

Effect of gibberellic acid solution spraying on the source strength and stem storage of wheat cultivar

Vida Kardgar¹, Ali Ahmadi^{2*}, Alireza Abbasi³

1,2,3. Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources,
University of Tehran, Iran.

(Received: March 7, 2020 - Accepted: June 8, 2020)

ABSTRACT

This study has been conducted to recognize some of the physiological mechanisms related to the storage in different wheat cultivars as a split-plot experiment in a randomized complete blocks design with three replications at the experimental farm of Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, in Karaj, during two crop years of 2014-2016. Experimental treatments consisted of 22 wheat cultivars as the main plots and gibberellic acid (GA3) at two levels (0 mg/L (control) and 100 mg/L) as the sub plots. Results showed that gibberellic acid spraying significantly increased stem dry and specific weights, leaf area, chlorophyll and grain yield in different wheat cultivars in both experimental years. Among these traits, the shoot dry weight had the highest response to gibberellic acid spraying. There was also a significant positive correlation between stem dry and stem specific weights and remobilization in different cultivars under gibberellic acid spraying condition. Shabrang and Dez cultivars had the highest storage related traits (stem dry and specific weights) under gibberellic acid spraying condition which resulted in higher grain yield. These cultivars had the highest grain yield due to higher stem reserves remobilization capacity. In this study, exogenous application of gibberellic acid has generally strengthened the stem storage capacity, source strength and yield in different wheat cultivars.

Keywords: Leaf area, leaf chlorophyll, seed yield, stem reserves remobilization, source strength.

بررسی تأثیر محلول پاشی جیبرلیک اسید بر قدرت منبع و ذخیره سازی ساقه ارقام گندم

ویدا کاردگر^۱، علی احمدی^{۲*}، علیرضا عباسی^۳

۱ و ۲ و ۳- دانش آموخته دکتری، استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۱۹)

چکیده

این تحقیق، با هدف شناخت برخی مکانیزم‌های فیزیولوژیک مرتبط با ذخیره‌سازی در ارقام مختلف گندم، به صورت آزمایش اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه آزمایشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در شهر کرج، در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۴ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۲۲ رقم گندم به عنوان عامل اصلی و محلول پاشی جیبرلیک اسید در مرحله پیدایش گره دوم ساقه (GA₃) در دو سطح (صفر (شاهد) و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که محلول پاشی جیبرلیک اسید، سبب افزایش معنی دار وزن خشک و وزن مخصوص ساقه، سطح برگ، کلروفیل و همچنین عملکرد دانه در ارقام مختلف گندم در هر دو سال آزمایش شده است که از بین این صفات، وزن خشک ساقه، بیشترین تأثیرپذیری و افزایش را در شرایط محلول پاشی جیبرلیک اسید نشان داد. همچنین همبستگی مثبت و معنی داری بین وزن خشک ساقه با وزن مخصوص ساقه و انتقال مجدد در ارقام مختلف در شرایط محلول پاشی جیبرلیک اسید وجود داشت. ارقام شیرنگ و دز در شرایط محلول پاشی جیبرلیک اسید، بیشترین میزان صفات مرتبط با ذخیره‌سازی (وزن خشک و وزن مخصوص ساقه) را داشتند که به دلیل انتقال مجدد، بالا عملکرد دانه بالاتری را نیز دارا بودند. به طور کلی در این تحقیق، کاربرد خارجی جیبرلیک اسید سبب تقویت توان ذخیره‌سازی، قدرت منبع و عملکرد در ارقام مختلف گندم شد.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد ذخایر ساقه، سطح برگ، عملکرد دانه، قدرت منبع، کلروفیل برگ.

* Corresponding author E-mail: ahmadi@ut.ac.ir

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.)، مهم‌ترین محصول غذایی جهان از نظر سطح زیرکشت، ارزش تجاری و تغذیه انسانی است و در مقایسه با سایر محصولات، بیشترین نقش را در تأمین امنیت غذایی جهان داراست (Reynolds *et al.*, 2012). این گیاه در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی و مناطق جغرافیایی تولید می‌شود و به دلیل تطابق زیاد با شرایط آب-وهوایی مختلف، دامنه پراکندگی آن بیش از هر گیاه دیگری است (Emam, 2011). با این وجود، تولید گندم در بسیاری از مناطق دنیا، به دلیل شرایط نامطلوب محیطی، پایین‌تر از میزان متوسط تولید جهانی می‌باشد (El-maghreby *et al.*, 2005).

کشور ایران دارای آب و هوایی مدیترانه‌ای با متوسط نزولات جوی ۲۵۰ میلی‌متر در سال (حدود یک سوم متوسط جهانی)، جزو مناطق خشک و نیمه خشک دنیا به شمار می‌رود. علاوه بر این، ایران کشوری مستعد خشکسالی است که تنش خشکی و گرمای آخر فصل، از ویژگی‌های بارز این مناطق است و وقوع آن در این مرحله از طریق کاهش رشد برگ‌ها (Galle *et al.*, 2010)، غلظت کلروفیل، غلظت پروتئین‌های محلول برگ‌ها (Rodriguez *et al.*, 2003)، هدایت روزنه‌ای و در نهایت سرعت فتوسنتز (Yang & Zhang, 2006) و تسریع پیری برگ‌ها (Martinez *et al.*, 2003)، میزان تولید، زیست‌توده و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد که همه این عوامل به نوبه خود، سبب کاهش عملکرد گندم در کشور خواهد شد.

یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در عملکرد اقتصادی بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گندم، توانایی اندام‌های سبز گیاه در میزان تولید و صادرات مواد فتوسنتزی (قدرت منبع) به طرف دانه‌های در حال پرشدن (مخزن) می‌باشد. در غلات از جمله گندم در طی دوره‌ای از رشد، مخصوصاً دوره پیش از گلدهی و حدود دو تا سه هفته پس از آن (قبل از آغاز رشد خطی دانه) که شرایط برای فتوسنتز مساعدتر است، تولید مواد پرورده بیش از نیاز گیاه است؛ در این

حالت، مواد فتوسنتزی مازاد به صورت کربوهیدرات‌های محلول در آب (WSC) و غیرساختمانی در ساقه و غلاف برگ‌ها انباشته می‌شوند که عمدتاً به شکل ساکارز، هگزوزها و لیگوساکارید فروکتوز (فروکتان‌ها) هستند؛ این ذخایر در مراحل بعدی رشد به دانه‌ها انتقال می‌یابند (Schauer & Fernie, 2006)؛ (Ahmadi & Siosemarde, 2004). بنابراین ظرفیت ساقه برای ذخیره‌سازی این کربوهیدرات‌های مازاد، یک ویژگی ژنتیکی و کاربردی مهم است که میزان انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول از ساقه به دانه را تحت تأثیر قرار خواهد داد (Pask & Pietragalla, 2012). این ویژگی، در میزان مشارکت منابع کربوهیدراتی ذخیره‌ای جهت شکل‌گیری عملکرد دانه بسیار مهم و در ارقام مختلف متفاوت است (Ehdaie *et al.*, 2006).

یکی از راهکارهای بهبود ظرفیت ذخیره‌سازی، افزایش قدرت منبع است که به نوبه خود، متشکل از دو جزء فعالیت و اندازه منبع است که هر دو جزء نیز متأثر از عوامل بیرونی و درونی می‌باشند. از جمله عوامل درونی مؤثر بر قدرت منبع، هورمون‌ها می‌باشند و از جمله این هورمون‌ها، جیبرلین‌ها هستند. جیبرلین‌ها (GA) تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی هستند که در فرایند رشد و نمو گیاه مؤثرند و جوانه‌زنی بذر، توسعه برگ‌ها، طول شدن ساقه و گلدهی را کنترل می‌کنند (Magome *et al.*, 2004)، سبب تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی در گیاهان می‌شوند و متابولیسم منبع-مخزن را از طریق تأثیر آن روی فتوسنتز و شکل‌گیری مخزن تغییر می‌دهند (Igbal *et al.*, 2011). جیبرلیکاسید با تأثیر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاهان و افزایش پتانسیل عرضه مواد فتوسنتزی به دانه، سبب بهبود رشد دانه می‌شود (Ashraf *et al.*, 2000). افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی در نتیجه کاربرد جیبرلیکاسید نیز گزارش شده است (Brian *et al.*, 2006). در تحقیقات دیگری نشان داده شد که جیبرلین‌ها از طریق اثر مثبت روی فعالیت آنزیم فروکتوز یک و شش بیس فسفاتاز و سوکروز

درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا) انجام شد. میانگین سی ساله بارندگی این منطقه، حدود ۲۶۰ میلی‌متر است و خاک محل آزمایش، دارای بافت لومی - رسی بود. برخی اطلاعات اقلیمی دو سال زراعی در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش به صورت کرت‌های یک‌بار خردشده و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط آبیاری متداول (معادل ۷۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک کلاس A) به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام (۲۲ رقم، از متحمل تا حساس به خشکی، متعلق به چهار اقلیم مختلف ایران و با حداکثر تنوع ژنتیکی) در کرت‌های اصلی و محلول‌پاشی جیبرلیک اسید (GA₃) (با شناسه پاب کم ۵۲۲۶۳۶، متعلق به شرکت مرک آلمان) در دو سطح (صفر و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) در کرت‌های فرعی بودند.

زمین در نظر گرفته شده برای آزمایش، در سال قبل آیش بود. پس از انجام خاکورزی و مصرف کودهای پایه مورد نیاز، بذرها با قارچ کش کاربندازیم ضد عفونی شدند و عملیات کاشت با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع صورت گرفت. هر کرت فرعی شامل پنج خط چهار متری بود و بین هر دو کرت فرعی، نیم متر فاصله به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از نشت آب از هر کرت اصلی به کرت اصلی مجاور، فاصله دو متر بین کرت‌های اصلی و فاصله دو متر بین تکرارهای آزمایش در نظر گرفته شد و عملیات آبیاری به روش قطره‌ای انجام شد.

