نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۳۵-۱۲۴

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 124-135

بهبود رشد و عملکرد گندم با استفاده از کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در شرایط تنش رطوبتی

ندا وهبی[۱]- یحیی امام[۲*]- هادی پیرسته انوشه[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

چکیده

هرچند تاثیر مفید کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در شرایط تنش خشکی به‌طورکلی پذیرفته شده است، لیکن، انجام پژوهش‌های کاربردی با هدف مقایسه انواع تنظیم‌کننده‌ها برای بهینه کردن مصرف آن‌ها ضرورت دارد. به‌منظور بررسی اثر سه تنظیم‌کننده رشد کلرمکوات‌کلراید، سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم روشن تحت شرایط متفاوت تنش رطوبتی (دامنه‌ای از شدت‌های ملایم تا شدید خشکی) پژوهشی در دو شرایط کنترل‌شده و مزرعه در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. آزمایش‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به ترتیب به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و آزمایش کرت‌های یک بار خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش رطوبتی و افزایش شدت آن سطح برگ پرچم، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را کاهش داد، لیکن کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد سبب بهبود همه اجزای عملکرد دانه و در نهایت افزایش عملکرد دانه گردید. با این وجود، تاثیر کلرمکوات‌کلراید از سالیسیلیک‌اسید و جاسمونیک‌اسید بیشتر بود، به‌طوری‌که محلول‌پاشی این سه تنظیم‌کننده با افزایش عملکرد دانه به ترتیب به‌مقدار ۲۰/۷، ۱۳/۸ و ۷/۲۴ درصد در آزمایش گلخانه‌ای و به مقدار ۱۸/۳، ۱۲/۲ و ۸/۱ درصد در آزمایش مزرعه‌ای همراه بود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که گرچه تنش رطوبتی عملکرد دانه گندم را کاهش داد، لیکن تنظیم کننده‌های رشد توانستند بخشی از این افت عملکرد را جبران کنند. به‌علاوه، محلول پاشی کلرمکوات‌کلراید قابلیت بررسی بیشتری را به عنوان رهیافتی برای افزایش تولید در شرایط محدودیت رطوبت داراست.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عملکرد دانه، کندکننده رشد

مقدمه

گیاهان زراعی اغلب در دوره‌ای از زندگی خود با کمبود آب مواجه می‌شوند. کمبود آب در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد و پیش‌بینی می‌شود که با تغییرات سریع در اقلیم جهانی، خشکی در مناطق نیمه‌خشک و معتدل افزایش یابد. پاسخ گیاهان زراعی به تنش خشکی شامل سازوکارهای پیچیده‌ای است که تغییرات مولکولی، متابولیسمی، فیزیولوژیک، مورفولوژیک و فنولوژیک را در برمی‌گیرد (Hopkins and Huner, 2004). تنش خشکی با تسریع مراحل نموی و کوتاه کردن طول دوره پرشدن دانه باعث کاهش تعداد و وزن تک دانه شده که در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Gooding *et al*., 2003).

پرهزینه بودن کارهای اصلاحی، وجود ارقام متنوع که برای هر منطقه و شرایط آب و هوایی فرق می‌کند، دخالت ژن‌های متعدد و اثر افزایشی آنها در پاسخ به تنش خشکی باعث می‌شود که اصلاح ارقام مناسب برای مناطق خشک به کندی انجام شود (Evans, 1993). بنابراین، استفاده از روش‌های جایگزین نظیر کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، با هدف بهبود عملکرد در چنین شرایطی توجیه‌پذیر خواهد بود. در طی دهه‌های گذشته افزایش عملکرد گیاهان از طریق کشت ارقام پرمحصول، عملیات به‌زراعی مانند کوددهی مناسب و کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بدست می‌آمد؛ لیکن، به‌نظر می‌رسد در آینده این افزایش عملکرد از راه تنظیم رشد و نمو گیاه از طریق استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد خواهد بود. در اوایل دهه ۱۹۰۰، این جمله که: «بدون مواد رشد گیاهی، رشدی وجود ندارد» معروف شد (Arteca, 1995). امروزه به‌طورکلی پذیرفته شده است که مواد رشد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲- استاد، بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
(*-نویسنده مسئول: (Email: Yaemam@shirazu.ac.ir
DOI: 10.22067/gsc.v15i1.47584

گیاهی در سراسر زندگی گیاهان یک نقش تنظیم‌کنندگی به عهده دارند. مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی برای تعدیل رشد گیاهان زراعی و تغییر نسبت تسهیم مواد پرورده به‌کار می‌روند (Arteca, 1995). از این مواد تنظیم‌کننده رشد می‌توان به کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید اشاره کرد.

تاثیر تنظیم‌کنندگی رشد کلرمکوات کلراید (سایکوسل) نخستین بار در دهه ۱۹۶۰، در طیف وسیعی از گیاهان نشان داده شد و هدف اولیه از کاربرد کلرمکوات کلراید در گیاهان زراعی افزایش تحمل به خوابیدگی ساقه بود (Emam and Niknejad, 2011). نتایج پژوهش‌های بعدی نشان داد که کاربرد کلرمکوات کلراید حتی در غیاب خوابیدگی هم باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ma and Smith, 1992). کلرمکوات کلراید با اختلال در ابتدای مسیر بیوسنتز جیبرلیک اسید مانع از فعالیت آنزیم انت کائورون سنتتاز[1] شده و ارتفاع بوته‌ها را کاهش می‌دهد و به همین علت به آن تنظیم‌کننده ضدجیبرلینی اطلاق می‌شود (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001).

