

واکنش برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) به کاربرد ۶-بنزیل آمینوپورین

مهديه سادات حسینی^۱، هادی سالک معراجی^۲، افشین توکلی^{۳*} و رضا فتوت^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۵

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی سیتوکینین بر تبادلات گازی، انتقال مجدد و تخصیص مواد فتوسنتزی ارقام گندم، آزمایشی در شرایط مزرعه اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول پاشی ۶-بنزیل آمینوپورین در دو سطح، صفر (شاهد) و ۵۰ میکرومولار و شش رقم گندم (آزادی، کرج ۳، روشن، فلات، سرداری و یاوروس) بودند که به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش شاخص سطح برگ ارقام مورد مطالعه شد و رقم روشن بالاترین شاخص سطح برگ را دارا بود. سرعت فتوسنتز ارقام مورد بررسی نیز با یکدیگر متفاوت بود و کاربرد سیتوکینین سبب افزایش سرعت فتوسنتز شد. محلول پاشی سیتوکینین انتقال مجدد ارقام فلات، روشن و سرداری را افزایش و رقم آزادی را کاهش داد، ولی بر ارقام کرج ۳ و یاوروس اثر معنی‌داری نداشت. تأثیر سیتوکینین بر تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه، برگ و سنبله در ارقام مورد بررسی بسیار متفاوت بود به طوری که با کاربرد سیتوکینین، تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ در رقم فلات کاهش و در سایر ارقام افزایش یافت، اما در مورد سنبله، تخصیص مواد به سنبله در رقم روشن کاهش و در ارقام کرج ۳ و سرداری افزایش یافت، در حالی که بر سایر ارقام اثرگذار نبود. در مقابل، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه با محلول پاشی سیتوکینین به میزان ۳/۳ درصد کاهش یافت و ارقام سرداری، یاوروس و روشن بالاترین درصد تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را دارا بودند. عملکرد ارقام کرج ۳، یاوروس و سرداری با محلول پاشی سیتوکینین افزایش یافت، به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در تیمار بدون محلول پاشی به ترتیب در ارقام آزادی (۵۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) و روشن (۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد، در حالی که در شرایط محلول پاشی سیتوکینین، ارقام یاوروس و روشن به ترتیب با ۶۳۰۰ و ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه را دارا بودند. نتایج نشان داد که تأثیر سیتوکینین بر ارقام مختلف گندم و صفات مختلف، متفاوت بود، اما برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و اطلاعات کامل‌تر، پیشنهاد می‌شود غلظت سیتوکینین داخلی ارقام گندم نیز مورد سنجش قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، تخصیص مواد فتوسنتزی، سرعت فتوسنتز، سیتوکینین، عملکرد دانه

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دکترای تخصصی، استاد مدعو گروه علوم کشاورزی، دانشکده باهنر پاکدشت، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

* نویسنده مسئول: tavakoli@znu.ac.ir

مقدمه

کننده عملکرد نهایی گیاهان است (Long et al., 2006). در ده‌های گذشته تلاش زیادی برای بهبود فتوسنتز و بالا رفتن عملکرد گیاهان صورت گرفته است (Paul, 2021). فرآیند انتقال مجدد نیز نقش به‌سزایی در عملکرد دانه گندم دارد. انتقال مجدد فرآیند استفاده از ترکیباتی است که قبل از مرحله زایشی ساخته شده و به‌عنوان منابع ذخیره‌ای در ساقه ذخیره شده است (Jahangirov et al., 2019). وزن دانه در غلات از سه منبع فتوسنتز جاری، فتوسنتز اندام‌های غیر از برگ (مانند ریشک‌ها) و انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره شده تأمین می‌شود (Ehdaie et al., 2008). پس از فتوسنتز جاری، انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره شده در بخش‌های رویشی (مانند ساقه) منبع اصلی پر کردن دانه می‌باشد (Ehdaie et al., 2012; Savic et al., 2008). محققان بیان کردند که انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه بر عملکرد بسیار مؤثر بوده و تحت شرایط نامطلوب تا ۵۰ درصد و حتی بیشتر، عملکرد نهایی دانه را تشکیل می‌دهد (Scofield et al., 2009) و معمولاً انتقال مجدد در ژنوتیپ‌های گندم پابلند کمتر از گیاهان پاکوتاه است (Jahangirov et al., 2019). از سوی دیگر، در شرایط نامطلوب محیطی فعالیت آنزیم اسید اینورتاز کاهش یافته و با اختلال در بارگیری و تخلیه مواد پرورده، تسهیم ماده خشک و تخصیص آن به اندام‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Fahad et al., 2017).

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با صفات فیزیولوژیک مانند سرعت فتوسنتز، تخصیص مواد فتوسنتزی و انتقال مجدد گیاه گندم و ارقام آن انجام گرفته است. در مطالعه‌ای گزارش شد که ژنوتیپ‌های گندم از نظر انتقال مجدد ماده خشک به دانه با یکدیگر بسیار متفاوت بوده و در شرایط تنش رطوبتی، سهم انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در پرکردن دانه افزایش می‌یابد (Rezaei Morad Aali et al., 2013). گزارش کرده‌اند که تنش خشکی سبب کاهش انتقال مجدد و تشدید محدودیت منبع در ژنوتیپ‌های گندم گردید و بین ژنوتیپ‌ها تفاوت قابل توجهی وجود داشت (Talebzadeh et al., 2018). بیات و همکاران (Bayat et al., 2012) در پژوهشی روی ۸۱ رقم گندم گزارش کردند که تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ، ساقه و سنبله و همچنین عملکرد دانه در بین ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت است. در پژوهشی روی ده ژنوتیپ گندم گزارش شده است که ژنوتیپ‌ها از نظر غلظت و محتوای کربوهیدرات محلول در ساقه، انتقال مجدد و کارایی ساقه در انتقال مجدد

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین غلات در سراسر جهان است که عمدتاً به مصرف انسان می‌رسد (De Oliveira Silva et al., 2020). گندم از نظر سطح زیر کشت رتبه اول را دارد (FAO, 2018) و حدود ۳۰ درصد از تولید غلات جهان را شامل می‌شود (Reynolds and Braun, 2019). این گیاه در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی و مناطق جغرافیایی تولید می‌شود و به‌دلیل تطابق زیاد با شرایط آب و هوایی مختلف، دامنه پراکندگی آن بیش از هر گیاه دیگری است (Emam, 2011). در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ متوسط عملکرد گندم آبی و دیم در ایران به ترتیب ۴۲۳۵/۸ و ۱۲۹۴/۹ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ahmadi et al., 2021).