نحوه اعمال تیمار محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید به این صورت بود که در مرحله پیدایش گره دوم ساقه (مرحله ۳۲ زادوکس)، محلول پاشی با غلظت 100 mg/L^{-1} در دو روز متوالی و در ساعت معین (عصر) بر روی ۲۰ بوته علامتگذاری شده (روی برگ‌های بوته‌ها، به‌نحوی که سطوح برگ‌ها کاملاً محلول‌پاشی شود) انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، به ترتیب زیر عمل شد:

فسفات سینتاز، سنتز ساکارز را درون برگ تحریک می‌کنند و بارگیری آبکش را زیادتر می‌کنند (Khan *et al.*, 2007). علاوه بر این، جیبرلیک اسید با افزایش سطح برگ (اندازه منبع) در گیاهان، سبب افزایش قدرت منبع می‌شود. جلوگیری از بازدارندگی نوری و بهبود راندمان جذب عناصر غذایی نیز در اثر کاربرد جیبرلیک اسید در گیاهان گزارش شده است که بیانگر نقش مثبت جیبرلیک‌اسید بر افزایش قدرت منبع و در نتیجه افزایش توان ذخیره‌سازی گیاه می‌باشد (Brian *et al.*, 2006).

در تحقیقات دیگری نشان داده شده‌است که جیبرلیک‌اسید روی مورفولوژی گیاه تأثیر می‌گذارد (Chauhan, 2010) و سبب افزایش وزن خشک و شاخص سطح برگ در گیاه خردل (Khan *et al.*, 2007) و افزایش میزان فتوسنتز در برگ‌های گندم (Ashraf *et al.*, 2011) می‌شود. همچنین Shaddad *et al.* (2013) نشان دادند که کاربرد خارجی ۱۰۰ ppm جیبرلیک اسید، سبب بهبود خصوصیات رشدی، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد پروتئین در دو رقم گندم تحت تنش شوری شد.

با توجه به اهمیت کشت گندم در ایران و با در نظر گرفتن اقلیم کشور و تنش خشکی آخر فصل که از ویژگی‌های این اقلیم است، ارقامی مناسب‌ترند که قبل از گرده‌افشانی، رشد رویشی و ظرفیت فتوسنتزی مطلوبی دارند و مقدار بیشتری کربوهیدرات در ساقه‌های خود ذخیره می‌کنند و طی انتقال مجدد، به دانه انتقال می‌دهند تا عملکرد دانه با ثبات‌تری در این شرایط تولید نمایند. به همین منظور، این آزمایش با هدف تعیین مکانیزم‌های مرتبط با ذخیره‌سازی ساقه ارقام گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه آزمایشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج (طول جغرافیایی ۵۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵

اندازه‌گیری صفات مرتبط با ذخیره‌سازی ساقه

برای تعیین مقدار ذخیره‌سازی ساقه به روش وزنی، در زمان گرده‌افشانی و در هر کرت فرعی ۲۰ بوته حتی الامکان مشابه که در یک روز گرده‌افشانی نمودند، علامتگذاری شدند و به دو دسته ۱۰ تایی تقسیم شدند. ۱۰ بوته در مرحله حداکثری ذخایر ساقه (۱۴ تا ۱۷ روز بعد از گرده‌افشانی) به تفکیک ارقام، کفبر شدند و سپس برگ‌ها و غلاف برگ جدا شد و ساقه‌های اصلی جهت خشک کردن به آون (به مدت ۴۸ ساعت در ۸۰ درجه) منتقل شدند. سپس صفات مرتبط با ذخیره‌سازی آسیمیلات‌ها در ساقه شامل وزن خشک، طول و وزن مخصوص ساقه (حاصل

تقسیم وزن ساقه به طول ساقه) و انتقال مجدد تعیین شد. سپس در مرحله رسیدگی، ۱۰ بوته باقیمانده در هر کرت فرعی به تفکیک ارقام کف بر شدند و انتقال مجدد ذخایر ساقه از تفاوت حداکثر وزن خشک ساقه ۱۰ بوته اول که در ۱۴-۱۷ روز بعد از گرده‌افشانی برداشت شده بود، با وزن خشک ساقه ۱۰ بوته دوم که در مرحله رسیدگی برداشت شدند، محاسبه شد. برای اندازه‌گیری عملکرد در ۱۰ بوته باقیمانده در هر کرت فرعی در مرحله رسیدگی، پس از برداشت و پس از تعیین وزن ساقه، دانه‌ها جدا شدند و تعداد دانه و وزن دانه در سنبله به تفکیک ارقام اندازه‌گیری و عملکرد محاسبه شد.

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی محل اجرای آزمایش طی دو سال زراعی (۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۱۳۹۴-۱۳۹۵)

Table 1. Climatic information of the experimental site during two cropping years (2015-2016 and 2016-2017)

June	May	April	March	February	January	December	November	October	Year	
12	8.1	4.1	3.4	0	0	1.01	2.4	7	2015-2016	Average Evaporation (mm)
11	7.5	3.4	0	0	0	0	3.9	6.1	2016-2017	
7.5	2	47.3	17.8	8.7	15.6	28.6	77.4	3.5	2015-2016	Average Rainfall (mm)
0	13	75.5	19.9	50.4	44	7.4	3.7	0	2016-2017	
26.4	20.2	14	11.8	4.9	5.1	4.6	10.5	19.4	2015-2016	Average Air Temperature (C°)
24.2	19.9	12	7.6	1.9	4.4	3.2	13.1	18.2	2016-2017	

اندازه‌گیری صفات مرتبط با قدرت منبع

در این آزمایش، صفات مرتبط با قدرت منبع که شامل سطح برگ پرچم و برگ زیرین آن و نیز کلروفیل برگ پرچم و برگ زیرین آن بودند، اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ پرچم و زیرین در هر کرت فرعی، در مرحله حداکثر ذخایر ساقه (۱۴-۱۷ روز بعد از گرده‌افشانی)، همان ۱۰ بوته‌ای که برای اندازه‌گیری وزن خشک ساقه انتخاب شده بودند در نظر گرفته شدند و بعد از جداسازی برگ‌ها، مجموع سطح برگ پرچم و برگ پایین، با استفاده از دستگاه^۱ LAM مدل (MK2; Delta-T Devices, Cambridge) اندازه‌گیری و ثبت شد

همچنین کلروفیل برگ پرچم با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، در هر کرت فرعی در مرحله حداکثر ذخایر ساقه (۱۴-۱۷ روز بعد از گرده-

افشانی)، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شدند و محتوای کلروفیل برگ پرچم و برگ زیرین آن در حداقل چهار نقطه متفاوت، با دستگاه کلروفیل‌متر اندازه‌گیری شد و میانگین اعداد به‌عنوان معیاری از کلروفیل برگ در نظر گرفته شد.

در نهایت داده‌ها توسط نرم افزار SAS 9.4 به‌صورت تجزیه مرکب مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سه-گانه جیبرلیکاسید در سال در رقم و اثرات متقابل جیبرلیکاسید در رقم و سال در رقم و همچنین اثرات ساده رقم و جیبرلیکاسید بر عملکرد دانه ارقام گندم در سطح یک درصد معنی‌دار شده (جدول ۲).

1. Leaf Area Meter

جیبرلیکاسید داشتند، در حالی که ارقام آذر دو، شوش و آرتا، کمترین تغییرات عملکرد دانه را در واکنش به جیبرلیکاسید نشان دادند. در سال اول، ارقام پارسی، دز و شبرنگ، بیشترین و ارقام بم، آذر دو و پیشتاز کمترین میزان عملکرد دانه را در شرایط محلول پاشی جیبرلیکاسید داشتند، اما در سال دوم، ارقام مرودشت، شبرنگ و پارسی، بیشترین عملکرد دانه را در شرایط محلول پاشی جیبرلیکاسید داشتند و در همین سال، ارقام آذر دو، پیشتاز و زاگرس کمترین میزان عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳).

این نتایج بیانگر این است که اولاً واکنش ارقام از لحاظ عملکرد به جیبرلیکاسید متفاوت بود و ثانیاً این اثرات متقابل از سالی به سال دیگر تفاوت داشت. در بررسی اثرات سه گانه جیبرلیکاسید در سال در رقم در در سال اول، ارقام پیشتاز، پیشگام و مرودشت بیشترین پاسخ را به جیبرلیکاسید داشتند، در حالی که ارقام دز و زاگرس، کمترین پاسخ را به جیبرلیکاسید در سال اول آزمایش داشتند (جدول ۳)؛ اما در سال دوم نتایج متفاوت بود. در سال دوم، ارقام مرودشت، پیشگام و شیراز، بیشترین تغییرات عملکرد دانه را در پاسخ به

جدول ۲- میانگین مربعات صفات مرتبط با ذخیره سازی ساقه و قدرت منبع در گیاه گندم

Table 2. Mean square of traits related to stem reserves and source strength of wheat plant