سالیسیلیک اسید به‌عنوان، یک تنظیم‌کننده‌ی رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی که به‌وسیله سلول‌های ریشه تولید می‌شود تقریبا در تمامی گیاهان وجود دارد و در غلظت‌های کم بر بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیک تاثیر می‌گذارد (Arteca, 1995). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید باعث افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) و شوری (Shakirova et al., 2003; Pakar *et al*., 2014) می‌شود. سالیسیلیک اسید در گیاهانی که تحت تنش‌های محیطی مانند خشکی و شوری قرار دارند نقش حفاظتی دارد (Sakhabutdinova *et al*., 2003). جاسمونات‌ها از نظر بیوسنتزی، از اسیدلینولئیک طی یک سری واکنش‌ها ساخته می‌شوند. این ترکیبات در بسیاری از گونه‌های گیاهی برای مقابله با تنش اسمزی وجود دارند (Arteca, 1995). گزارش شده است که جاسمونیک اسید با تغییر در پروتئین، محتوای مالون دآلدهید و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها نقش حفاظتی خود را در برابر تنش خشکی اعمال می کند (Yun-xia *et al*., 2010).

در سال ۲۰۱۴ میلادی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) در جهان بالغ بر ۷۲۹/۰۱ میلیون تن در سطحی برابر با ۲۲۰/۴۱ میلیون هکتار بود (Fao, 2014). در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳میزان تولید گندم در ایران ۱۱/۵ میلیون تن در سطحی برابر با ۵/۷ میلیون هکتار بود (Anonymous, 2015). امروزه نیمی از سطح زیر کشت گندم کشور، با تنش خشکی مواجه است. استان فارس نیز با تولید ۱۰/۲ درصد از گندم کشور، پس از استان خوزستان در جایگاه دوم تولیدکنندگان گندم کشور قرار دارد (Anonymous, 2015)، که در سال‌های اخیر با کاهش میزان نزولات، مزارع تولید گندم در معرض تنش خشکی قرار دارند. به همین منظور، در پژوهش حاضر نقش سه تنظیم‌کننده رشد مذکور در افزایش تولید گندم در شرایط تنش خشکی در دو محیط کنترل شده و مزرعه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آزمایش گلخانه‌ای

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار، طی سال ۱۳۹۱ در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اجرا شد. تیمارها شامل رژیم آبیاری در چهار سطح ۱۰۰٪ (شاهد)، ۸۰٪ (تنش ملایم)، ۶۰٪ (تنش متوسط) و ۴۰٪ (تنش شدید) ظرفیت مزرعه و کاربرد نوع تنظیم‌کننده رشد در چهار سطح عدم کاربرد ماده تنظیم‌کننده رشد (به عنوان شاهد)، کلرمکوات کلراید (۱۹ میلی مولار)، سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و جاسمونیک اسید (۰/۱ میلی‌مولار) بود. دمای میانگین روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲۸ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۵۵ تا ۶۰ درصد بود. بوته‌های گندم روزانه در معرض ۱۲ ساعت روشنایی به صورت ترکیبی از لامپ فلورسنت و مهتابی با شدت ۴۲۰ میکرواینشتین برمترمربع در ثانیه بودند.

گلدان‌های پنج لیتری با نسبت ۲:۱:۱ از خاک مزرعه، کود برگ و ماسه بادی پر شد. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر گندم رقم روشن کاشته شد و پس از تنک کردن به ۶ بوته در هر گلدان رسید. تنظیم‌کننده‌های رشد و تنش رطوبتی به‌صورت همزمان در شروع مرحله زایشی (برجستگی دوگانه) اعمال شد. در این مرحله بوته‌های گندم با محلول تنظیم‌کننده‌های رشد کلرمکوات کلراید و سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای در اوایل صبح تیمار شدند. محلول کلرمکوات کلراید با آب معمولی، محلول سالیسیلیک اسید با آب گرم و اتانول و محلول جاسمونیک اسید با اتانول تهیه شد. در زمان محلول‌پاشی سطح گلدان‌ها با پلاستیک پلی‌اتیلن پوشانده شد تا از جذب خاکی جلوگیری شود. عمل محلول‌پاشی با محلول‌پاش دستی و با فشار ثابت به‌صورت یکنواخت انجام شد و تا آنجا ادامه یافت که قطرات محلول بر روی برگ‌های گندم قابل مشاهده باشد. مقدار رطوبت در حد ظرفیت مزرعه برای خاک گلدان‌ها با کمک دستگاه صفحه فشاری، ۲۵ درصد وزنی محاسبه شد. برداشت پس از رسیدگی کامل و به‌صورت کف‌بر برای هر گلدان صورت گرفت. صفات اندازه‌گیری شده در این آزمایش شامل سطح برگ (در اوایل خمیری شدن دانه) طول سنبله، سطح برگ پرچم، تعداد دانه در سنبله، عملکرد ماده خشک بوته‌ها (بیولوژیک) و عملکرد دانه بود.