کمبود آب مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Ardalani et al., 2015). کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان بوده و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است (Salehnia et al., 2020). با توجه به اهمیت آب در کشاورزی، مطالعه و بررسی سازوکارهای فیزیولوژیک مرتبط با روابط آبی گیاه و شناخت روش‌های افزایش کارایی مصرف آب از طریق بهبود مکانیسم‌های جبرانی گیاه، زمینه را برای اصلاح ژنتیکی و به‌نژادی ارقام گندم فراهم می‌کند (Salehi et al., 2020). عملکرد یک ژنوتیپ تحت تأثیر اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط است (Mehari et al., 2014). وجود تنوع اقلیمی گسترده در ایران، نیاز به گسترش تنوع ارقام زراعی را افزایش داده است (Bashiri, 2013). از مهم‌ترین جنبه‌های گزینش ارقام با عملکرد بالا، انتخاب بر اساس صفات فیزیولوژیک است که شامل سرعت جذب خالص، شاخص سطح برگ، سرعت تنفس و فتوسنتز، سرعت انتقال و توزیع مواد پرورده (Ahmadi et al., 2017)، تخصیص قسمت اعظم مواد فتوسنتزی به دانه‌ها (Modhej, 2011) و ثبات و پایداری عملکرد در شرایط محیطی مختلف می‌باشد (Bakhshayeshi Geshlagh, 2012). همچنین چگونگی توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف گیاه یکی از موضوعات مهم در شکل‌گیری عملکرد دانه بوده و کاربرد ترکیباتی که بتواند بر این امر اثر مثبت داشته باشد، در کارایی آب مصرفی و بهبود عملکرد اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت (Ahmadi et al., 2005).

فتوسنتز عامل اصلی تعیین‌کننده عملکرد گیاهان بوده و کارایی تبدیل انرژی نورانی به مواد فتوسنتزی، عامل تعیین

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار 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، اجرا شد. داده‌های هواشناسی سال اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

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) بودند. ارقام مورد استفاده در پژوهش حاضر، بر اساس بالاترین عملکرد تولیدی از بین ۶۴ رقم گندم مورد آزمایش در شرایط آب و هوایی استان زنجان، گزینش شدند. به منظور اجرای طرح، ابتدا در تاریخ سوم مهر ماه زمین مورد نظر با گاوآهن برگردان‌دار به عمق ۳۰ سانتی‌متر شخم زده شد. سپس مقدار ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات‌تریپل، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه اوره به‌عنوان استارتر بر اساس عرف کشاورزان منطقه، به خاک اضافه و سپس دیسک زده شد. پس از انجام دیسک، زمین مورد نظر با لولر تسطیح و در ادامه، کرت‌هایی به طول چهار متر و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر ایجاد شد. هر کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت به طول چهار متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم بود. کاشت بذر در ۱۴ مهرماه سال ۱۳۹۴، توسط عمیق‌کار غلات انجام شد. در بهار نیز مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک به محصول داده شد. علف‌های هرز به‌صورت دستی وجین شد و آبیاری نیز بر اساس عرف منطقه هر هفت روز یک‌بار به‌صورت آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ (دریپ ۱۵ سانتی‌متری) انجام شد. جهت مبارزه با آفت سن گندم نیز حشره‌کش دلتامترین با غلظت ۰/۵ در هزار یک مرتبه در مرحله خوشه‌دهی محلول‌پاشی شد.

کربوهیدرات تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (Mojtabaie et al., 2013). گزارش‌ها حاکی از آن است که در شرایط تنش، سرعت فتوسنتز گندم کاهش یافته و درصد این کاهش در بین ارقام مختلف گندم متفاوت است (Forouzi et al., 2016; Ghahramani et al., 2018; Allahverdiyev et al., 2018). سایر پژوهش‌های انجام شده روی گندم نشان داده است که ارقام گندم از نظر سرعت فتوسنتز، تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه، انتقال مجدد، عملکرد و سایر صفات مرتبط با عملکرد با یکدیگر تفاوت دارند (Noor-Mohammadi et al., 2009; Ahmadi et al., 2017; Hamze et al., 2020)

پاسخ‌های هورمونی برای رشد و نمو گیاهان ضروری است (Khan et al., 2012). هورمون‌های گیاهی علاوه بر تنظیم رشد و نمو، نقش‌های مهمی در انتقال پیام‌های مختلف گیاهان در پاسخ به تنش‌های محیطی دارند (Wolters and Jurgens, 2009). سیتوکینین یکی از مهم‌ترین هورمون‌های داخلی در گیاهان است و وظایف متعددی را بر عهده دارد. پژوهش‌های مختلف بیانگر آن است که کاربرد خارجی سیتوکینین می‌تواند سبب بهبود صفات مختلف مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم شود (Khamdi et al., 2019; Sarafraz et al., 2019; Zaheer et al., 2019; Ardakani et al., 2019). همچنین، پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که واکنش ارقام مختلف گندم به کاربرد سیتوکینین می‌تواند بسیار متفاوت باشد (Sarafraz Ardakani et al., 2019; Jalali Honarmand et al., 2015). بر همین اساس، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیتوکینین بر فتوسنتز، انتقال مجدد و تخصیص مواد فتوسنتزی شش رقم گندم گزینش شده از نظر بالاترین عملکرد تولیدی در شرایط آب و هوایی استان زنجان، طراحی و اجرا شد.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴

Table 1. Meteorological data of the experimental site in 2015 and 2016

Meteorological parameter	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July
Sum of monthly precipitation (mm)	16.6	73.6	14.6	15.9	31.8	31.6	83.2	6.6	0.5	1.1
Mean of monthly temperature (°C)	17.3	9.5	2.5	2.4	2.3	8.8	10.8	16.7	22.3	26.6
Maximum temperature (°C)	9.1	4.6	-2.8	-2.8	-3.2	2.6	4.2	8.4	12.9	18.5
Minimum temperature (°C)	25.4	14.3	7.9	7.7	7.9	15	17.4	25	31.8	34.6
Relative humidity (%)	52	66	65	64	63	56	56	46	44	41

$$AS = \frac{DWS}{TWD} \times 100 \quad (۳)$$

$$AL = \frac{DWL}{TWD} \times 100 \quad (۴)$$

$$AE = \frac{DWE}{TWD} \times 100 \quad (۵)$$

در این روابط، AS تخصیص مواد فتوسنتزی ساقه، DWS وزن خشک ساقه، AL تخصیص مواد فتوسنتزی برگ، DWL وزن خشک برگ، AE تخصیص مواد فتوسنتزی سنبله و DWE وزن خشک سنبله است.

برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، مساحتی به اندازه دو متر مربع از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، برداشت و پس از خرمکوبی و بوجاری، عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹،۱) و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.01$) تیمار هورمون و رقم بر شاخص سطح برگ بود (جدول ۲). در بین ارقام مورد بررسی، رقم روشن با ۳/۴ بالاترین شاخص سطح برگ را دار بود که تفاوت معنی‌داری با رقم آزادی (۲/۹) نداشت، ولی تفاوت آن با سایر ارقام معنی‌دار بود و بین سایر ارقام نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). محلول‌پاشی سیتوکینین سبب افزایش ۳۴/۲ درصدی شاخص برگ نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد سیتوکینین با افزایش تقسیم سلولی و به تأخیر انداختن سرعت پیری برگ، شاخص سطح برگ را افزایش می‌دهد. افزایش شاخص سطح برگ گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است که همسو با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش می‌باشد (Zaheer *et al.*, 2019; Farouk and Sanusi, 2019). ارقام مختلف گندم از نظر ویژگی‌های موفولوژیک و فیزیولوژیک متفاوت بوده و هر رقم دارای ویژگی‌های خاصی است. تفاوت ارقام از نظر سرعت رشد و نمو و طول دوره رسیدگی نیز می‌تواند از عوامل اثرگذار بر شاخص سطح برگ ارقام باشد. تفاوت در سطح برگ ارقام گندم در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است (Miranzadeh and Emam, 2010; Naghavi *et al.*, 2014) که همسو با نتایج پژوهش حاضر است.

محلول‌پاشی هورمون سیتوکینین با ترکیب بنزیل‌آمینوپورین (BAP) طی سه مرتبه (به فاصله هر هفت روز یک‌بار) در مرحله حدود ۵۰ درصد ظهور خوشه‌ها (کد ۵۵ مرحله رشدی زادوکس) انجام و تیمار شاهد نیز سه مرتبه با آب شهری محلول‌پاشی شد. پنج روز پس از محلول‌پاشی نوبت سوم، سرعت فتوسنتز در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح به‌کمک دستگاه فتوسنتز متر مدل LCA4+ADCCO.UK مورد سنجش قرار گرفت. شاخص سطح برگ نیز در همان زمان اندازه‌گیری شد، بدین صورت که از هر کرت به‌صورت تصادفی ده بوته انتخاب و کفبر شدند. در ادامه، بوته‌ها به آزمایشگاه منتقل و سطح برگ‌های جدا شده به کمک دستگاه اسکنر Delta-T Devices Cambridge, UK اسکن و توسط نرم‌افزار Image-J اندازه‌گیری و سپس شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از رابطه (۱) از نسبت مساحت برگ (LA) به مساحت زمینی که توسط برگ اشغال شده است (GA) محاسبه شد (Li *et al.*, 2015):

$$LAI = \frac{LA}{GA} \quad (۱)$$

به‌منظور اندازه‌گیری میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، یک هفته قبل از شروع گلدهی ۵۰ بوته یکسان به‌صورت تصادفی علامت‌گذاری و از زمان گل‌دهی هر هفته ده بوته از سطح خاک برداشت شد. سپس قسمت‌های مختلف آن جداسازی و پس از خشک شدن در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس، وزن خشک قسمت‌های مختلف اندازه‌گیری و در ادامه، از وزن خشک ساقه اندازه‌گیری شده، با کمک رابطه (۲) جهت محاسبه میزان انتقال مجدد استفاده شد (Papakosta and Gagianas, 1991):

$$DMT = DMA - (DMM - GW) \quad (۲)$$

که در آن، DMT مقدار ماده خشک انتقال یافته (بر حسب گرم)، DMA وزن ماده خشک در مرحله ظهور بساک (بر حسب گرم)، DMM وزن ماده خشک در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (بر حسب گرم) و GW وزن دانه (بر حسب گرم) است.

جهت اندازه‌گیری تخصیص مواد فتوسنتزی، در زمان رسیدگی فیزیولوژیک از هر کرت تعداد ده بوته به‌صورت تصادفی انتخاب و کفبر شدند و بعد از جدا کردن و تفکیک اجزای گیاه (برگ، ساقه و سنبله) در داخل پاکت قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون قرار داده شدند. سپس وزن خشک هر یک از اجزا اندازه‌گیری و سهم هر بخش از وزن خشک کل گیاه (به‌صورت درصد) طبق روابط (۳) تا (۵) محاسبه شد (Rizzalli *et al.*, 2002):

تبادلات گازی

انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

صفات مرتبط با تبادلات گازی گیاه مانند هدایت روزنه‌ای، غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه، سرعت فتوسنتز و سرعت تعرق تحت تأثیر رقم و محلول‌پاشی سیتوکینین قرار گرفت (جدول ۲). محلول‌پاشی سیتوکینین سبب افزایش ۱۹/۳ درصدی هدایت روزنه‌ای، ۱۸/۹ درصدی سرعت تعرق و ۴۴/۱ درصدی سرعت فتوسنتز شد، ولی غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه را به میزان ۲۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۳). به نظر می‌رسد محلول‌پاشی سیتوکینین با بهبود روابط آبی گیاه، سبب افزایش گشودگی روزنه‌ها و هدایت روزنه‌ای می‌شود و بنابراین سرعت تعرق افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت فتوسنتز، مصرف دی‌اکسید کربن در چرخه کلوین افزایش و در نتیجه غلظت آن در فضای زیر روزنه کاهش می‌یابد. در رابطه با تأثیر مثبت سیتوکینین بر تبادلات گازی در گندم گزارش‌های زیادی مطابق با نتایج این پژوهش وجود دارد (Saeedi *et al.*, 2006; Lalarukh *et al.*, 2014; Dwivedi *et al.*, 2014; Khamdi *et al.*, 2019; Zaheer *et al.*, 2019). تبادلات گازی در بین ارقام مورد بررسی نیز متفاوت بود، به طوری که بالاترین هدایت روزنه و سرعت تعرق در رقم روشن و بیش‌ترین غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه و سرعت فتوسنتز به ترتیب در رقم فلات و کرج ۳ مشاهده شد (جدول ۳). وجود تفاوت تبادلات گازی در بین ارقام را می‌توان به ویژگی‌های فیزیولوژیک هر رقم نسبت داد. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز بیانگر تفاوت ارقام گندم از نظر تبادلات گازی است. نتایج این پژوهش با نتایج میرانزاده و امام (Miranzadeh and Emam, 2010) مطابقت داشت.

انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های مختلف به دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمار سیتوکینین، رقم و برهمکنش سیتوکینین* رقم قرار گرفت (جدول ۲). محلول‌پاشی سیتوکینین سبب افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ارقام فلات، روشن و سرداری شد، در حالی که انتقال مجدد رقم آزادی را ۲۷ درصد کاهش داد (شکل ۱). همچنین کاربرد سیتوکینین بر انتقال مجدد ارقام کرج ۳ و یاواروس تأثیر معنی‌داری نداشت. انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده در بخش‌های رویشی بر عملکرد دانه اثرگذار است. مواد ذخیره شده در بخش‌های رویشی قبل از گلدهی بر عملکرد دانه نقش مؤثری دارند و طول دوره پر شدن دانه و عملکرد نهایی را بهبود می‌بخشد (Ma *et al.*, 2015; Ardalani *et al.*, 2015). همچنین انتقال مجدد مواد فتوسنتزی جزء مکانیسم‌های جبرانی به منظور تأمین امنیت عملکرد دانه در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh *et al.*, 2014). پژوهش‌های مختلفی نشان داده است که کاربرد سیتوکینین می‌تواند سبب افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی گندم (Yang *et al.*, 2016) و ذرت (Davani *et al.*, 2017) شود. انتقال مجدد مواد فتوسنتزی به دلیل تفاوت ارقام گندم از نظر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی می‌تواند بسیار متفاوت باشد. مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2022) گزارش کردند که میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ارقام گندم با یکدیگر متفاوت است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

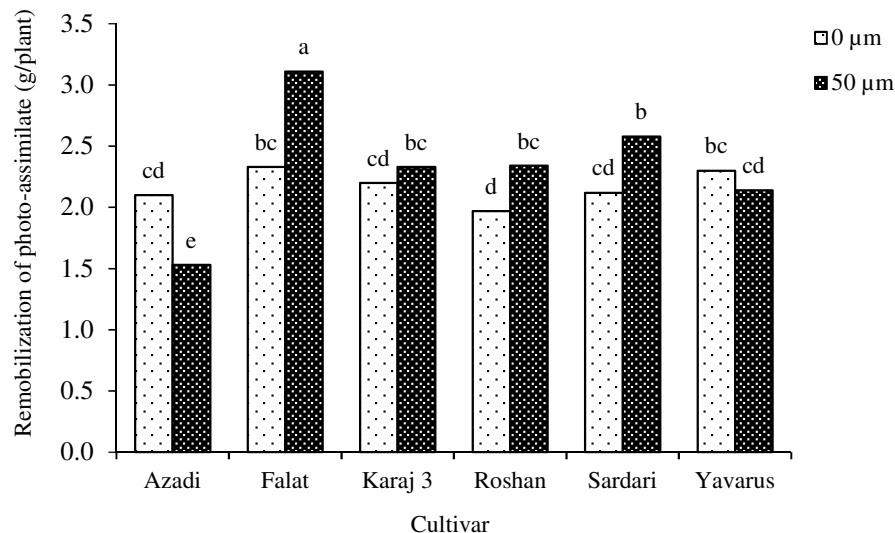
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سیتوکینین بر صفات فیزیولوژیک و اجزای عملکرد ارقام گندم

Table 2. Analysis of variance of the effect of cytokinin application on physiological traits and yield components of wheat

Source of variations	df	Mean square [†]									
		LAI	SC	I-CO ₂	TR	N-CO ₂	RPA	APS-Leaf	APA-Stem	APA-Spike	GY
Block	3	0.087 ^{ns}	0.000058 ^{ns}	7140.52 ^{**}	0.136 ^{ns}	5.53 ^{ns}	0.156*	0.076 ^{ns}	39.73 ^{**}	1.12 ^{ns}	679511.96 ^{ns}
Cytokinin	1	15.68 ^{**}	0.002 ^{**}	16093.02 ^{**}	1.58 ^{**}	109.96 ^{**}	0.355 ^{**}	4.9 ^{**}	37.69*	44.28 ^{**}	9289866.90 ^{**}
Cultivar	5	5.52 ^{**}	0.00069*	4589.26*	0.388 ^{**}	25.49 ^{**}	0.69 ^{**}	2.06 ^{**}	27.27 ^{**}	33.19 ^{**}	7095746.53 ^{**}
Cytokinin × Cultivar	5	0.45 ^{ns}	0.00019 ^{ns}	1238.42 ^{ns}	0.104 ^{ns}	4.27 ^{ns}	0.461 ^{**}	3.72 ^{**}	6.82 ^{ns}	39.36 ^{**}	1908450.23 ^{**}
Error	33	0.83	0.00023	1600.38	0.093	3.03	0.038	0.345	8.51	2.3	377500.18
CV (%)	--	16.40	20.8	29.8	14.6	20.7	8.7	4.1	5.6	4.6	12.84

^{ns}, * and **: not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

[†]: LAI, leaf area index; SC, stomatal conductance to water vapour (mmol/m²/s); I-CO₂, intercellular CO₂ concentration (Ci) (mmol/m²/s); TR, transpiration rate (mmol H₂O/m²/s); N-CO₂, net CO₂ assimilation rate (ACO₂) (μmol CO₂/m²/s); RPA, remobilization of photo-assimilate (g/plant); APS-L, allocation of photosynthetic substances to leaf (%); APA-Stem, allocation of photo-assimilate to stem (%); APA-Spike, allocation of photo-assimilate to spike (%); GY, grain yield (kg/ha).



شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش محلول پاشی سیتوکینین × رقم بر انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در گندم

Figure 1. Comparison of means of cytokinin foliar application × cultivar interaction on remobilization photo-assimilate in wheat

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح محلول پاشی سیتوکینین و رقم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و اجزای عملکرد گندم

Table 3. Comparison of means of the effect of cytokinin foliar application levels and cultivars on physiological traits and yield components of wheat

Treatment [†]	LAI	SC	I-CO ₂ (Ci)	TR	N-CO ₂ (ACO ₂)	APA-Stem
Cytokinin						
0 μm	2.54b	0.0667b	152.15a	1.9b	6.88b	53.32a
50 μm	3.41a	0.0796a	115.53b	2.26a	9.91a	51.54b
Cultivar						
Roshan	3.47a	0.0875a	137.35abc	2.38a	9.9a	52.89ab
Karaj 3	2.51b	0.0775ab	98.23c	2.27ab	10.6a	50.56b
Azadi	2.96ab	0.0738abc	114.38bc	2.15abc	9.4a	50.66b
Falat	2.76b	0.0725abc	165.44a	1.98bc	6.46b	51.57b
Yavaros	2.49b	0.0675bc	146.11ab	1.86c	7.04b	53.62ab
Sardari	2.39b	0.0601c	141.56abc	1.87c	6.95b	55.27a

[†]: Means followed by similar letter (s) in each column are not significantly different Duncan's test at 5% probability level. LAI, leaf area index; SC, stomatal conductance to water vapour (mmol/m²/s); I-CO₂, intercellular CO₂ concentration (Ci) (mmol/m²/s); TR, transpiration rate (mmol H₂O/m²/s); N-CO₂, net CO₂ assimilation rate (ACO₂) (μmol CO₂/m²/s); APA-Stem, allocation of photo-assimilate to stem (%).

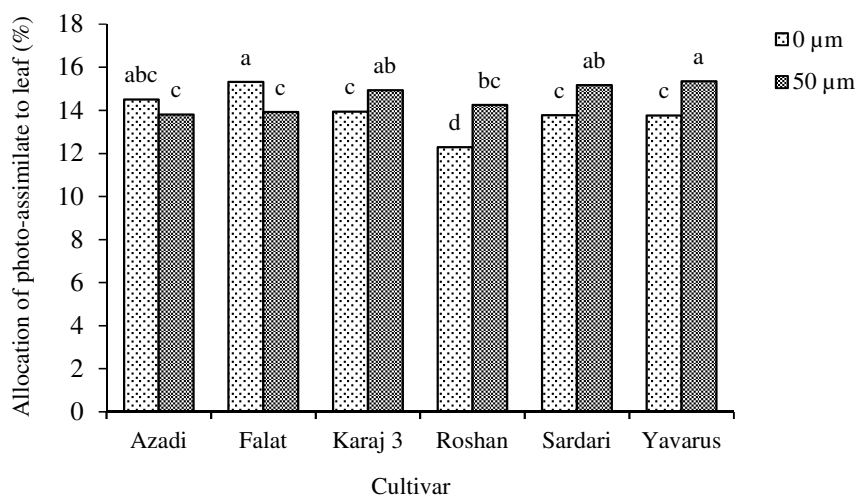
رقم فلات شد، در حالی که تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ در ارقام کرج ۳، روشن، سرداری و یاواروس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲). محلول پاشی سیتوکینین سبب افزایش ۳/۵ درصدی تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه شد (جدول ۳). از بین ارقام مورد بررسی، رقم سرداری با ۵۵/۲ درصد بیش‌ترین و رقم کرج ۳ با ۵۰/۵ کم‌ترین درصد تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را دارا بودند (جدول ۳). کاربرد سیتوکینین بر تخصیص

تخصیص مواد فتوسنتزی

تیمار سیتوکینین، رقم و اثر متقابل سیتوکینین × رقم بر تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ و سنبله اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه نیز تحت تأثیر سیتوکینین (P ≤ ۰/۰۵) و رقم (P ≤ ۰/۰۱) قرار گرفت (جدول ۲). کاربرد سیتوکینین بر تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ رقم آزادی اثر معنی‌داری نداشت، ولی سبب کاهش ۹/۱ درصدی در

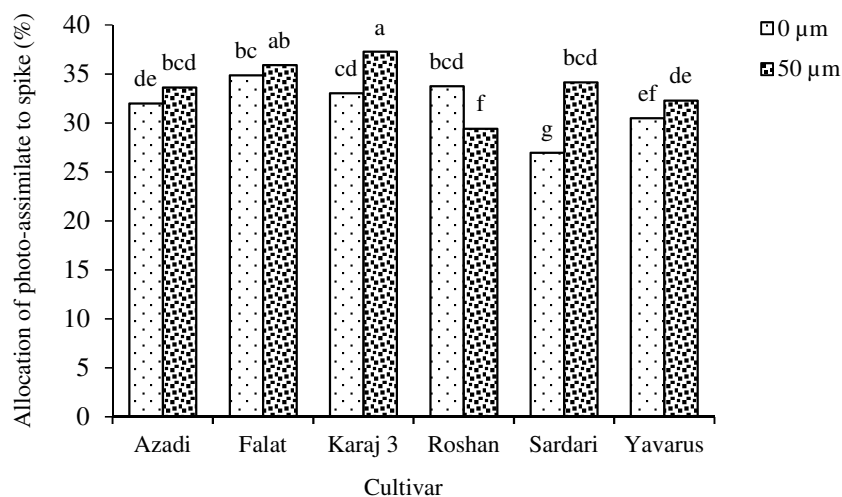
2016). اهدایی و همکاران (Ehdaie *et al.*, 2008) گزارش کردند که درصد مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه سنبله اصلی با طول ساقه و حداکثر وزن خشک ساقه همبستگی داشت. گزارش‌های مختلف بیانگر آن است که تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف گیاه در ارقام مختلف گندم با یکدیگر متفاوت است (Ahmadi *et al.*, 2017; Ghahramani *et al.*, 2018; Hamze *et al.*, 2020; Moradi *et al.*, 2022).

مواد فتوسنتزی به سنبله ارقام آزادی، فلات و یاواروس اثر معنی‌داری نداشت، ولی به‌طور معنی‌داری تخصیص مواد فتوسنتزی به سنبله ارقام کرچ ۳ و سرداری را افزایش داد (شکل ۳). با کاربرد سیتوکینین، اختصاص مواد فتوسنتزی به سنبله در رقم روشن به‌میزان ۱۴/۸ درصد کاهش یافت (شکل ۳). عملکرد محصول وابستگی نسبتاً زیادی به میزان دسترسی به رطوبت و رفتار ژنوتیپ‌ها از نظر انتقال مجدد ذخایر موجود در اندام‌های هوایی در مرحله پر شدن دانه دارد (Gholipour *et al.*, 2018).