Source of Variation(SOV)	Degrees of freedom	Seed Yield	Remobilization	Stem Dry Weight	Stem Length	Stem Special Weigh	Leaf Area	Leaf Chlorophyll
Year	1	1564.18 ^{ns}	0.0024 ^{ns}	0.086 ^{ns}	1225.93 ^{ns}	0.00000154 ^{ns}	3199.09 ^{ns}	61.82 ^{ns}
Error(Year)	4	257.92 ^{ns}	0.190 ^{**}	0.060 ^{ns}	660.65 [*]	0.0000035 ^{ns}	836.19 ^{**}	11.43 ^{ns}
Cultivar	21	291364.96 ^{**}	0.243 ^{**}	0.45 ^{**}	942.34 ^{**}	0.000051 ^{**}	871.12 ^{**}	106.96 ^{**}
Year× Cultivar	21	21028.45 ^{**}	0.070 ^{ns}	0.069 [*]	155.10 ^{ns}	0.0000054 ^{ns}	11.18 ^{ns}	24.17 ^{ns}
Year(Error× Cultivar)	84	1711.67 ^{ns}	0.037 ^{ns}	0.029 ^{ns}	311.33 ^{ns}	0.0000035 ^{ns}	146.89 ^{ns}	24.21 ^{**}
Gibberellic Acid	1	262987.71 ^{**}	0.363 ^{**}	6.093 ^{**}	51914.94 ^{**}	0.000034 ^{ns}	11315.78 ^{**}	2490.12 ^{**}
Year×Gibberellic Acid	1	567.88 ^{ns}	0.060 ^{ns}	0.000071 ^{ns}	3536.87 ^{**}	0.00004 ^{**}	2163.76 ^{**}	200.73 ^{**}
Gibberellic Acid× Cultivar	21	7812.70 ^{**}	0.104 ^{**}	0.094 ^{**}	338.26 ^{ns}	0.0000149 ^{**}	133.50 ^{ns}	15.32 ^{ns}
Year×Gibberellic Acid× Cultivar	21	4734.32 ^{**}	0.055 ^{ns}	0.032 ^{ns}	178.75 ^{ns}	0.0000051 ^{ns}	10.39 ^{ns}	4.005 ^{ns}
Error	88	2001.4	0.048	0.037	251.49	0.0000046	146.61	14.48
CV(%)		8.75	43.36	16.10	15.67	17.86	17.49	7.63

ns, * and **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

عملکرد دانه شد (ارقام پارسی، دز، زاگرس، مهرگان، هامون و دنا)، همان گونه که در مطالعه Yang *et al.* (2013) بر روی دو رقم گندم، کاربرد جیبرلیکاسید، سبب افزایش پنج درصدی عملکرد دانه شد. همچنین محققین دیگر گزارش کردند که کاربرد تیمار جیبرلیکاسید در گندم، منجر به افزایش عملکرد دانه تحت تنش شوری شد (Iqbal & Ashraf, 2010). ارقامی که پاسخ مثبت به کاربرد جیبرلیکاسید دادند، احتمالاً با محدودیت جیبرلیکاسید مواجه هستند یا به سطوح بالاتری از جیبرلیکاسید نسبت به بقیه ارقام پاسخ می دهند. همچنین جیبرلیکاسید با بهبود فتوسنتز سنبله از طریق افزایش سنتز آنزیم ساکارز فسفات سنتاز می تواند سبب افزایش عملکرد شود (Yang *et al.*, 2013)، اما برخی ارقام مانند شوش، شیراز، زارع، زاگرس، آذر دو، شبرنگ و رسول،

با توجه به نتایج جدول ۳ می توان دریافت که میانگین عملکرد در سال زراعی دوم، بالاتر از سال اول بود، که این امر بیانگر تأثیر پذیری پتانسیل عملکرد ارقام از شرایط محیطی است، چراکه شرایط اقلیمی در دو سال آزمایش متفاوت بود. میانگین دمای هوا در سال دوم نسبت به سال اول در طول دوره رشد رویشی پایین تر بود و این امر سبب شد که طول مراحل فنولوژیکی و به خصوص پنجه زنی ارقام بیشتر باشد که به نوبه خود با افزایش تعداد پنجه بارور و سنبله در واحد سطح (نتایج نشان داده نشده)، سبب افزایش عملکرد در این سال نسبت به سال اول شد. در هر دو سال، ارقام پارسی و شبرنگ، بیشترین و رقم پیشتاز، کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). همان طور که در جدول ۳ مشخص شده است، در بیشتر ارقام، محلول پاشی جیبرلیکاسید، سبب افزایش معنی دار

در صفات وزن خشک و وزن مخصوص ساقه و همچنین انتقال مجدد دیده شد (جدول ۴) و همچنین از بین این صفات، وزن خشک ساقه، بیشترین میزان همبستگی با عملکرد را داشت، اما ممکن است این اصل در همه ارقام صادق نباشد و در برخی ارقام، به دلایلی مانند محدودیت مخزن، ارتباطی بین صفات فوق وجود نداشته باشد.

تأثیر پذیری مثبتی از محلول پاشی جیبرلیک اسید نداشتند (جدول ۳). در همین راستا، Ashraf *et al.* (2000) نیز در گزارش خود نشان دادند که اسپری کردن جیبرلیک اسید در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بر روی برگ‌های گیاهچه‌های تحت تنش شوری گندم، تغییرات معنی داری در عملکرد دانه ایجاد نکرده است. بیشترین همبستگی با عملکرد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سه گانه جیبرلیک اسید در سال در رقم بر صفت عملکرد دانه (گرم در متر مربع) در گیاه گندم
Table 3. Mean Comparison of the interaction effects of Gibberellic acid × year × cultivar on yield of wheat plant

Cultivar	First Year			Second Year		
	Control	Gibberellic acid	Alteration	Control	Gibberellic acid	Alteration
Parsi	792.66 b-e	843.28 a-c	6	757.56 d-g	832.44 a-d	10
Dez	768.7 c-f	793.28 b-e	3	705.44 f-h	757.72 d-g	7
Shabrang	737.62 e-g	883.28 a	19	809.11 a-e	859.47 ab	6
Moghan3	610.43 j-n	649.95 j-i	6	533.78 n-s	627.83 j-k	17
Hamon	587.28 j-o	627.6 j-k	7	571.44 j-q	621.22 j-m	8.0
Zare	572.66 j-q	676.71 g-i	18	586.22 j-o	746.78 e-g	27
Chamran	565.33 j-q	693.79 f-i	22	512.56 o-u	638 j-i	24
Arta	537.68 l-s	573.28 j-q	6	589.89 j-o	624.44 j-l	6
Dena	513 0-t	573.34 j-q	11	451.44 s-A	527.71 n-t	17
Shosh	452.62 s-A	496.62 p-v	9	578.44 j-p	415.11 w-E	-28
Karim	441.95 t-A	491.98 p-v	11	378.22 y-H	459.22 s-z	21
Baharan	413.57 w_E	488.62 q-w	18	391.56 x-H	449.44 s-B	15
Akbari	412.8 x-E	437.73 u-A	6	363.33 A-I	470.44 r-x	29
Pishgam	407.41 w-F	511.8 o-t	25	408.22 w-F	547.11 k-r	34
Rasol	401 w-G	439.62 t-B	9	364 A-I	430.36 u-C	18
Marvdasht	392.47 x-G	485.59 q-w	23	637.22 j-i	877.83 a	37
Mehrgan	383.66 x-H	426.28 w-D	11	317.56 J-L	370.87 z-I	16
Shiraz	331.84 E-L	364.02 A-I	9	267.22 KL	347.67 C-K	30
Zagros	321.07 F-L	338 D-L	5	276.56 J-L	323.11 F-L	16
Pishtaz	302.33 H-L	393.51 x-G	30	256.89 L	319.5 F-L	24
Azar 2	289.55 I-L	334.65 E-L	15	450.75 s-A	313.17 J-L	-30
Bam	289.23 I-L	326.11 E-L	12	360 B-I	461.22 r-y	28

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند (حروف مخفف درج شده اند، به عنوان مثال (n-q=nopq)).

Means with the same letter in the same column are not significantly different at 5% level based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq)

جدول ۴- همبستگی صفات مورد مطالعه در آزمایش

Table 4. Correlation among studied trait in the experiment

Variables	Leave area	Leaf chlorophyll	Stem dry matter	Stem length	Special dry weight	Remobilization	Seed yield
Leave area	1						
Chlorophyll	0.578	1					
Stem dry matter	0.484	0.391	1				
Stem length	0.481	0.478	0.489	1			
Special dry weight	0.118	-0.005	0.630	-0.338	1		
Remobilization	0.266	0.168	0.767	0.120	0.706	1	
Seed yield	0.199	0.329	0.438	0.039	0.434	0.318	1

میانگین‌هایی که پررنگ تر هستند، در سطح احتمال پنج درصد معنی دار می‌باشند.

Bold means are significance at 5% of probability level.

محاسبه شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل جیبرلیک اسید در رقم و اثرات ساده جیبرلیک اسید و رقم برای انتقال مجدد در سطح یک

انتقال مجدد

در این تحقیق، انتقال مجدد بر اساس تغییرات وزن خشک ساقه در دو مرحله گرده افشانی و رسیدگی

وزن خشک ساقه و وزن مخصوص ساقه، همبستگی مثبت و معنی داری در سطح یک درصد وجود داشت (جدول ۴). چنین رابطه ای توسط Ehdai *et al.* (2006) و Blum (1998) نیز گزارش شده است. گرچه به دلیل وجود ارتباط تنگاتنگ بین قدرت منبع و قدرت مخزن و شرایط محیطی نمی توان به طور قطعی گفت که ارقام دارای ذخیره سازی بالا، انتقال مجدد بالایی نیز داشته باشند، اما در بررسی رابطه بین انتقال مجدد و عملکرد، محققان دیگر نیز گزارش نموده اند که رابطه مشخص و ساده ای بین عملکرد با انتقال مجدد وجود ندارد (Dreccer *et al.*, 2009). در این تحقیق نیز ارقام شوش و آذر دو، با وجود داشتن انتقال مجدد بالا، عملکرد دانه بالایی نداشتند، در حالی که ارقام پیشتاز و چمران هم از نظر عملکرد دانه و هم از نظر انتقال مجدد، ارقام برتری بودند (جدول ۳ و ۵). این نتایج نشان می دهد که اصلاح برای انتقال مجدد، کار آسانی نیست و کلیه صفات فیزیولوژیکی و زراعی بایستی مورد توجه قرار گیرند.