آزمایش مزرعه‌ای

1- Ent-kaurene synthase

جهت بررسی بهتر نتایج در شرایط طبیعی، این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای نیز طی سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه در ۱۲ کیلومتری شمال غربی شیراز با عرض جغرافیایی '۴۶ °۵۲ شرقی، طول جغرافیایی '۷ °۲۹ شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده است. تیمارهای آزمایشی شامل تنش رطوبتی به صورت مقادیر متفاوت از حجم آب آبیاری در سه سطح آبیاری در حد ۱۰۰٪ (شاهد)، ۶۶ درصد (تنش رطوبتی متوسط) و ۳۳ درصد (تنش رطوبتی شدید) ظرفیت مزرعه در کرت‌های اصلی و کاربرد نوع تنظیم‌کننده رشد در چهار سطح عدم کاربرد ماده تنظیم‌کننده رشد (شاهد)، کلرمکوات کلراید (۱۹ میلی‌مولار) ، سالیسیلیک اسید (۱ میلی‌مولار) و جاسمونیک اسید (۰/۱میلی‌مولار) در کرت‌های فرعی بود که به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم خاک زراعی با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک عمود برهم بود. پس از آماده‌سازی کرت‌ها، بذرها در چهار خط سه متری در هر کرت کشت شد. فاصله بین ردیف و روی ردیف به به ترتیب برابر با ۲۰ و ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵متر و فاصله بین هر یک از تکرارها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی (سطوح تنش) نیز برای اطمینان از عدم تداخل تیمارها، فاصله ۱/۵ متری در نظر گرفته شد. قبل از کاشت ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک سوم کود نیتروژن مورد نیاز) مصرف شد. مابقی کود اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله طویل شدن ساقه‌ها و گلدهی به‌کار برده شد. کاشت با تراکم ۲۵۰ بوته در متر مربع با دست و به صورت ردیفی در تاریخ ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۱ صورت گرفت. بلافاصله پس از کاشت آبیاری انجام شد. سیستم آبیاری مزرعه به‌صورت قطره‌ای (تیپ) بود.

جدول ۱- نتایج آزمون خاک در مزرعه مورد مطالعه (باجگاه، فارس)

Table 1- The results of soil analysis in the experimental field (Badjgah, Fars)

Texture	K ($mg\ kg^{-1}$)	P ($mg\ kg^{-1}$)	N (٪)	OC (٪)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)
Clay loam	391	12.5	0.14	1.06	7.65	0.97

تنظیم‌کننده‌های رشد کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در در اواخر اسفند مرحله برجستگی دوگانه (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001) با استفاده از سمپاش دستی با فشار ثابت در اولین ساعت صبح به طور یکنواخت بر روی بوته‌ها پاشیده شد به‌صورتی که قطرات محلول بر روی برگ‌های گندم قابل مشاهده بود. تنش رطوبتی از مرحله گلدهی اعمال شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر بار آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ۲۴ ساعت قبل از هر آبیاری از سطح خاک، عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری با آگر نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها در آون در دمای $105\ ^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس میزان رطوبت وزنی آن‌ها تعیین گردید. آب مورد نیاز برای آبیاری تا رسیدن رطوبت خاک به حد موردنظر از ظرفیت مزرعه محاسبه شد. کنترل حجم ورودی آب به کمک کنتور صورت گرفت. میزان بارندگی و آبیاری در آزمایش مزرعه‌ای در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- میزان بارندگی و آبیاری (میلی‌متر) در آزمایش مزرعه‌ای

Table 2- Amount of rainfall and irrigation (mm) in experimental field

سطح تنش Stress level	بارندگی Rainfall	آبیاری Irrigation	مجموع Sum
شاهد Control	440	204	645
متوسط Moderate	440	136	576
شدید Severe	440	68	508

اندازه‌گیری سطح برگ در هنگام اوایل خمیری‌شدن دانه از یک بوته گندم با استفاده از دستگاه مساحت سنج (مدل Delta T MK2, England) به عمل آمد. برداشت مزرعه در تاریخ ۱۲ تیرماه ۱۳۹۲ به‌صورت کف‌بر کردن بوته‌ها از سطح خاک با دست صورت گرفت. بیست بوته از وسط هر کرت به‌صورت تصادفی و با رعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب و پس از انتقال به گلخانه طول سنبله و تعداد دانه در سنبله برای آن‌ها محاسبه و میانگین بیست بوته به‌عنوان داده آن واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. برداشت برای اندازه‌گیری عملکرد به‌صورت یک مترمربع در وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای با استفاده از کوادرات صورت گرفت. نمونه‌های برداشت شده به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۴±۷۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. وزن کل نمونه‌ها به‌عنوان عملکرد بیولوژیک و وزن دانه‌های جدا شده

به‌عنوان عملکرد دانه درنظر گرفته شد. در هر دو آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد یا برآورد خطای استاندارد صورت گرفت.