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سیتوکینین × رقم بر تخصیص مواد فتوسنتزی به برگ در ارقام گندم

Figure 2. Comparison of means of cytokinin foliar application × cultivar interaction on allocation of photo-assimilate to leaf in wheat cultivars



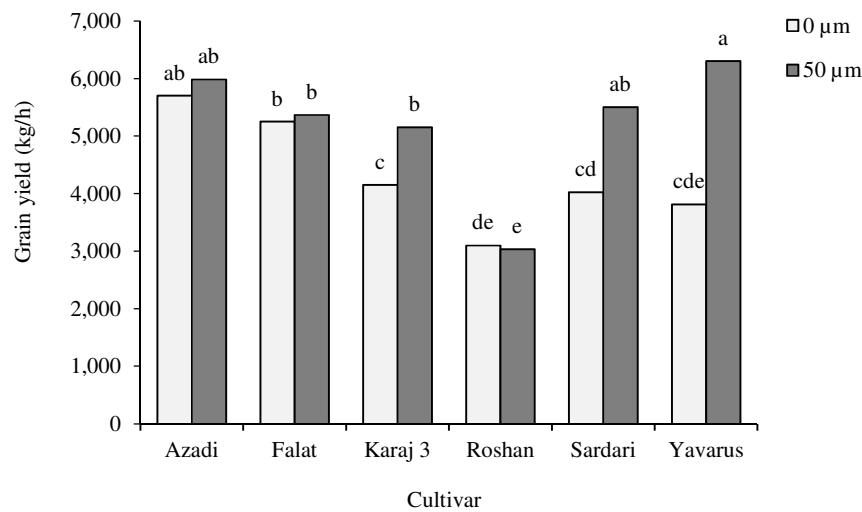
شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سیتوکینین × رقم بر تخصیص مواد فتوسنتزی به سنبله در ارقام گندم

Figure 3. Comparison of means of cytokinin foliar application × cultivar interaction on allocation of photo-assimilate to spike in wheat cultivars

عملکرد دانه

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 در ارتباط مستقیم با افزایش فتوسنتز است (Peleg *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد که سیتوکینین با بهبود سطح برگ سبب افزایش قدرت منبع شده و از سوی دیگر با افزایش تقسیم سلول‌های آندوسپرم دانه قدرت مخزن را نیز بهبود داده و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه شده است. ارقام مختلف گندم از نظر عملکرد در واحد سطح با یکدیگر تفاوت داشته که همسو با نتایج آزمایش حاضر، در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Mohammadi *et al.*, 2011; Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Momtazi, 2018).

عملکرد دانه تحت تأثیر سیتوکینین، رقم و برهمکنش سیتوکینین × رقم ($P \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۲). اثر محلول‌پاشی سیتوکینین بر عملکرد ارقام مختلف مورد بررسی متفاوت بود. کاربرد سیتوکینین عملکرد ارقام کرج ۳، یاوروس و سرداری را افزایش داد، ولی اثر معنی‌داری بر عملکرد سایر ارقام نداشت (شکل ۴). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در تیمار شاهد بدون سیتوکینین در ارقام آزادی و روشن به ترتیب با ۵۷۰۰ و ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد، در حالی که در شرایط محلول‌پاشی سیتوکینین، ارقام یاوروس و روشن به ترتیب با ۶۳۰۰ و ۳۰۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار، بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند (شکل ۴). افزایش عملکرد دانه گندم با کاربرد سیتوکینین در پژوهش‌های مختلفی گزارش شده است (Saeedi *et al.*, 2006; Naghavi *et al.*, 2014; Jalali Honarmand *et al.*, 2016; Moradi *et al.*, 2022) که همسو با نتایج به‌دست آمده از این آزمایش است.



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سیتوکینین × رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم

Figure 4. Comparison of means of cytokinin foliar application × cultivar interaction on grain yield of wheat cultivars

افزایش سرعت فتوسنتز شد. کاربرد سیتوکینین انتقال مجدد مواد فتوسنتزی را در ارقام فلات، روشن و سرداری افزایش و در رقم آزادی کاهش داد. تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه با محلول‌پاشی سیتوکینین کاهش یافت، در حالی که تخصیص مواد به برگ با کاربرد سیتوکینین در همه ارقام به‌جز فلات افزایش یافت. کاربرد سیتوکینین، تخصیص مواد فتوسنتزی به سنبله ارقام کرج ۳ و سرداری را افزایش و رقم روشن را

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که واکنش ارقام مختلف گندم به کاربرد سیتوکینین بسیار متفاوت بود. از سوی دیگر، تأثیر سیتوکینین بر صفات مختلف نیز متغیر بود. سطح برگ با کاربرد سیتوکینین افزایش یافت. سرعت فتوسنتز ارقام مورد بررسی نیز با یکدیگر متفاوت بود و کاربرد سیتوکینین سبب

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

کاهش داد. محلول‌پاشی سیتوکینین، عملکرد ارقام کرج ۳، یاواروس و سرداری را افزایش داد. رقم یاواروس بیش‌ترین و رقم روشن کم‌ترین عملکرد دانه را در شرایط محلول‌پاشی سیتوکینین داشتند. دلیل تأثیر متفاوت سیتوکینین در ارقام مختلف را می‌توان به ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و مولکولی هر رقم نسبت داد. محلول‌پاشی سیتوکینین سبب بهبود عملکرد برخی از ارقام گندم شد و این می‌تواند به‌عنوان یک راهکار جهت بهبود کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد ارقام یاواروس، سرداری و کرج ۳ باشد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تأیید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