درصد معنی دار بودند (جدول ۲). ارقام از نظر صفت انتقال مجدد، پاسخ های متفاوتی به محلول پاشی جیبرلیک اسید نشان دادند. ارقام چمران و مرودشت، بیشترین تأثیرپذیری را از محلول پاشی جیبرلیک اسید داشتند و در مقابل، ارقام پیشتاز و مغان سه، کمترین تأثیرپذیری را داشتند (جدول ۵). به طور کلی در ارقام چمران، مرودشت، پارسسی، اکبری، هامون و آرتا، محلول پاشی جیبرلیک اسید سبب افزایش انتقال مجدد شد. این احتمال وجود دارد که این ارقام با محدودیت منبع مواجه بودند، اما انتقال مجدد ارقامی مانند دز، دنا، مغان سه، پیشتاز و بم، تأثیرپذیری مثبتی از جیبرلیک اسید نداشت که می تواند به دلیل احتمالی وجود تنوع ژنتیکی از نظر توان ذخیره سازی یا به عبارت دیگر تسهیم متفاوت ساکارز در فرایندهای فیزیولوژیکی (کربوهیدراتهای ساختاری و غیر ساختاری) و تفاوت قدرت منبع و مخزن (از لحاظ اندازه و فعالیت آن) و محدودیت آن در ارقام مختلف گندم باشد.

با توجه به نتایج جدول همبستگی، بین انتقال مجدد و

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلیک اسید در رقم برای انتقال مجدد ذخایر ساقه در شرایط شاهد و محلول پاشی

جیبرلیک اسید

Table 5. Mean comparison of the interaction effect of Gibberellic acid×Cultivar on remobilization of stem storage in normal and of gibberellic acid spraying conditions

Cultivar	Control	Gibberellic acid	Alteration (Percentage)
Dez	913a.0	0.826a-c	-10
Rasol	650 a-i.0	0.757a-e	16
Shabrang	643a-j.0	0.727a-g	13
Dena	576b-l.0	0.483e-m	-16
Moghan3	565b-l.0	0.337j-n	-40
Pishgam	555b-l.0	0.686a-h	24
Karim	545b-m.0	0.624a-k	14
Pishtaz	508d-m.0	0.277l-n	-45
Shiraz	483e-m.0	0.487e-n	1
Akbari	470e-n.0	0.830ab	77
Baharan	466e-n.0	0.438g-n	-6
Mehregan	443f-n.0	0.307l-n	-31
Azar2	442f-n.0	0.487e-n	10
Parsi	422h-m.0	0.806a-d	91
Arta	390h-n.0	0.517d-m	33
Zare	380i-n.0	0.393h-n	3
Hamon	378h-n.0	0.587b-l	55
Zagros	354i-n.0	0.372h-n	5
Shosh	341i-m.0	0.490g-n	44
Marvdasht	317k-n.0	0.752a-f	137
Bam	277l-n.0	0.232nm	-16
Chamran	193n.0	0.527c-m	173

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند.

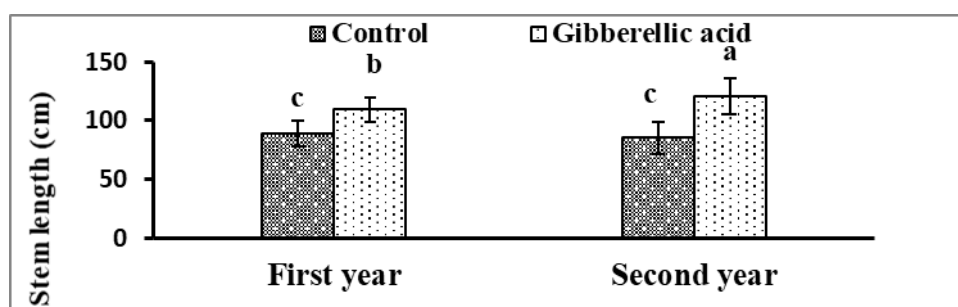
(حروف مخفف درج شده اند، به عنوان مثال (n-q=nopq).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq)

طول ساقه

طول ساقه، از معیارهایی است که به سهولت اندازه گیری می شود و می تواند بیانگر ظرفیت ذخیره سازی در گیاهان باشد (Blum, 1998)؛ به همین دلیل، طول ساقه در شرایط اعمال تیمار و شاهد، اندازه گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات متقابل سال در جیبرلیکاسید و اثر ساده رقم برای طول ساقه، در سطح یک درصد معنی دار بوده است (جدول ۲). طبق نتایج تجزیه واریانس، صفت طول کل ساقه، تحت تأثیر رقم قرار گرفت (جدول ۲). ارقام آذر دو، دنا و اکبری، به ترتیب با ۱۲۳/۶۰، ۱۱۴/۰۲ و ۱۱۰/۳۴ سانتیمتر، دارای بالاترین و ارقام هامون، آرتا و کریم، به ترتیب با ۸۵/۰۸، ۹۰/۴۲ و ۹۲/۸۴ سانتیمتر، دارای کمترین طول ساقه بودند (جدول ۶). در بررسی اثر متقابل سال در جیبرلیکاسید، نتایج نشان داد که اگرچه اثر متقابل معنی دار شد، ولی در هر دو سال آزمایش محلول پاشی جیبرلیک اسید سبب افزایش طول ساقه شد، اما این افزایش در سال دوم به دلایل شرایط اقلیمی (طولانی بودن دوره رشدی و فاصله زمانی بیشتر بین زمان اعمال تیمار و زمان نمونه برداری نسبت به سال اول) بیشتر بوده است

(شکل ۱). به طور کلی طول ساقه ارقام آذر دو و هامون در هر دو سال، به ترتیب بیشترین و کمترین اثرپذیری را از محلول پاشی جیبرلیکاسید نشان دادند. توانایی ساقه برای ذخیره سازی مواد پرورده، بستگی به طول و چگالی وزنی ساقه دارد. با افزایش طول و چگالی وزنی بخش های مختلف ساقه، میزان ذخایر آن ها نیز افزایش می یابد (Zhang *et al.*, 2014). Ashraf *et al.* (2000) نیز در تحقیقات خود گزارش نمودند که کاربرد جیبرلیکاسید در گیاه گندم، سبب افزایش میزان فتوسنتز در مرحله رشد رویشی گیاه شده است (هم در شرایط اعمال تنش شوری و هم بدون تنش)، که این افزایش فعالیت فتوسنتزی از طریق افزایش وزن خشک ساقه و ارتفاع گیاه در مرحله رشد رویشی اتفاق افتاد (Magome *et al.*, 2004). با توجه به داده های جدول همبستگی، بین طول ساقه با عملکرد و انتقال مجدد، همبستگی مثبت و معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). Shearman *et al.* (2005) نیز در گزارشی اشاره کردند که در گندم های جدید پاکوتاه انگلستان، مقدار ذخیره سازی و انتقال مجدد، بیشتر از گندم های پابلند قدیمی بود، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.



شکل ۱- اثر متقابل سال در محلول پاشی جیبرلیکاسید بر طول ساقه ارقام گندم

Figure 1. Interaction effect of year× gibberellic acid on wheat cultivar stem lengths.

وزن خشک ساقه

به طور کلی، وزن خشک ساقه از مناسب ترین معیارهای ذخیره سازی در ارقام مختلف و بیانگر کربن ذخیره شده در این بخش از اندام رویشی گیاه است که بالقوه می تواند بر اساس نیاز مخزن، طی انتقال مجدد در پر کردن دانه مؤثر باشد. نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثرات متقابل جیبرلیکاسید در

رقم و رقم در سال و همچنین اثرات ساده جیبرلیک اسید و رقم در سطح یک درصد معنی دار بوده است (جدول ۲). در بررسی اثر متقابل رقم در جیبرلیک-اسید، نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن خشک ساقه در شرایط محلول پاشی جیبرلیکاسید در ارقام شیرنگ، اکبری، رسول، دز و کمترین آن در ارقام پیشتاز، بم، شیراز و زاگرس بود. به طور کلی ارقام

پیش‌تاز، بم و دز، کمترین تأثیرپذیری را داشتند. با توجه به این‌که تجمع مواد فتوسنتزی و پتانسیل ذخیره‌سازی در ساقه، وابستگی زیادی به شرایط رشدی گیاه دارد، در شرایط مطلوب رشدی (از نظر دما، رطوبت و مواد معدنی)، مقدار فتوسنتز گیاه بالا است و بخشی از آن ذخیره می‌شود. Joudi (2009) اظهار داشت که شرایط رشدی گیاه قبل از گرده افشانی، بر تجمع ذخایر میانگه‌ها و ظرفیت ذخیره‌سازی ساقه مؤثر است. در این تحقیق نیز زمان اعمال تیمار محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید در مرحله‌ی ظهور گره دوم ساقه بود که تأثیر مثبتی بر افزایش وزن خشک ساقه در ارقام مختلف داشت.

اما در بررسی اثرات متقابل رقم در سال، ارقام دز، رسول، شبرنگ و اکبری در سال اول بیشترین و ارقام بم، شیراز، چمران و زاگرس، کمترین میزان وزن خشک را داشتند. اما در سال دوم، واکنش ارقام متفاوت بود؛ ارقامی مانند مرودشت، مهرگان و پیش‌تاز در سال اول، وزن خشک بیشتری نسبت به سال دوم

شبرنگ، رسول و دز، بیشترین وزن خشک ساقه را در هر دو شرایط (شاهد و محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید) داشتند که بیانگر پتانسیل بالای ذخیره‌سازی این ارقام بود و همچنین ارقام شیراز و پیش‌تاز، کمترین وزن خشک ساقه را دارا بودند (جدول ۷). همان‌طور که در جدول ۷ آمده است، محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید، سبب افزایش وزن خشک ساقه در ارقام مختلف شد که این افزایش بسته به نوع رقم متفاوت بود. تحقیقات دیگر نیز نشان داده‌اند که کاربرد جیبرلیک‌اسید، سبب افزایش وزن خشک و شاخص سطح برگ در گیاه خردل شده است (Khan *et al.*, 1998).