نتایج و بحث

در آزمایش گلخانه‌ای طول سنبله تحت تاثیر معنی‌دار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت (جدول ۳). در آزمایش مزرعه‌ای اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر طول سنبله معنی‌دار بود (جدول ۴). در شرایط گلخانه طول سنبله به مقدار ۲۲/۲ درصد در شرایط تنش رطوبتی شدید نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۵). تنش رطوبتی می‌تواند از طریق کوتاه کردن دوره نمو و همچنین افزایش سرعت نمو سنبله موجب کاهش طول سنبله گردد (Emam and Niknejad, 2011). خشکی همچنین از طریق تاثیر مستقیم منفی بر مریستم انتهایی، که تشکیل‌دهنده سنبله است، می‌تواند سبب کاهش طول سنبله شود (Gooding *et al*., 2003). در شرایط مزرعه تنش رطوبتی اثری بر طول سنبله نداشت. عدم تاثیرگذاری تنش رطوبتی بر طول سنبله به دلیل آن است که آغازش اجزای سنبله در مراحل پیش از گلدهی تعیین می‌شود (Yun-xia *et al*., 2010). این درحالی است که تنش رطوبتی در پژوهش حاضر از گلدهی به بعد اعمال شده بود.

تنظیم‌کننده‌های رشد طول سنبله را در شرایط تنش و عدم تنش در هر دو آزمایش افزایش دادند. تاثیر سالیسیلیک اسید و کلرمکوات کلراید بدون تفاوت معنی‌دار، بیشتر از جاسمونیک اسید بود (جدول های ۵ و ۶). سالیسیلیک اسید و کلرمکوات کلراید به‌ترتیب طول سنبله را به‌میزان ۶/۷ و ۴/۵ سانتی‌متر در شرایط گلخانه افزایش دادند. در شرایط مزرعه نیز استفاده از تنظیم کننده‌های رشد سبب افزایش طول سنبله شد. نتایج بدست آمده با نتایج دیگر پژوهش‌گران (Amin *et al*., 2008; Shekoofa and Emam, 2008; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a) همسو است. در یک مطالعه دیگر نیز افزایش طول سنبله گندم را با مصرف کلرمکوات کلراید و سالیسیلیک اسید در دو پژوهش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای گزارش شده است (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b).

نتایج تجزیه واریانس آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که سطح برگ پرچم تحت تاثیر معنی‌دار رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد قرار گرفت (جدول ۳). در مزرعه سطح برگ پرچم تحت تاثیر تنش رطوبتی قرار نگرفت اما اثر تنظیم‌کننده‌های رشد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین سطح برگ پرچم در آزمایش گلخانه‌ای مربوط به تیمار بدون تنش بود. تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ پرچم شد. عوامل محیطی از قبیل خشکی و یخبندان پیری برگ‌های گندم را تسریع کرده و سبب کاهش سطح برگ می‌شوند (Emam and Niknejad, 2011).

گزارش شده است که تنش خشکی سطح برگ و سرعت رشد آن را کاهش می‌دهد (Hopkins and Huner, 2004; Yun-xia *et al*., 2010). تنش خشکی پیش از گلدهی از طریق کاهش سرعت گسترش برگ‌ها و تغییر در شکل برگ، سطح برگ را کاهش می‌دهد که به دریافت نور کمتر منجر می‌شود در حالی‌که تنش خشکی بعد از گلدهی از طریق تسریع پیری برگ سبب کاهش سطح برگ می‌گردد (Bishop and Bugbee, 1998). در آزمایش گلخانه‌ای از آنجا که تنش قبل از گلدهی اعمال شد، سطح برگ پرچم کاهش یافت؛ اما در آزمایش مزرعه‌ای که تنش خشکی پس از گلدهی اعمال شد، اثری بر سطح برگ پرچم نداشت. بیشتر پژوهش‌گران براین باورند که بیشینه سطح برگ در زمان گلدهی حاصل می‌شود (Emam *et al*., 1996; Pirasteh-Anoshehand Emam, 2012b). بنابراین عدم اثرگذاری تنش رطوبتی بر سطح برگ پرچم قابل توجیه است.

تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش سطح برگ پرچم شدند. در آزمایش گلخانه‌ای سالیسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش سطح برگ پرچم به میزان ۱۱، ۱۲ و ۵ درصد شدند. در شرایط مزرعه، این افزایش به‌ترتیب به میزان ۱۱/۲، ۱۰/۷ و ۳/۷ درصد بود (جدول ۵ و ۶). سطح برگ پرچم بر میزان وزن دانه و رسیدن به عملکرد بالقوه از زمان گلدهی تا رسیدگی، اثر می‌گذارد (Emam *et al*., 1996). سطح برگ بالاتر به معنی توانایی بیشتر برای انجام فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر است (Flower and Ludlow, 1986). در این پژوهش سطح برگ پرچم با استفاده از تنظیم کننده‌های رشد، افزایش یافت. نتایج بدست آمده در مورد میزان اثر بخشی تنظیم‌کننده‌های رشد بر سطح برگ پرچم با نتایج به‌دست آمده توسط سایر پژوهش‌گران همسو است (Metwally *et al.,* 2003; Pakar *et al.,* 2014; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b; Shekoofa, and Emam, 2008).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد بر تعداد دانه در سنبله در گلخانه معنی‌دار بود (جدول ۳). در مزرعه اثر تنش رطوبتی غیرمعنی‌دار بود، اما تنظیم‌کننده‌های رشد تاثیر معنی‌دار داشتند (جدول ۴). تنش رطوبتی در گلخانه سبب کاهش تعداد دانه در سنبله گردید. تاثیر کاهنده تنش رطوبتی بر تعداد دانه در سنبله را می‌توان نتیجه افزایش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه دانست. همچنین می‌تواند ناشی از مرگ و میر گلچه‌ها و اختلال در گرده افشانی و پر شدن دانه در اثر خشکی باشد (Flower and Ludlow, 1986).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده رشد بر صفات گندم در آزمایش گلخانه‌ای