References

- Ahmadi, A., Hoseinpor, T. and Porghasemi, R. 2017. The growth trend of seed of varieties of wheat. *Plant Ecophysiology* 28: 10-20. (In Persian with English Abstract).
- Ahmadi, A., Saedi, M. and Jahansooz, M. R. 2005. Pattern of photosynthetic material distribution and grain filling in modified bread wheat cultivars under stress and non-stress conditions. *Iranian Agricultural Sciences* 36 (6):1333-1343. (In Persian with English Abstract).
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H. R., Abde Shah, H., Kazemian, A. and Rafeie, M. 2021. Agricultural Statistics for the crop year 2020-21: Crops. Vol. 1. Ministry of Agriculture, Deputy of Program and Budget, General Directorate of Statistics and Information. 98 p. (In Persian).
- Alizadeh, A., Nabipoor, M. and Rahnema, A. 2014. Effect of different levels of potassium on soluble carbohydrate remobilization in two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Plant Productions* 37 (3): 69-82. (In Persian with English Abstract).
- Allahverdiyev, T., Jahangirov, A. and Huseynova, I. 2018. Dry matter remobilization, yield and yield components of durum (*Triticum durum* Desf.) and bread (*Triticum aestivum* L.) wheat genotypes under drought stress. *Pakistan Journal of Botany* 50 (5): 1745-1751.
- Ardalani, Sh., Saedi, M., Jalali-Honarmand, S., Ghobadi, M. E. and Abdoli, M. 2015. Evaluation of grain yield and its relationship with remobilization of dry matter in bread wheat cultivars under water deficit stress at the post anthesis. *Iranian Dryland Agronomy Journal* 2 (2): 173-203. (In Persian with English Abstract).
- Bakhshayeshi Geshlagh, M. 2012. Study of adaptability and grain yield stability of wheat cultivars in cold and moderate-cold climate of Iran. *Crop Improvement* 13 (2): 41-49. (In Persian with English Abstract).
- Bashiri, Z. 2013. Study of performance, assimilate remobilization to grain and spike photosynthesis rate in rainfed wheat genotypes with farmer participation. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 106: 135-143. (In Persian with English Abstract).
- Bayat, Z., Ahmadi, A., Sabokdast, M. and Joudi, M. 2012. The pattern of dry matter partitioning in wheat genotypes under irrigation and drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Sciences* 42 (19): 821-832. (In Persian with English Abstract).
- Brdar, M., Kraljević-Balalić, M. and Kobiljski, B. 2008. The parameters of grain filling and yield components in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. Durum). *Open Life Sciences* 3 (1): 75-82.
- Davani, D., Nabipoor, M. and Roshanfekar Dezfoli, H. 2017. Effect of cytokinin and auxin hormones on yield and dry matter remobilization of corn in different planting patterns under saline conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 10: 105-118. (In Persian with English Abstract).
- De Oliveira Silva, A., Ciampitti, I. A., Slafer, G. A. and Lollato, R. P. 2020. Nitrogen utilization efficiency in wheat: A global perspective. *European Journal of Agronomy* 114: 1-13.

- 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.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A. and Waines, J. G. 2008.** Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. **Field Crops Research** 106: 34-43.
- 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. **Crop Production and Processing** 3 (8): 93-104. (In Persian with English Abstract).
- Emam, Y. 2011.** Cereal production. 4th edition, Shiraz University Press, Iran. 194 p. (In Persian).
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim W., Adkins, S., Saud, S. and Ihsan, M. Z. 2017.** Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science** 8: 1-16.
- 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.
- FAO. 2018.** Food and Agriculture Organization. Statistical Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Available online: <http://www.fao.org>.
- Forouzi, M., Ehteshami, M. R., Esfahani, M. and Rabiei, M. 2016.** Study the amount of dry matter remobilization and current photosynthesis in different seed sizes of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Rasht. **Iranian Journal of Seed Science and Research** 3 (1): 47-61. (In Persian with English Abstract).
- Ghahramani, P., Mohammadi, S. and Hadi, H. 2018.** Assessment of remobilization variation of bread wheat cultivars under different irrigation and nitrogen fertilizer treatments. **Journal of Plant Physiology and Breeding** 8 (1): 37-48. (In Persian with English Abstract).
- Gholipour, S., Ebadie, A. and Parmoon, G. 2016.** Components of different genotypes of grain of bread wheat. **Crop Physiology Journal** 8 (31): 111-128. (In Persian with English Abstract).
- Hamze, H., Asghari, A., Mohammadi, S. A., Sofalian, O. and Mohammadi, S. 2020.** Grouping of spring wheat recombinant inbred lines in term of phenological and partitioning of assimilates in normal and water deficit conditions. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 12 (4): 989-1002. (In Persian with English Abstract).
- Jahangirov, A. A., Allahverdiyev, T. I., Talai, J. M. and Huseynova, I. M. 2019.** Study of remobilization of winter bread wheat (*Triticum Aestivum* L.) under rainfed conditions. **Applied Ecology and Environmental Research** 17 (3): 6981-6987.
- 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 with English Abstract).
- 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.
- Khamdi, N., Nabipour, M., Roshanfekar, H. and Rahnema, 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 with English Abstract).
- Khan, N. A., Nazar, R., Iqbal, N. and Anjum, N. A. 2012.** Phytohormones and abiotic stress tolerance in plants. Springer Science and Business Media.
- Kumar, R., Sarawgi, A. K., Ramos, C., Amarante, S. T., Ismail, A. M., and Wade, L. J. 2006.** Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. **Field Crops Research** 96 (2-3): 455-465.
- Li, X., Liu, Q., Yang, R., Zhang, H., Zhang, J., and Cai, E. 2015.** The design and implementation of the leaf area index sensor. **Sensors** 15 (3): 6250-6269.
- Long, S. P., Zhu, X. G., Naidu, S. L. and Ort, D. R. 2006.** Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant, Cell and Environment** 29 (3): 315-330.
- Ma, S. C., Duan, A. W., Wang, R., Guan, Z. M., Yang, S. J., Ma, S. T. and Shao, Y. 2015.** Root-sourced signal and photosynthetic traits, dry matter accumulation and remobilization, and yield stability in winter wheat as affected by regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management** 148: 123-129.
- 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.
- Miranzadeh, H. and Emam, Y. 2010.** Evaluation of leaf area index, plant height, photosynthesis rate and stomatal conductance of four dryland wheat cultivars under drought stress conditions. **Journal of Crop Ecophysiology** 2 (2): 105-110. (In Persian with English Abstract).
- Modhej, A. 2011.** Source-sink relationship in wheat (*Triticum aestivum* and *T. durum*) and triticale (*Triticale hexaploid* Lart.) genotypes under Ahvaz conditions. **Iranian Journal of Field Crops Research** 9 (2): 258-264. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadi, H., Moradi, F., Ahmadi, A., Abbasi, A. and Poustini, K. 2011.** Drought effect on hormone changes and carbohydrates levels in developing grains of two wheat cultivars. **Crop Production** 4 (4): 139-155. (In Persian with English Abstract).
- Mojtabaie Zamani, M., Nabipour, M. and Meskarbashee, M. 2013.** Evaluation of stem soluble carbohydrate accumulation and remobilization in spring bread wheat genotypes under terminal heat stress conditions in Ahvaz in Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences** 15 (3): 277-294. (In Persian with English Abstract).
- Momtazi, F. 2018.** Allelopathic effect of sunflower residues extract on wheat and rapeseed germination. **Plant Ecophysiology** 3 (9): 1-16. (In Persian with English Abstract).
- Moradi, L., Siosemardeh, A., Sohrabi, Y., Bahramnejad, B. and Hosseinpanahi, F. 2022.** Evaluation of dry matter remobilization, yield and yield components of three rainfed wheat cultivars affected by supplemental irrigation and nitrogen fertilization. **Environmental Stresses in Crop Sciences** 14 (4): 939-949. (In Persian with English Abstract).
- Naghavi, M. R., Moghaddam, M., Toorchi, M. and Shakiba, M. R. 2014.** Evaluation of spring wheat cultivars for physiological, morphological and agronomic traits under drought stress. **Journal of Crop Breeding** 8 (18): 64-77. (In Persian with English Abstract).
- Noor-Mohammadi, G., Ghodsi, M. and Kafi, M. 2009.** Effects of water deficit and spraying of desiccant on yield, yield components and water use efficiency of wheat genotypes. **Pakistan Journal of Biological Sciences** 12 (21): 1399-1407.
- Papakosta, D. K. and Gagianas, A. A. 1991.** Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. **Agronomy Journal** 83: 864-870.
- Paul, M. J. 2021.** Improving photosynthetic metabolism for crop yields: what is going to work? **Frontiers in Plant Science**, 12: 743862.
- Reynolds, M. and Braun, H. 2019.** Benefits to low-input agriculture. **Nature Plants** 5 (7): 652-653.
- Rezaei Morad Aali, M., Eivazi, A. R., Mohammadi, S. and Shir-Alizadeh, Sh. 2013.** Effect of drought stress on dry matter remobilization and grain yield of winter bread wheat genotypes. **Iranian Journal of Crop Sciences** 15 (3): 262-276. (In Persian with English Abstract).
- Rizzalli, R. H., Villalabos, F. J. and Orgaz, F. 2002.** Radiation interception, radiation use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). **European Journal of Agronomy** 18: 33-43.
- Saeedi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Poustini, 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 with English Abstract).
- Salehi, F., Ahmadi, A., Mirabzadeh, M. and Rafei, H. R. 2020.** Evaluation of storage and remobilization of stem dry matter of three wheat cultivars under different moisture regimes in before and after flowering stages. **Iranian Journal of Field Crop Sciences** 51 (1): 35-49. (In Persian with English Abstract).
- 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. (In Persian with English Abstract).
- Sarafraz-Ardakani M. R., Khavari-nejad, R. A., Moradi, F. and Najafi, F. 2014.** Abscisic acid and cytokinin-induced osmotic and antioxidant regulation in two drought-tolerant and drought-sensitive cultivars of wheat during grain filling under water deficit in field conditions. **Notulae Scientia Biologicae** 6 (3): 354-362.