همچنین در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که کاربرد جیبرلیک‌اسید، سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک برگ و ساقه و ارتفاع گیاه در گندم شده‌است (Ashraf *et al.*, 2000) که با نتایج بدست آمده در این تحقیق مطابقت داشت. طبق نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷)، ارقام چمران، بهاران، مرودشت و پارسی، بیشترین تأثیرپذیری را از محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید (افزایش وزن خشک ساقه) و ارقام

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر رقم بر طول ساقه گیاه گندم

Table 6. mean comparison of cultivar effect on stem length of wheat plant

Cultivars	Means	Rating
Azar2	123.60 a	1
Dena	114.02ab	2
Akbari	110.34a-c	3
Zare	109.66a-c	4
Shosh	108.28a-c	5
Rasol	106.29b-d	6
Mehregan	105.65b-d	7
Pishtaz	103.01b-d	8
Zagros	102.65b-d	9
Dez	102.4b-d	10
Bam	101.55b-e	11
Marvdasht	100.90b-e	12
Shabrang	99.86 b-e	13
Moghan3	99.52b-e	14
Chamran	94.71c-e	15
Shiraz	94.00c-e	16
Parsi	93.82d-e	17
Pishgam	93.36d-e	18
Baharan	93.17c-e	19
Karim	92.84c-e	20
Arta	90.42d-e	21
Hamon	85.08e	22

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به‌عنوان مثال (n-q=nopq)).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq)

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در جیبرلیک اسید بر صفت وزن خشک ساقه (گرم) در گیاه گندم
Table 7. Mean comparison of the interaction effect of cultivar×gibberellic acid on stem dry weight of wheat plant

Cultivar	Control	Gibberellic acid	Alteration (%)
Dez	1.47b-e	1.67ab	14
Rasol	1.38c-f	1.67ab	21
Dena	1.22e-k	1.40c-f	15
Shabrang	1.19f-m	1.78f-a	50
Akbari	1.16f-m	1.76a	52
Moghan3	1.15j-k	1.27e-j	10
Pishgam	1.1j-k	1.34d-g	22
Karim	1.094h-k	1.29d-h	18
Hamon	1.058h-o	1.40c-f	33
Arta	1.05h-o	1.32 d-h	26
Mehregan	1.03j-k	1.19f-m	16
Azar2	1.02j-o	1.31d-h	28
Zare	1.015j-n	1.26e-j	25
Parsi	0.96l-o	1.58a-c	65
Zagros	0.94m-o	1.15f-m	22
Shosh	0.93m-o	1.23e-k	32
Marvdasht	0.93m-o	1.55a-d	67
Bam	0.92m-o	0.99l-o	8
Baharan	0.92m-o	0.25e-k	36
Pishtaz	0.85n-p	0.86n-p	1
Shiraz	0.82op	1.1j-n	34
Chamran	0.65p	0.15f-m	77

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به عنوان مثال (n-q=nopq).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq).

همچنین جیبرلیک اسید، یکی از سیگنال های مهم در تنظیم فعالیت ساکارز فسفات سینتاز (SPS) است که نقش ضروری در تنظیم و شکل گیری ساکارز فتوسنتزی دارد و از طریق اثر مثبت روی فروکتوز یک و شش بیس فسفات و ساکارز فسفاتاز سینتاز، سنتز ساکارز درون برگ را تحریک و بارگیری آوند آبکش را زیـــــــاد مـــــــی کنـــــــد (Khan *et al.*, 2007; Iqbal *et al.*, 2011).

کاربرد جیبرلیک اسید در این تحقیق، سبب افزایش وزن خشک ساقه و توان ذخیره سازی شد. با توجه به منابع گفته شده، کاربرد جیبرلیک اسید، سبب افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سینتاز (SPS) می شود و افزایش ساکارز فتوسنتزی را به دنبال خواهد داشت. ساکارز بسته به شرایط، وارد مسیرهای مختلفی از جمله سلول های مخزن، ورود به واکوئل و سنتز فروکتان (Chalmers *et al.*, 2005) و سنتز پلی ساکاریدهای دیواره سلولی از جمله سلولز و همی سلولز (Xue *et al.*, 2008) می شود. سنتز فروکتان ها در گیاهان نیز با ساکارز تنظیم می شود و مشاهدات مختلفی نشان داده اند که کاربرد خارجی ساکارز، سبب

داشتند و ارقام پیشگام، کریم، آزدو و زارع، در سال دوم وزن خشک ساقه بالاتری داشتند (جدول ۸). همچنین در تحقیقات دیگری نیز مشخص شد که با کاربرد خارجی جیبرلیک اسید در مرحله گرده افشانی، محتوی درونی این هورمون نیز افزایش یافت و رابطه مثبتی بین افزایش وزن خشک ساقه با محتوی جیبرلیک اسید درونی گیاه گندم مشاهده شد، به طوری که میزان این هورمون تا ۱۴ روز پس از گرده افشانی (حداکثر وزن خشک ساقه) افزایش داشت و پس از آن کاهش یافت (Yang *et al.*, 2013). در این تحقیق نیز زمان نمونه برداری برای صفات مختلف، ۱۴-۱۷ روز بعد از گرده افشانی بود و در نهایت محلول پاشی جیبرلیک اسید، سبب افزایش وزن خشک ساقه در ارقام مختلف شد که با نتایج محققین دیگر مطابقت داشت.

کاربرد جیبرلیک اسید، سبب تحریک فعالیت آنزیم روبیسیکو (ریپولوز یک و پنج بیس فسفات کربوکسیلاز) (تحریک سنتز پروتئین روبیسیکو در مرحله ترجمه) و افزایش فتوسنتز در گیاهان می شود (Yuan & xu, 2001; Ashraf *et al.*, 2002).

(Xue *et al.*, 2008; Valluru *et al.*, 2011) با توجه به جدول همبستگی، بین وزن خشک ساقه و انتقال مجدد و عملکرد ارقام، همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشته است (جدول ۴). با این حال، بالا بودن وزن خشک ساقه‌ها، الزاماً به معنی بالا بودن توان ذخیره‌سازی در آن‌ها نیست، زیرا این احتمال وجود دارد که بالا بودن وزن خشک، ناشی از وفور کربوهیدرات‌های ساختاری غیر قابل انتقال (همانند سلولز و همی‌سلولز) در ساختار ساقه باشد (Xue *et al.*, 2008).

افزایش بیان ژن‌های درگیر در سنتز فروکتان‌ها (فروکتوزیل ترانسفرازها در ساقه و برگ‌های تحریک-شده با ساکارز) می‌شود که افزایش تولید ساکارز، پیش‌ماده لازم برای فعالیت فروکتوزیل ترانسفرازها را فراهم خواهد آورد. مشاهدات نشان داده است که بین غلظت کربوهیدرات‌های محلول ساقه و فعالیت فروکتوزیل ترانسفرازها، ارتباط مستقیمی وجود دارد و میزان وزن خشک ساقه به تنهایی و بدون در نظر گرفتن نسبت کربوهیدرات‌های محلول نمی‌تواند بیانگر این رابطه باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم در سال بر صفت وزن خشک ساقه (گرم) در گیاه گندم

Table 8- Mean comparison of the interaction effect of cultivar×year on stem dry weight of wheat plant

Cultivar	First year		Second year	
	cultivar*year	Rating	cultivar*year	Rating
Dez	49a-d.1	1	65a.1	1
Rasol	46a-e.1	2	59ab.1	2
Shabrang	43a-f.1	3	53a-c.1	3
Akbari	39b-g.1	4	53a-c.1	4
Marvdasht	31c-h.1	5	17g-k.1	14
Dena	30c-h.1	6	31c-h.1	5
Parsi	23e-i.1	7	31c-h.1	6
Hamon	22 e-i.1	8	23 e-i.1	10
Moghan3	16g-k.1	9	26e-i.1	8
pishgam	15g-k.1	10	28d-h.1	7
Arta	15g-k.1	11	23e-i.1	11
Karim	14h-k.1	12	24e-f.1	9
Mehregan	13h-k.1	13	08h-k.1	18
Pishtaz	13h-k.1	14	59m.0	22
Azar 2	12 h-k.1	15	21f-j.1	12
Zare	1h-k.1	16	17g-k.1	13
shosh	07h-k.1	17	09h-k.1	17
baharan	02 i-k.1	18	15 g-k.1	15
Zagros	96lk.0	19	13h-k.1	16
Chamran	95lk.0	20	0.84l	21
Shiraz	94lk.0	21	0.97 jk	20
bam	93lk.0	22	98jk.0	19

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به‌عنوان مثال (n-q=nopq)).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq).

نشان داد که اثرات متقابل جیبرلیکاسید در رقم، سال در جیبرلیکاسید و اثر ساده رقم برای وزن مخصوص ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در بررسی اثرات متقابل جیبرلیکاسید در رقم، نتایج نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی جیبرلیکاسید بر وزن مخصوص ساقه در ارقام مختلف متفاوت بود؛ ارقام

وزن مخصوص ساقه

وزن مخصوص ساقه یا چگالی وزنی ساقه، از نسبت وزن خشک ساقه به واحد طول ساقه به‌دست می‌آید که معیار دیگری از توانایی ذخیره‌سازی ساقه محسوب می‌شود و بیانگر میزان ذخیره‌سازی ساقه در واحد طولی است (Blum, 1998). نتایج تجزیه واریانس

دادند، شرایط برعکس بود؛ این ارقام، بیشترین تأثیرپذیری از محلول پاشی جیبرلیک اسید را بر طول ساقه داشتند و وزن خشک آن‌ها، تأثیرپذیری قابل توجهی نداشتند. در همین راستا، محققینی اظهار داشتند که برای دستیابی به وزن مخصوص بالاتر، گزینش ژنوتیپ‌هایی با وزن ساقه بیشتر در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی با ساقه کوتاهتر، کارآمدتر است (Ehdaie *et al.*, 2006).