Table 3- The result of analysis of variance (mean of squares) for effect of water stress and plant growth regulator (PGR) on wheat traits in greenhouse

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول سنبله spkie length	تعداد دانه در سنبله Grain/spkie	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تنش رطوبتی Water stress	3	78.330**	11.021**	1886.704**	533.262**	117.506**
تنظیم کننده رشد PGRs	3	*1.620	1.170*	75.910**	18.116**	2.399**
برهمکنش Interaction	9	0.181^{ns}	0.180^{ns}	4.412^{ns}	3.243**	0.256**
خطا Error	48	0.198	0.436	2.217	0.445	0.037

ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns، * و** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تنش رطوبتی و تنظیم کننده رشد بر صفات گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 4- The result of analysis of variance (mean of squares) for effect of water stress and plant growth regulator (PGR) on wheat traits in field

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سطح برگ پرچم Flag leaf area	طول سنبله Spkie length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
تنش رطوبتی Water stress	2	0.102^{ns}	0.005^{ns}	2.220^{ns}	0.9382**	0.2468**
بلوک Block	2	0.508	0.015	2.771	0.0633	0.0325
خطای کرت اصلی Error a	4	0.462	0.366	3.560	0.0031	0.0034
تنظیم کننده رشد PGR	3	1.137*	2.502**	71.290**	0.0849**	0.0141**
برهمکنش Interaction	6	0.010^{ns}	0.042^{ns}	0.542^{ns}	0.0914**	0.0126**
خطا Error	18	0.178	0.102	1.71	0.0017	0.0012

ns, * and **: non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns، * و** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد

در شرایط مزرعه‌ای چون تنش رطوبتی بعد از گلدهی اعمال شد، اثری بر تعداد دانه در سنبله نداشت. زیرا تعداد دانه در سنبله قبل از اعمال تنش تعیین شده بود. این موضوع توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Shah and Paulsen, 2003; Li *et al*., 2012).

تنظیم‌کننده‌های رشد سبب افزایش تعداد دانه در سنبله شدند. بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد کلرمکوات کلراید به‌دست آمد.

افزایش تعداد دانه در سنبله در گندم (Shekoofa and Emam, 2008; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012a) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Emam and Karimi, 1996; Pakar *et al*., 2014) گزارش شده است. دلیل افزایش تعداد دانه، کاهش نسبت اندام‌های عقیم قبل از پر شدن دانه گزارش شده است (Rajala and Peltonen-Sainio, 2001; Rajala, 2003). افزایش تعداد دانه در اثر کاربرد شاخساره‌ای سالیسیلیک اسید توسط دیگر پژوهش‌گران گزارش شده است (Amin et al., 2008; Pirasteh-Anosheh *et al*., 2012b). علت افزایش تعداد دانه در سنبله، افزایش نسبت تسهیم مواد پرورده به دانه گزارش شده است (Amin *et al*., 2008).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بیولوژیک تحت تاثیر معنی‌دار تنش رطوبتی، تنظیم‌کننده رشد و برهمکنش آن‌ها در گلخانه و مزرعه (جدول ۳ و ۴) قرار گرفت. عملکرد بیولوژیک شامل وزن خشک تمامی بخش‌های هوایی گیاه است که تحت تاثیر شرایط آب و هوایی، خاک و گیاه قرار می‌گیرد (Emam and Niknejad, 2011). خشکی با اثرات متفاوتی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر گیاه دارد مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش تورژسانس (Hopkins and Huner, 2004)، کاهش سطح فتوسنتزکننده و همچنین کاهش میزان فتوسنتز بر اثر تنش خشکی، باعث کاهش تجمع ماده خشک می‌شود (Simanne *et al*., 1993). کاهش تجمع ماده خشک باعث کاهش عملکرد بیولوژیک در پایان دوره رشد گیاه می‌شود به‌طوری‌که در آزمایش گلخانه‌ای (شکل ۱ و ۲) و مزرعه‌ای حاضر تنش رطوبتی سبب کاهش میزان عملکرد بیولوژیک شد. تنش رطوبتی در پژوهش حاضر، بسته به شدت تنش، موجب کاهش اندازه شاخساره (سطح برگ و طول سنبله) گردید، و با توجه به اینکه عملکرد بیولوژیک کل ماده خشک تولید شده توسط گیاه شامل ساقه، برگ و دانه را در بر می گیرد (Emam *et al*., 1996; Emam and Niknejad, 2011)، تنش رطوبتی از راه تاثیر بر رشد ساقه، برگ و دانه موجب کاهش عملکرد بیولوژیک در آزمایش گلخانه‌ای و مزرعه‌ای شد.

