. (In Persian).

Moshattati, A., Alami-Saied, Kh., Siadat., S.A., Bakhshandeh, A.M. and Jalal-Kamali, M. R. 2010. Evaluation of terminal heat stress tolerance in spring bread wheat cultivars in Ahwaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 12(2): 85-99 (In Persian).

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.

Nguyen, H.N., Perry, L., Kisiala, A., Olechowski, H. and Emery, R.N. 2020. Cytokinin activity during early kernel development corresponds positively with yield potential and later stage ABA accumulation in field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). *Planta*, 252(5): 1-16.

Peleg, Z., Reguera, M., Tumimbang, E., Walia, H. and Blumwald, E. 2011. Cytokinin-mediated source/sink modifications improve drought tolerance and increase grain yield in rice under water-stress. *Plant Biotechnology Journal*, 9(7): 747-758.

Pirasteh Anosheh, H. and Emam, Y. 2012. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1): 1-17. (In Persian).

Qin, H., Gu, Q., Zhang, J., Sun, L., Kuppu, S., Zhang, Y., Burow, M., Payton, P., Blumwald, E. and Zhang, H. 2011. Regulated expression of an isopentenyltransferase gene (IPT) in peanut significantly improves drought tolerance and increases yield under field conditions. *Plant and Cell Physiology*, 52(11): 1904-1914.

Rahemi karizaki, A., Rezaei, H., Gholizadeh, A., Nakhzari Moghadam, A. and Naeeimi, M. 2020. Study of the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in semi-arid and semi-humid regions of golestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(4): 579-590. (In Persian).

Reynolds, M. and Braun, H. 2019. Benefits to low-input agriculture. *Nature Plants*, 5(7): 652-653.

Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Poostini, K. and Najafian, G. 2006. Effect of exogenous application of ABA and CK at different stages of grain development on some physiological aspects of source and sink relationship in two bread wheat cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(3): 268-282. (In Persian).

Salehnia, N., Salehnia, N., Torshizi, A.S. and Kolsoumi, S. 2020. Rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) yield prediction using economical, meteorological, and drought indicators through pooled panel data and statistical downscaling. *Ecological Indicators*, 111: 105991-106001.

Sarafraz Aradakani, M.R. 2019. Effect of cytokinin and brassinosteroid treatments on some biochemical and physiological of wheat cultivars under drought stress in generative phase. *Crop Physiology Journal*, 11(43): 5-24.

Sarafraz Ardakani, M.R., Khavari-Nejad, R.A., Moradi, F. and Najafi, F. 2018. Photosynthetic efficiency and grain yield of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars during drought stress under exogenous

application of cytokinin and abscisic acid treatments. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(3): 503-514. (In Persian).

Talebifar, M., Taghizadeh, R. and Kamali Kivi, S.E. 2015. Determination of relationships between yield and yield components in wheat varieties under water deficit stress in different growth stages through Path analysis. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 108: 107-113.

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.

Xie, Z., Jiang, D., Dai, T., Jing, Q. and Cao, W. 2004. Effect of exogenous ABA and cytokinin on leaf photosynthesis and grain protein accumulation in wheat ears cultured in vitro. *Plant Growth Regulation*, 44: 25-32.

Yang, J. and Zhang, J. 2010. Grain-filling problem in 'super'rice. *Journal of Experimental Botany*, 61(1): 1-5.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z. and Zhu, Q. 2003. Hormones in the grains in relation to sink strength and postanthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regulation*, 41: 185-195.

Yaronskaya, E., Vershilovskaya, I., Poers, Y., Alawady, A.E., Averina, N. and Grimm, B. 2006. Cytokinin effects on tetrapyrrole biosynthesis and photosynthetic activity in barley seedlings. *Planta*, 224(3): 700-709.

Zadoks, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6): 415-421.

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.

Zavaleta-Mancera, H.A., López-Delgado, H., Loza-Tavera, H., Mora-Herrera, M., Trevilla-García, C., Vargas-Suárez, M. and Ougham, H. 2007. Cytokinin promotes catalase and ascorbate peroxidase activities and preserves the chloroplast integrity during dark-senescence. *Journal of Plant Physiology*, 164(12): 1572-1582.

Zhang, H., Chen, T., Wang, Z., Yang, J.C. and Zhang, J. 2010. Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Experimental Botany*, 61(13): 3719-3733.