مرودشت، شبرنگ و اکبری بیشترین تأثیرپذیری و ارقام مغان سه، پیشتاز و مهرگان، کمترین تأثیرپذیری را از محلول پاشی جیبرلیک اسید برای این صفت داشتند (جدول ۹). در این ارقام، وزن خشک ساقه نیز در اثر محلول پاشی جیبرلیک اسید افزایش معنی‌داری داشت و طول ساقه به این میزان تأثیرپذیری و افزایش نداشت. از آن‌جا که وزن مخصوص ساقه، نسبت وزن خشک ساقه به طول ساقه است، این ارقام بیشترین وزن مخصوص را به خود اختصاص دادند. اما در مورد ارقامی که کمترین وزن مخصوص را به خود اختصاص

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلیک اسید در رقم بر وزن مخصوص ساقه (گرم بر سانتیمتر) در ارقام گندم
Table 9. Mean Comparison of the interaction effect of gibberellic acid × cultivar on special dry weight of wheat cultivars

Cultivar	Normal	Gibberellic Acid	Alterations (Percentage)
Dez	0172 a.0	0141b-h.0	-18
Moghan3	0154a-c.0	0107i-l.0	-31
Pishgam	0148a-e.0	0125c-h.0	-16
Rasol	0147a-e.0	0143a-g.0	-3
Hamon	0144a-g.0	0151a-d.0	5
Arta	0142a-g.0	0126d-h.0	-11
Karim	0139b-h.0	0125c-h.0	-10
Shabrang	0130d-h.0	0168ab.0	29
Parsi	0126d-h.0	0142b-h.0	13
Baharan	0123d-k.0	0115f-l.0	-7
Mehregan	0122d-k.0	0094k-m.0	-23
Dena	0118e-k.0	0114g-l.0	-3
Akbari	0118e-k.0	0144a-g.0	22
Zare	0108i-l.0	010i-m.0	-7
Shiraz	0106i-l.0	0101i-m.0	-5
Marvdasht	0104i-l.0	0145a-f.0	39
Zagros	01i-m.0	0105i-l.0	5
Bam	0099i-k.0	0093k-m.0	-6
Pishtaz	0098j-m.0	00719m.0	-27
Shosh	0093k-m.0	0112h-l.0	20
Chamran	0091l-m.0	0099j-m.0	9
Azar2	0091m.0	01i-m.0	11

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به‌عنوان مثال (n-q=nopq)).

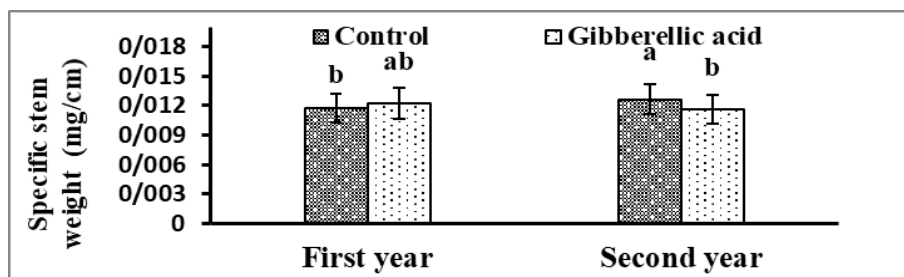
Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq).

اختصاص دادند. با این‌که این اثر متقابل معنی‌دار بود، رتبه ارقام در شرایط محلول پاشی جیبرلیک اسید تقریباً در هر دو سال برای این صفت مشابه بود. به‌طور کلی، میزان تأثیر مثبت محلول پاشی جیبرلیک-اسید بر این صفت در سال اول بیشتر از سال دوم بود (شکل ۲). از آنجا که در سال دوم آزمایش، به دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد رویشی، افزایش در طول ساقه بیشتر از وزن خشک ساقه بود و از آن‌جا که وزن مخصوص، نسبت بین این دو صفت است، دستخوش

در بررسی اثر متقابل سال در جیبرلیک اسید بر وزن مخصوص ساقه، واکنش ارقام در سال‌های مختلف متفاوت بود. ارقام دز، شبرنگ و هامون، به‌ترتیب بیشترین وزن مخصوص ساقه را در سال اول و ارقام آذر دو، بم و شیراز، کمترین وزن مخصوص ساقه را در همین سال به خود اختصاص دادند. اما در بررسی این اثر متقابل در سال دوم، ارقام دز، شبرنگ و رسول به‌ترتیب بیشترین و ارقام پیشتاز، چمران و بم، کمترین وزن مخصوص ساقه در سال دوم را به خود

جهت بهبود آن می‌تواند سبب بهبود توان ذخیره‌سازی شود، اما همبستگی مثبتی بین وزن مخصوص و طول ساقه وجود نداشت (جدول ۴). همچنین Ehdai *et al.* (2006) بر این باورند که تأثیر افزایش وزن خشک ساقه بر بهبود وزن مخصوص آن‌ها، بیشتر از تأثیر کاهش طول خواهد بود.

کاهش نسبت به سال اول آزمایش شد. در بررسی همبستگی این صفت با انتقال مجدد، طول و وزن خشک ساقه، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین وزن مخصوص ساقه و انتقال مجدد و وزن خشک ساقه در ارقام مشاهده شد. این همبستگی نشان می‌دهد که وزن مخصوص ساقه، ویژگی مهمی است که اصلاح در



شکل ۲- اثر متقابل سال در جیبرلیک‌اسید بر وزن مخصوص ساقه در ارقام گندم

Figure 2. Interaction effect of year×gibberellic acid on stem special weight of wheat cultivars

شدن دوره رویشی در سال دوم به دلیل شرایط آب و هوایی، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد، زیرا زمان بیشتری از اعمال تیمار تا تأثیرگذاری آن وجود داشت و گرده‌افشانی و به‌نوبه آن، نمونه برداری گیاهان با تعویق بیشتری نسبت به سال اول انجام شد. به‌طور کلی، محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید در هر دو سال آزمایشی، سبب افزایش سطح برگ در ارقام گندم شد که با نتایج محققین دیگر مطابقت داشت (Ashraf *et al.*, 2000; Shaddad *et al.*, 2013).

کلروفیل برگ
در این تحقیق، کلروفیل برگ پرچم و برگ زیرین آن به‌عنوان معیاری از فعالیت منبع، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال در جیبرلیک‌اسید و اثر ساده رقم و جیبرلیک‌اسید برای این صفت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

سطح برگ

از آن‌جا که سطح برگ، به‌خصوص برگ پرچم و برگ زیرین آن (به‌دلیل بیشترین نقش آن در فتوسنتز گندم)، یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده قدرت منبع می‌باشد، در ذخیره‌سازی ساقه می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. به همین منظور، مجموع سطح برگ پرچم و برگ زیرین آن، اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سال در جیبرلیک‌اسید و اثرات ساده جیبرلیک‌اسید و رقم بر سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بین ارقام مختلف از لحاظ سطح برگ، تنوع زیادی وجود داشت؛ بیشترین سطح برگ مربوط به ارقام پیشگام، دنا و اکبری به‌ترتیب به میزان ۸۴/۹۴، ۸۰/۵۸ و ۸۰/۲۲ سانتی مترمربع و کمترین میزان این صفت به ارقام مرودشت، زاگرس و مهرگان به‌ترتیب ۵۰/۹۱، ۵۶/۷۱ و ۶۲/۱۵ سانتیمترمربع تعلق داشت (جدول ۱۰)، اما در بررسی اثر متقابل سال در جیبرلیک‌اسید بر سطح برگ ساقه، نتایج در دو سال آزمایش متفاوت بود.

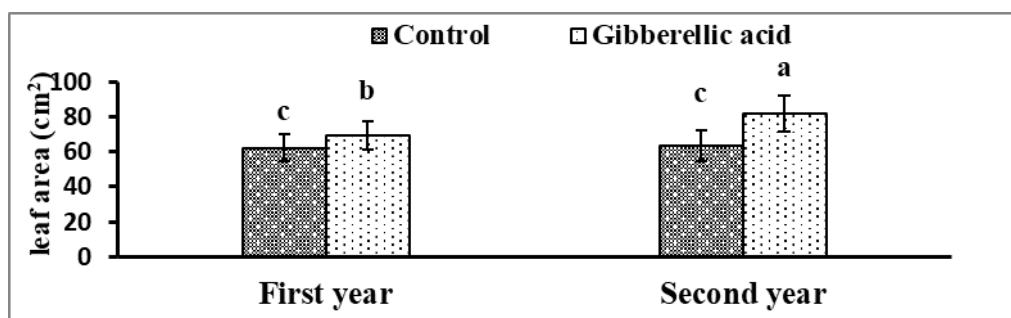
به‌طور کلی، محلول‌پاشی جیبرلیک‌اسید، سبب افزایش معنی‌داری در سطح برگ ارقام در هر دو سال آزمایشی شد. اما این افزایش در سال دوم بیشتر از سال اول آزمایش بود (شکل ۳)، که باتوجه به طولانی

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر صفت سطح برگ (سانتیمترمربع) در ارقام گندم
Table 10. Mean comparison of the cultivar simple effect on leaf area of wheat cultivar

Cultivar	Means	Rateing
Pishgam	94 a.84	1
Dena	58ab.80	2
Akbari	22ab.80	3
Parsi	25a-c.79	4
Shabrang	1a-d.76	5
Karim	08 a-d.76	6
Hamon	79a-e.74	7
Azar2	38b-f.72	8
Shiraz	3b-f.72	9
Shosh	25 b-f.72	10
Bam	33 c-f.68	11
Rasol	08d-g.68	12
Baharn	99c-f.67	13
Arta	02d-g.65	14
Moghan3	00d-g. 65	15
Chamran	91e-g.63	16
Dez	12 e-g.63	17
Zare	99fg.62	18
Mehregan	15fg.62	19
Pishtaz	85gh.59	20
Zagros	71 gh.56	21
Marvdasht	91 h.50	22

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به عنوان مثال (n-q=nopq).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq).