تنظیم‌کننده‌های رشد سالسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید در گلخانه به‌ترتیب سبب افزایش ۲۱/۰، ۱۲/۸ و ۱۸/۵ درصدی عملکرد بیولوژیک شدند (شکل ۱). این مقدار برای آزمایش مزرعه‌ای به ترتیب ۱۶/۴، ۷/۰ و ۱۵/۶ درصد بود (شکل ۲). اعلام شده است که کاربرد کلرمکوات کلراید در نهایت سبب افزایش تجمع عملکرد بیولوژیک در جو گردید (Shekoofa and Emam, 2008). پژوهش‌گران معتقدند که از مرحله گلدهی تا رسیدن دانه ظرفیت فتوسنتزی به ویژگی‌های برگ پرچم شامل سرعت فتوسنتز، کارایی رابیسکو، غلظت کلروفیل و مساحت برگ پرچم بستگی دارد (Bishop and Bugbee, 1998). در آزمایش مزرعه‌ای احتمالاً تنظیم کننده‌های رشد سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک شدند. افزایش عملکرد بیولوژیک توسط تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در پژوهش‌های دیگر گزارش شده است (Anjum *et al.,* 2011; Metwally *et al.,* 2003; Sakhabutdinova *et al.,* 2003; Yun-xia *et al.,* 2010).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده بر صفات اندازه‌گیری شده گندم در آزمایش گلخانه‌ای

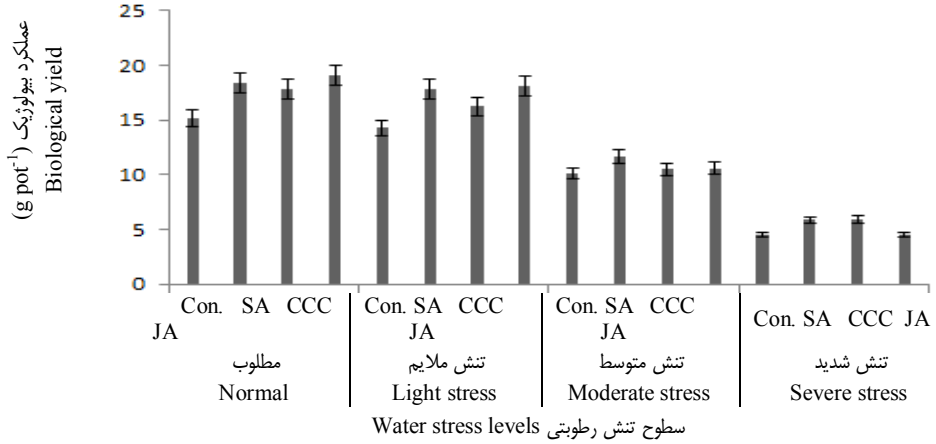
Table 5- Mean comparison of main effect of water stress and plant growth regulator on wheat traits in greenhouse experiment

		سطح برگ پرچم (cm^2) Flag leaf area	طول سنبله (cm) Spike length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike
تنش خشکی Drought Stress	100% FC	8.23	8.81	31.16
	80% FC	7.86	8.48	29.20
	60% FC	5.03	8.10	17.75
	40% FC	3.66	6.90	7.82
	LSD 0.05	0.82	0.67	5.34
تنظیم کننده رشد PGR	شاهد No PGR	5.78	7.86	19.81
	Salicylic acid	6.42	8.39	23.37
	Chlormequat Chloride	6.46	8.21	24.15
	Jasmonic acid	6.12	7.84	19.60
	LSD 0.05	0.34	0.44	0.67

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار تنش رطوبتی و تنظیم‌کننده بر صفات اندازه‌گیری شده گندم در آزمایش مزرعه‌ای

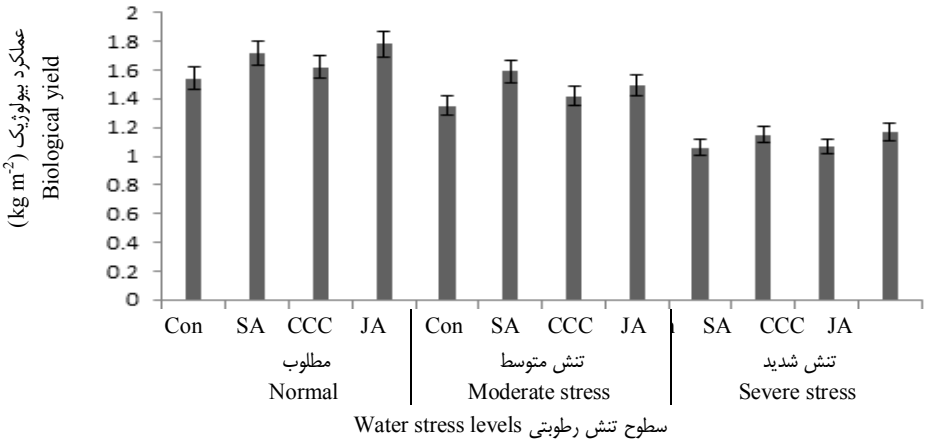
Table 6- Mean comparison of main effect of water stress and plant growth regulator on wheat traits in field experiment

		سطح برگ پرچم (cm^2) Flag leaf area	طول سنبله (cm) Spike length	تعداد دانه در سنبله Grains/spike	عملکرد دانه ($kg\ m^{-2}$) Grain yield
تنش خشکی Drought Stress	100% FC	8.55	9.02	34.33	0.67
	2/3 FC	8.42	8.99	34.00	0.55
	1/3 FC	8.38	8.97	33.58	0.39
	LSD 0.05	ns	ns	ns	0.09
تنظیم کننده رشد PGR	No PGR شاهد	8.00	8.40	31.22	0.49
	Salicylic acid	8.90	9.56	35.00	0.55
	Chlormequat Chloride	8.62	9.29	37.55	0.58
	Jasmonic acid	8.30	8.70	32.44	0.53
	LSD 0.05	0.41	0.50	2.55	0.02



شکل ۱- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد بیولوژیک (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش گلخانه‌ای.