Zheng, C., Zhu, Y., Wang, C. and Guo, T. 2016. Wheat grain yield increase in response to pre-anthesis foliar application of 6-benzylaminopurine is dependent on floret development. *PLOS ONE*, 11(6): 1-14.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 1, Spring and Summer 2022, P. 1-17

The influence of foliar application of cytokinin on wheat cultivars' physiological traits and yield

Mahdie Sadat Hosseini[1], Hadi Salek Mearaji[2], Afshin Tavakoli[3*], Reza Fotovat[3]

[1] M.Sc Graduated, Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran
[2] Department of Agricultural Science, Faculty of Bahonar Pakdasht & Shariati, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
[3] Production Engineering and Plant Genetics, College of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran

[*]Corresponding Author: tavakoli@znu.ac.ir

Received: 25 September 2021 Accepted: 1 January 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.306638.1138**

Abstract

Introduction: Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops and is grown nearly everywhere in the world. Wheat is the primary staple food in many countries. In light of the fact that wheat yield varies depending on environmental conditions, it is crucial to employ strategies that increase wheat yield.

Materials and Methods: To investigate the effects of foliar application of cytokinin on the physiological traits and yield of wheat cultivars, a factorial experiment based on randomized complete block design with tree replications was conducted at the research farm of the Agriculture Faculty, University of Zanjan, during the 2016 cropping seasons. Six wheat cultivars (Azadi, Karaj 3, Roshan, Falat, Sardari and Yavarus) were treated with foliar applications of cytokinin (6-benzylaminopurine) at two levels (0 (control) and 50 µM). At the 50% stage of cluster emergence (code 55 Zadox growth stage), hormone foliar application was performed three times per week. Foliar spraying was done at sunset. To improve absorption, five ml of diluted Tween 20 (0.1%) was added to each 20-liter sprayer. 10 days after the third spraying, a sample was taken and the traits were measured in order to determine their value.

Results and Discussion: The application of cytokinin significantly increased photosynthetic rate, leaf area index durability, weight per thousand grains, biological yield, and grain yield. The application of cytokinin had no significant impact on the greenness index of the Falat, Karaj 3, Roshan, and Yavarus cultivars, but increased the greenness index of the Sardari cultivar by 116.2% and decreased the greenness index of the Falat cultivar by 12.0%. The Karaj 3 cultivar had the highest photosynthesis with an average of 10.6 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ net CO_2 assimilation rate, while the Falat cultivar had the lowest photosynthesis with 6.46 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ net CO_2 assimilation rate. The application of cytokinin increased the leaf area index duration of the Falat, Karaj 3, and Yavarus cultivars while having no effect on the other cultivars. The foliar application of cytokinin had no effect on the number of seeds per plant, but there were significant differences in the number of seeds among the cultivars studied. The cultivars Karaj 3 and Yavarus had the highest and lowest seed yields per plant, with 172.6 and 83.7 seeds per plant, respectively. The foliar application of cytokinin increased the final grain dry weight of the Azadi, Roshan, and Yavarus cultivars by 5.6%, 14.8%, and 6.2%, respectively, but had no effect on the Karaj 3, Falat, and Sardari cultivars. The Azadi cultivar with an average of 1.08 mg/day and the Sardari cultivar with an average of 1.55 mg/day had the lowest and highest grain filling rates, respectively, among the cultivars studied. Except for the cultivar Roshan, the application of cytokinin increased during the grain filling period of all other cultivars. Compared to the control treatment, cytokinin increased the one-thousand seed weight by 5%. Cytokinin increased the weight of one-tousand seeds by 5% compared to the control treatment. The application of cytokinin increased the yield of the Yavarus, Karaj 3, and Sardari cultivars by 23.7%, 30.1%, and 65.5%, respectively, but had no effect on the yield of other cultivars. In the absence of cytokinin application, Azadi had the highest grain yield at 5700 kg/ha, while Roshan had the lowest at 3100 kg/ha. The application of

cytokinin had no significant effect on the harvest index. The Sardari and Yavarus cultivars had the highest and lowest harvest indices (31.4% and 25.1%, respectively), whereas the harvest indices of the other cultivars did not differ significantly.
Conclusion: Morphological, physiological, and yield-related traits differ among wheat cultivars, as demonstrated by the results of the present study. The results demonstrated that the response of wheat cultivars to cytokinin application was highly variable, and that hormone application may be ineffective or have a negative impact on certain traits.

Keywords: Benzylaminopurine, Grain filling, Leaf area duration, Photosynthesis, *Triticum aestivum*