شکل ۳- اثر متقابل سال در جیبرلیک اسید بر سطح برگ در گیاه گندم
Figure 3. Interaction effect of year×gibberellic acid on leaf area of wheat plant

فتوسنتزی در شرایط مواجه گندم با تنش ها از جمله شوری (Ashraf *et al.*, 2000; Bahrani & Pourreza, 2012; Turkilmaz *et al.*, 2012; Shaddad *et al.*, 2013) و خشکی (Abbaspour *et al.*, 2014; Hasanuzzaman *et al.*, 2019) در تحقیقات مختلف گزارش شده است. همچنین، کاربرد خارجی جیبرلیک-اسید، سبب بهبود تحمل تنش (شوری، خشکی و غیره) از طریق افزایش ظرفیت فتوسنتزی (Ashraf *et al.*, 2000; Igbal & Ashraf, 2013) افزایش غلظت رنگیزه های فتوسنتزی (کلروفیل a و b و غیره) (Kaya *et al.*, 2006; Shah, 2006; Abbaspour *et al.*, 2012; Shaddad *et al.*, 2012; Turkilmaz,

بین ارقام مختلف از لحاظ میزان کلروفیل برگ، تفاوت معنی داری وجود داشت. ارقام شبرنگ، شوش و پیشگام بیشترین میزان کلروفیل و ارقام آذر دو، بهاران و مرودشت، کمترین میزان کلروفیل برگ را دارا بودند (جدول ۱۱). محققین دیگر نیز تنوع زیاد این صفت در ارقام مختلف گندم را گزارش نموده اند (Esmailpour, 2007). محلول پاشی جیبرلیک اسید در هر دو سال، سبب افزایش میزان کلروفیل برگ شد و میزان اثرگذاری آن در سال دوم بیشتر از سال اول بود (شکل ۴).

کاهش غلظت کلروفیل ها و سایر رنگیزه های

(Khan *et al.*, 2003) و آبسزیک اسید مرتبط باشد. در شرایط مواجهه با تنش، میزان اتلین و آبسزیک اسید افزایش می‌یابد که به نوبه خود، سبب تحریک آنزیم کلروفیلز و در نهایت کاهش محتوی کلروفیل می‌شود (Dreikewicz, 1994).

2012; 2014 Salehi, 2014; firuzeh *et al.*, 2018; (Soltani *et al.*, 2018) می‌شود. در بررسی منابع مختلف مشخص شد که کاهش محتوی کلروفیل‌ها در شرایط مواجهه با تنش در گیاهان می‌تواند ناشی از افزایش میزان فعالیت آنزیم کلروفیلز و سنتز پرولین (Kaya *et al.*, 2006) باشد و یا با کاهش سطح برگ در پاسخ به تنش و افزایش میزان اتلین

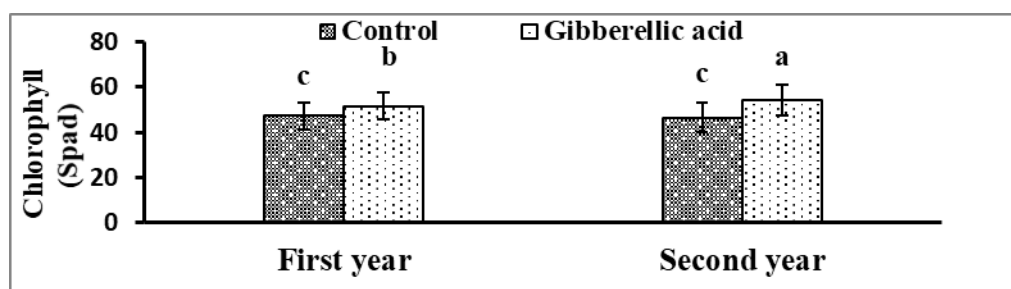
جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثر رقم بر کلروفیل برگ (واحد اسپد) در گیاه گندم

Table 11. Mean comparison of the cultivar effect on leave chlorophyll of wheat plant

Cultivar	Means	Rate
Shabrang	55.19 a	1
Shosh	54.83 a	2
Pishgam	54.35ab	3
Hamon	52.7 a-c	4
Dena	52.43a-d	5
Zare	51.48a-e	6
Chamran	51.36 a-e	7
Zagros	51.1a-e	8
Bam	50.9a-e	9
Karim	49.85b-e	10
Pishtaz	49.46c-e	11
Parsi	49.22c-e	12
Shiraz	49.09c-e	13
Dez	49.02c-e	14
Moghan3	48.48 c-f	15
Mehregan	48.45 c-f	16
Akbari	48.2c-e	17
Rasol	47.77d-f	18
Arta	47.77d-f	19
Marvdasht	46.87 ef	20
Baharan	44.15f	21
Azar2	44.12 f	22

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح پنج درصد، اختلاف معنی داری ندارند. (حروف مخفف درج شده اند، به عنوان مثال (n-q=nopq).

Means with the same letter in the column are not significantly different at 5% of probability level, based on duncan multiple tests (The letters are abbreviated, for example, n-q=nopq).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال در جیبرلیک اسید بر صفت کلروفیل ساقه (واحد اسپد) در ارقام گندم

Figure 4. Mean comparison of the interaction effect of year x gibberellic acid on stem chlorophyll of wheat cultivars

جیبرلیک اسید در این شرایط، با تحریک مسیر بیوسنتزی کلروفیل‌ها، سبب افزایش محتوی آن شده است (Firoze *et al.*, 2018) و همچنین با تأخیر در پیری برگ‌ها، محتوی کلروفیل‌ها را حفظ می‌کند

از دیگر دلایل کاهش کلروفیل در این شرایط می‌توان به فعال شدن مسیر کاتابولیسم کلروفیل و یا عدم سنتز کلروفیل اَشواره کرد (Sairam & Sivastava, 2002). کاربرد خارجی

نتیجه گیری کلی

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که محلول پاشی جیبرلیکاسید، سبب تقویت صفات مرتبط با منبع (سطح برگ و کلروفیل برگ) و به تبع آن، بهبود ذخیره سازی کربوهیدرات ها در ساقه شد. از بین صفات مورد بررسی، وزن خشک و وزن مخصوص ساقه، بیشترین همبستگی را با انتقال مجدد و همچنین عملکرد داشتند و وزن خشک ساقه، بیشترین تأثیر پذیری را از محلول پاشی جیبرلیکاسید داشت، به طوری که در هر دو سال آزمایش، محلول پاشی جیبرلیکاسید، سبب افزایش وزن خشک ساقه شد. محلول پاشی جیبرلیکاسید در برخی ارقام، سبب تقویت منبع و صفات مرتبط با آن (مانند شبرنگ و پارسی) و در برخی دیگر مانند شبرنگ، دز، پارسی و مرودشت، سبب تقویت توانایی ذخیره سازی و صفات مرتبط با آن و در نهایت عملکرد محصول شد. در برخی ارقام مانند اکبری و رسول نیز سبب تقویت توانایی ذخیره سازی ارقام شد، اما بدلیل نداشتن قابلیت انتقال مجدد، تأثیر بسزایی در عملکرد محصول نداشت. در مجموع رقم شبرنگ در شرایط محلول پاشی جیبرلیکاسید، به عنوان رقم برتر در ارتباط با صفات وزن خشک و وزن مخصوص ساقه، انتقال مجدد، سطح برگ، کلروفیل برگ و عملکرد معرفی می شود که در کلیه صفات ذکر شده، رتبه بالایی به خود اختصاص داده بود.

(Rosenwasser *et al.*, 2006). اما اطلاعات کمی در خصوص مکانیزم به تأخیر انداختن تجزیه کلروفیل ها توسط جیبرلیکاسید وجود دارد (Li *et al.*, 2010). برخی مشاهدات نشان می دهند که کاربرد خارجی جیبرلیکاسید، سبب افزایش این هورمون در درون گیاه شده است و روی آنزیم هایی که در تجزیه کلروفیل دخالت دارند، اثر بازدارندگی دارد (Chlase, Mg-Dechelation, Pod)؛ به عبارت دیگر، جیبرلیکاسید با اثر تنظیم کنندگی منفی روی فعالیت آنزیم های نامبرده، سبب بازدارندگی کاتابولیسم کلروفیل می شود (Li *et al.*, 2010). از طرف دیگر، کاربرد جیبرلیکاسید سبب کاهش بیوسنتز اتیلن و سبب تأخیر در پیری و تجزیه کلروفیل ها می شود (Igbal *et al.*, 2017). بررسی همبستگی در صفات مورد مطالعه نشان داد که همبستگی مثبت و معنی داری بین کلروفیل سطح برگ و وزن خشک و طول ساقه و عملکرد وجود داشت، اما بین این صفت و انتقال مجدد، همبستگی معنی داری وجود نداشت (جدول ۴)، زیرا انتقال مجدد، تحت کنترل عوامل ژنتیکی، (نوع رقم)، سرعت پیر شدن برگ ها، میزان ذخایر ساقه و غیره می باشد (Abdoli *et al.*, 2019). همچنین همبستگی بین عملکرد دانه، وزن خشک ساقه و کلروفیل برگ نشان می دهد که صفت کلروفیل برگ، یکی از مهم ترین فاکتورهای تعیین کننده سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک در ارقام می باشد.

REFERENCES

1. Abbaspour, H. & Rezaei, H. (2014). The effect of gibberellic acid on the reaction rate of Hill reaction, photosynthetic pigments and phenolic compounds in Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in different drought stress level. *Journal of Plant Research*, 27(5), 1038-1051
2. Abdoli, M., Esfandiari, E., Aliloo, A.A., Sadeghzadeh, B. & Mousavi, S.B. (2019). Study of genetic diversity in different wheat species with various genomes based on morphological characteristics and zinc use efficiency under two zinc-deficient growing conditions. *Acta Agriculturae Slovenica*, 13(1), 147-161.
3. Ahmadi, A. & Siosemarde, A. (2004). Effect of drought stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline in four wheat varieties compatible with different climatic conditions in Iran. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 35(3), 753-763. (In Persian)
4. Ashraf, M., Karim, F. & Rasul, E. (2000). Interactive effects of Gibberellic acid (GA₃) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Plant Growth Regul.*, 36, 49-59.
5. Ashraf, M., Karim, F. & Rasul, E. (2002). Interactive effects of gibberellic acid (GA₃) and salt stress on growth, ion accumulation and photosynthetic capacity of two spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Plant Growth Regul.*, 36, 49- 59.
6. Ashraf, M., Akram, N.K., Al-Qurainy, F. & Foolad, M.R. (2011). Drought tolerance: Roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy*, 111, 294-96.