Figure 1- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat biological yield (±SE) in different water stress in greenhouse

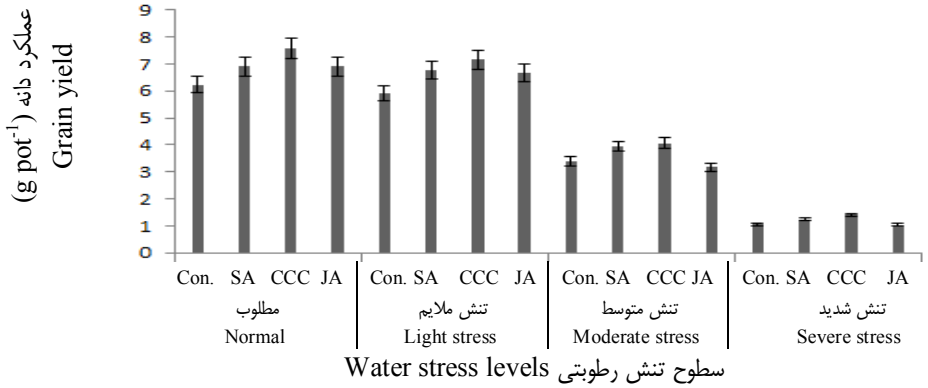


شکل ۲- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد بیولوژیک (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش مزرعه‌ای.

Figure 2- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat biological yield (±SE) in different water stress in field

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر تنش رطوبتی، تنظیم‌کننده رشد و برهمکنش آن‌ها در گلخانه (جدول ۳) و خشکی و تنظیم‌کننده در مزرعه قرار گرفت (جدول ۴). تنش رطوبتی سبب کاهش عملکرد دانه در شرایط گلخانه (شکل ۳) و مزرعه (جدول ۶) شد. تنش رطوبتی در هر مرحله از رشد گیاه می‌تواند رشد و عملکرد گندم را از راه های گوناگونی تحت تاثیر قرار دهد. میزان این تاثیر به مدت و شدت اعمال تنش وابسته است (Gooding *et al*., 2003). عملکرد دانه گندم از حاصلضرب سه جزء عملکردی شامل: تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه حاصل می‌شود (Emam *et al*., 1996). در آزمایش گلخانه‌ای کاهش عملکرد دانه در اثر تنش رطوبتی به دلیل تاثیر منفی خشکی بر اجزای عملکرد دانه به ویژه تعداد دانه در سنبله بود. این نتایج در راستای یافته‌های دیگر پژوهشگران است (Bishop and Bugbee, 1998; Ozturk and Aydin, 2004; Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b). خشکی بعد از گلدهی، عملکرد دانه را از طریق کاهش در سرعت و طول دوره پر شدن دانه کاهش می‌دهد (Ozturk and Aydin, 2004). در آزمایش مزرعه‌ای از آن‌جا که تنش رطوبتی بعد از مرحله گلدهی اعمال شد و تعداد دانه در سنبله قبل از گلدهی تعیین شده بود (Simanne *et al*., 1998)، کاهش عملکرد دانه از راه تاثیر منفی بر میانگین وزن دانه بوده است. پژوهش‌گران دیگر نیز تاثیر منفی تنش رطوبتی در بعد از مرحله گلدهی را در کاهش وزن هزار دانه گزارش کرده اند (Emam *et al*., 1996; Gooding *et al*., 2003). کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش رطوبتی پس از گرده‌افشانی در بسیاری پژوهش های دیگر نیز گزارش شده است (Gooding *et al*., 2003; Ozturk and Aydin, 2004; Shah and Paulsen1, 2003).

تنظیم کننده‌های رشد سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط عدم وجود تنش و تنش خشکی شدند. در شرایط گلخانه‌ای تنظیم‌کننده‌های رشد سالیسیلیک اسید، کلرمکوات کلراید و جاسمونیک اسید به ترتیب سبب افزایش عملکرد دانه به میزان ۱۳/۷۶، ۲۰/۷، ۷/۲۴ درصد شدند (شکل ۳). در آزمایش مزرعه‌ای میزان افزایش عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۲/۲۴، ۱۸/۳، ۸/۱ درصد بود (جدول ۶). استفاده از کلرمکوات کلراید در شرایط بدون تنش در ارقام مختلف یولاف، به‌صورت کاربرد شاخساره‌ای، عملکرد دانه را تا ۱۳درصد بسته به نوع رقم افزایش داده است (Rajala, 2003). افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از کلرمکوات کلراید توسط سایر پژوهش‌گران به میزان ۱۲٪ (Emam and Karimi, 1996) و ۲۰٪ در گندم (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) و ۱۵٪ (Emam, 2011)، ۲۰٪ (Ma and Smith, 1992) و ۲۴٪ (Pakar *et al*., 2014) در جو گزارش شده است. در یک مطالعه (Pirasteh-Anosheh and Emam, 2012b) افزایش عملکرد دانه گندم را در اثر مصرف کلرمکوات کلراید و سالیسیلیک اسید تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. افزایش عملکرد دانه در اثر استفاده از سالیسیلیک اسید و جاسمونیک اسید در پژوهش‌های بسیاری گزارش شده است (Shakirova *et al*., 2003; Amin *et al*., 2008; Yun-xia *et al*., 2010; Anjum *et al*., 2011).