- Scofield, G. N., Ruuska, S. A., Aoki, N., Lewis, D. C., Tabe L. M. and Jenkins, C. L. 2009.** Starch storage in the stems of wheat plants: Localization and temporal changes. **Annals of Botany** 103 (6): 859-868.
- Talebzadeh, S. J., Hadi, H., Aminia, R., Tajbakhsh, M. and Rezaie, M. 2018.** Evaluation of sink limitation and assimilates distribution of wheat genotypes under terminal drought stress. **Crop Improvement** 19 (3): 717-732. (In Persian with English Abstract).
- Wolters, H. and Jurgens, G. 2009.** Survival of the flexible: Hormonal growth control and adaptation in plant development. **Nature Reviews Genetics** 10: 305-317.
- Yang, D., Li, Y., Shi, Y., Cui, Z., Luo, Y., Zheng, M., Chen, J., Li, Y., Yin, Y. and Wang, Z. 2016.** Exogenous cytokinins increase grain yield of winter wheat cultivars by improving stay-green characteristics under heat stress. **PLoS One** 11 (5): 1-19.
- Yang, J. and Zhang, J. 2006.** Grain filling of cereals under soil drying. **New Phytologist** 169 (2): 223-236.
- 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.



The response of some physiological indices and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to the application of 6-benzylaminopurine

Mahdie Sadat Hosseini¹, Hadi Salek Mearaji², Afshin Tavakoli^{3*} and Reza Fotovat³

Received: October 4, 2021

Accepted: January 5, 2022

Abstract

To investigate the effect of foliar application of cytokinin on gas exchange, remobilization and allocation of photosynthetic materials of wheat cultivars, an experiment was carried out under field conditions. The experimental treatments included foliar application of 6-benzylaminopurine at two levels (0 as control and 50 μ M), and six wheat cultivars (Azadi, Karaj 3, Roshan, Falat, Sardari and Yavarus) which as factorial experiment in a randomized complete block design with four replication were studied. The results showed that foliar application of cytokinin increased leaf area index (LAI) and Roshan had the highest leaf area index. Photosynthetic rate of the studied cultivars was also different and the use of cytokinin increased the photosynthetic rate. Foliar application of cytokinin increased the remobilization of Falat, Roshan and Sardari cultivars and decreased Azadi cultivar, but had no significant effect on Karaj 3 and Yavarus cultivars. The effect of cytokinin on the allocation of photosynthetic assimilates to stem, leaf and spike of the studied cultivars was very different, so that with the application of cytokinin, the allocation of photo-assimilates to leaf decreased in Falat and increased in the other cultivars, but in the case of spike, the allocation of photo-assimilates to spike decreased in Roshan cultivar and increased in Karaj 3 and Sardari cultivars, while it did not affect on the other cultivars. In contrast, the allocation of photo-assimilates to stem was reduced about 3.3% by foliar application of cytokinin and Sardari, Yavarus and Roshan cultivars had the highest percentage of the allocation of photo-assimilates to stem. Grain yield of Karaj 3, Yavarus and Sardari cultivars increased by foliar application of cytokinin and the highest and lowest grain yield was observed in the control treatment (no application of cytokinin) in Azadi (5700 kg/ha) and Roshan (3100 kg/ha) cultivars, respectively, while under cytokinin foliar application, Yavaros and Roshan cultivars with 6300 and 3300 kg/ha had the highest and lowest grain yield, respectively. The results of this experiment showed different effects of cytokinin on different traits and wheat cultivars, but to obtain more accurate and complete results, it is suggested to measure the internal cytokinin concentration of wheat cultivars.

Keywords: Allocation photo-assimilate, Cytokinin, Grain yield, Photosynthesis rate, Remobilization

1. M. Sc. Graduated, Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Zanzan University, Zanzan, Iran

2. Ph. D., Visiting Teacher in Dept. of Agricultural Science, Bahonar Faculty of Pakdasht, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

3. Assoc. Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Zanzan University, Zanzan, Iran

* Corresponding author: tavakoli@znu.ac.ir