7. Bahrani, A. & Pourreza, J. (2012). Gibberellic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition. *World Applied Sciences Journal*, 18 (5), 633-641.
8. Blake, N.K., Lanning, S.P., Martin, J.M. & Sherman, J.D., & Talber, L.E. (2007). Relationship of flag leaf characteristics to economically important traits in two spring wheat crosses. *Crop Science*, 47(2), 491-494.
9. Blum, A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserves mobilization. *Euphytica*, 100, 77-83.
10. Brian, P.W., Elson, G.W., Hemming, H.G. & Radley, M. (2006). The plant-growth-promoting properties of Gibberellic acid, a metabolic product of the fungus *Gibberella fujikuroi*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 5 (12), 602-612.
11. Chalmers, J., Lidgett, A., Cummings, N., Cao, Y., Forster, J. & Spangenberg, G. (2005). Molecular genetics of fructan metabolism in perennial ryegrass. *Plant Biotechnology Journal*, 3(5), 459-474.
12. Chauhan, J.S., Tomar, Y.K., Badoni, A., Singh, N.I., Ali, S. & Debarati, L. (2010). Morphology, germination and early seedling growth in *Phaseolus mungo* L. with reference to the influence of various plant growth substances. *The Journal of American Science*, 6, 34-41.
13. Draikewicz, M. (1994). Chlorophyllase occurrence functions, mechanism of action, effect of external and internal factors. *Photosynthetica*, 6(30), 321- 331.
14. Dreccer, M.F., van Herwaarden, A.F. & Chapman, S.C. (2009). Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. *Field Crops Research*, 112(1), 43-54.
15. Ehdai, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. & Waines, J.G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*, 46, 735-746.
16. El-Maghraby, M.A., Moussa, M.E., Hana, N.S. & Agrama, H.A. (2005). Combining ability under drought stress relative to SSR diversity in common wheat. *Euphytica*, 141, 301-308.
17. Emam, Y. (2011). *Cereal production*, 4th edition, Shiraz University Press, Iran. 194 p. (In Persian)
18. Esmaeilpour, M. (2007). *Response of two wheat cultivars to source size modification: interaction of cultivars and plant density under water stress and non-stress condition*. M. Sc. Thesis, College of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Persian)
19. Firuzeh, R., Khavari-Nejad R.A., Najafi, F. & saadatmand S. (2019). Effect of gibberellin on contents of photosynthetic pigments, proline, phenol and flavonoid in savory plants (*Satureja hertensis* L.) under salt stress. *Journal of Plant Research*, 31(4), 894- 908.
20. Galle, A., Florez-Sarasa, I., Thameur, A., Paepe, R., Flexas, J. & Ribas-Carbo, M. (2010). Effects of drought stress and subsequent rewatering on photosynthetic and respiratory pathways in *Nicotiana sylvestris* wild type and the mitochondrial complex I-deficient CMSII mutant. *Journal of Experimental Botany*, 61(3), 765-75.
21. Hasanuzzaman, M., Jubayer Almahmud, M., Biswas, P.K., Nahar, K. & Fugita, M. (2019). Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat. *Acta Agrobotanica*, 1-18.
22. Igbal, M. & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany*, 86, 76-85.
23. Igbal, N., Khan, N.A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A. & Khan, M.I.R. (2017). Ethylene role in plant growth development and senescence interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 8, Article 475. 19 pages.
24. Igbal, N., Nazar, R., Igbal, M., Khan, R., Masood, A. & Khan, N. (2011). Role of gibberellins in regulation of source- sink relation under optimal and limiting environmental conditions. *Current Science*, 100(7), 998-1007.
25. Joudi, M. (2009). *Study of storage capacity and remobilization of stored carbohydrates in Iranian wheat cultivars*. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, University of Tehran. (In Persian)
26. Kaya, C., Levent, T. & Alves, A. C. (2006). Gibberellic acid improves water deficit tolerance in maize plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 28(4), 331- 337.
27. Khan, N.A., Ansari, H.R. & Khan, S. (1998). Effect of gibberellic acid spray during ontogeny of mustard on growth, nutrient uptake and yield characteristics. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 181, 61-63.
28. Khan, N.A., Singh, S., Nazar, R. & Lone, P.M. (2007). The source- sink relationship in mustard. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science Biotechnology*, 1, 10-18.
29. Kiniry, J.R. (1993). Nonstructural carbohydrate utilization by wheat shaded during grain growth. *Agronomy Journal*, 85(4), 844-849.
30. Li, J.R., Yu, K., WEI, J.R., Ma, Q., Wang, B.Q. & Yu, D. (2010). Gibberellin retards chlorophyll degradation during senescence of *Paris polyphylla*. *Biologia Plantarum*, 54 (2), 395-399.

31. Magome, H., Yamaguchi, S., Hanada, A., Kamiya, Y. & Oda, K. (2004). Dwarf and delayed-flowering 1, a novel *Arabidopsis* mutant deficient in gibberellin biosynthesis because of overexpression of a putative AP₂ transcription factor. *Plant Journal*, 37, 720–729.
32. Martinez, D.E., Luquez, V.M., Bartoli, C.G. & Guiamet, J.J. (2003). Persistence of photosynthesis components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Physiology*, 119, 1-7.
33. Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan, D.M. & Reynolds, M.P. (2012). Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping. *Cimmyt*, 132 pages.
34. Rodriguez, D.J., Romero-Garcia, J., Rodriguez-Garcia, R. & Snchez, J.A.L. (2002). Characterization of protein from sunflower leaves and seeds: Relationship of biomass and seed yield, *Trends in New Crops and New Uses*, 1,143-149.
35. Rosenvasser, S., Mayak, S. & Friedman, H. (2006). Increase in reactive oxygen species (ROS) and in senescence associated gene transcript (SAG) levels during dark- induced senescence of *Pelargonium* cuttings, and the effect of gibberellic acid. *Plant Science*, 170, 873- 879.
36. Ruan, Y.L., Jin, Y., Yang, Y.J., Li, G.J. & Boyer, J.S. (2010). Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. *Molecular Plant*, 3(6), 942-955.
37. Sairam, R.K., Rao, V.K. & Sivastava, G.C. (2002). Differential response of wheat cultivar genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163, 1037-1048.
38. Salehi Sardoie, A. & Shahdadnejad, M. (2014). Effects of foliar application of gibberellic acid on chlorophyll and carotenoids marigold (*Calendula officinalis* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(6), 1887- 1893.
39. Schauer, N. & Fernie, A.R. (2006). Plant metabolomics: Towards biological function and mechanism. *Trends in Plant Science*, 11(10), 508-516.
40. Shaddad, M.A.K., Abd El-Samad, H.M.A. & Mostafa, D. (2013). Role of gibberellic acid (GA₃) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5(4), 50-57.
41. Shah, S.H. (2006). Effects of salt stress on Mustard as affected by gibberellic acid application. *General and Applied Plant Physiology*, 33 (1-2), 97-106.
42. Shearman, V.J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K. & Foulkes, M.J. (2005). Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, 45(1), 175-185.
43. Soltani, E., Khavari-Nejad R.A., Angagi, S.A. & Najafi, F. (2018). The interaction of salinity and gibberellic acid on photosynthetic pigments contents and some antioxidant enzymes activities in two varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Plant Process and Function*, 5(16), 179-188.
44. Turkylmaz, B. (2012). Effect of salicylic and gibberellic acids on wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Bangladesh Journal of Botany*, 41(1), 29- 34.
45. Valluru, R., Link, J. & Claupein, W. (2011). Natural variation and morphophysiological traits associated with water- soluble carbohydrate concentration in wheat under different nitrogen levels. *Field Crops Research*, 124, 104- 113.
46. Xue, G.P., McIntyre, C.L., Jenkins, C.L., Glassop, D., van Herwaarden, A.F. & Shorter, R. (2008). Molecular dissection of variation in carbohydrate metabolism related to water-soluble carbohydrate accumulation in stems of wheat. *Plant Physiology*, 146(2), 441-454.
47. Yang, D., Luo, Y., Ni, Y., Yin, Y., Yang, W., Peng, D. & Wang, Z. (2014). Effects of exogenous ABA application on post-anthesis dry matter redistribution and grain starch accumulation of winter wheat with different stay green characteristics. *The Crop Journal*, 2(2-3), 144-153.
48. Yang, J. & Zhang, J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, 169, 223-236.
49. Yang, W., Cai, T., Ni, Y., Yong, Li., Junxiang, G., Dianliang, P., Dongqing, Y., Yanping, Y. & Zhenlin, W. (2013). Effects of exogenous abscisic acid and gibberellic acid on filling process and nitrogen metabolism characteristics in wheat grains. *Australian Journal of Crop Science*, 7(7), 58- 65.
50. Yuan, L. & Xu, D.Q. (2001). Stimulation effect of gibberellic acid short-term treatment on the photosynthesis related to increase in rubisco content in broad bean and soybean. *Photosynthesis Research*, 68, 39- 47.
51. Zhang, Y.H., Sun, N.N., Hong, J.P., Zhang, Q., Wang, C., Xue, Q. W. & Wang, Z. M. (2014). Effect of source-sink manipulation on photosynthetic characteristics of flag leaf and the remobilization of dry mass and nitrogen in vegetative organs of wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(8), 1680-1690.