شکل ۳- تاثیر تنظیم‌کننده‌های رشد (Con شاهد، SA سالیسیلیک اسید، CCC کلرمکوات کلراید و JA جاسمونیک اسید) بر عملکرد دانه (±SE) گندم در سطوح متفاوت تنش رطوبتی در آزمایش گلخانه‌ای.

Figure 3- The effect of plant growth regulators (Con: control, SA: salicylic acid, CCC: chlormequat chloride and JA: jasmonic acid) on wheat grain yield (±SE) in different water stress in greenhouse

نتیجه‌گیری

تنش رطوبتی سبب کاهش معنی‌دار طول سنبله، سطح برگ، تعداد دانه، عملکرد بیولوژیک و دانه گندم شد. استفاده از تنظیم کننده‌های رشد کلرمکوات کلراید، سالیسیلیک اسید جاسمونیک اسید سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی گردید و با افزایش عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش رطوبتی همراه بود. از میان تنظیم‌کننده-های رشد، کلرمکوات کلراید بیشترین تاثیر را در کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی از راه افزایش سطح برگ، طول سنبله و تعداد دانه داشت و بیشترین عملکرد دانه گندم از کاربرد این تنظیم کننده رشد (۲۰ درصد افزایش عملکرد) به‌دست آمد. پس از آن سالیسیلیک اسید (۱۳ درصد افزایش عملکرد) و جاسمونیک اسید (۸درصد افزایش عملکرد) به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های رشد موثر در کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش عملکرد گندم مشاهده شدند.

References

1. Amin, A. A., Li, S., Rashad, M., Fatma, A., and Gharib, E. 2008. Changes in morphological, physiological and reproductive characters of wheat plants as affected by foliar application with salicylic acid and ascorbic acid. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2: 252-261.
2. Anjum, S. A., Wang, L., Farooq, M., Khan, I., and Xue, L. 2011. Methyl jasmonate-induced alteration in lipid peroxidation, antioxidative defence system and yield in soybean under drought. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 296-301.
3. Anonymous. 2015. Agricultural statistics, Vol 1: Crop Production, 2013-14 growing seasons. Publication of Ministry of Agriculture-Jahad. Tehran (in Persian)
4. Arteca, R. N. 1995. Plant Growth Substances, Principles and Applications. Springer. New York.
5. Bishop, D. L., and Bugbee, B. G. 1998. Photosynthetic capacity and dry mass partitioning in dwarf and semi dwarf wheat (*Triticum aestivum*). Plant Physiology 153: 558-565.
6. Emam, Y. 2011. Cereal Production. Shiraz University Press, Shiraz. (in Persian).
7. Emam, Y., and Karimi, H. R. 1996. Influence of chlormequat chloride on five winter barley cultivars. Iran Agriculture Research 15: 89-104.
8. Emam, Y., Tafazoli, A., and Karimi, H. R. 1996. Evaluation the effect of chlormequat chloride on growth and development of wheat cv. Ghods. Iranian Journal of Agricultural Sciences 27: 23-30. (in Persian with English abstract)
9. Emam, Y., and Niknejad, M. 2011. An Introduction to the Physiology of Crop Yield, Shiraz University Press, Shiraz. (In Persian)
10. Evans, L.T. 1993. Crop Evolution, Adaptation and Yield. Cambridge University Press. Cambridge.
11. FAO. 2014. Food and Agriculture Organization statistical data. Available at http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E (visited April 4, 2017).
12. Flower, D., and Ludlow, M.M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeon pea (*Cajanus cajan* L. mill sp.) leaves. Plant, Cell and Environment 9: 3-44.
13. Gooding, M., Ellis, R., Shewry, P., and Schofield, J. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Sciences 37: 295-309.
14. Hopkins, W.G. and Huner, N.P. 2004. Introduction to Plant Physiology (3rd Ed.). John Wiely & Sons. New York.
15. Li, P., Chen, J., and Wu, P. 2012. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes. Crop Science 52. 110-121.
16. Ma, B.L., and Smith, D.L. 1992. Growth regulator effects on aboveground dry matter partitioning during grain fill of spring barley. Crop Science 32: 741-746.
17. Metwally, A., Finkmeier, A., George, M., and Dietz, K. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedling. Plant Physiology 1321: 272-281.
18. Ozturk, A., and Aydin, F. 2004. Effect of water stress at various stages on some quality characteristics of winter wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 93-99.
19. Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2014. The effect of different concentrations of salicylic acid on barley under saline conditions. Journal of Crop Production and Processing 14: 191-201. (in Persian with English abstract).
20. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012a. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using growth regulators at different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing 5: 29-45. (in Persian with English abstract).
21. Pirasteh-Anosheh, H., and Emam, Y. 2012b. Yield and yield component responses of bread and durum wheat to PGRs under drought stress conditions in field and greenhouse. Environmental Stress in Crop Sciences 5: 1-17. (in Persian with English abstract).

22. Rajala, A. 2003. Plant growth regulators to manipulate cereal growth in northern growing conditions. Ph.D. thesis. University of Helsinki. Finland. 53 PP.
23. Rajala, A., and Peltonen-Sainio, P. 2001. Plant growth regulator effects on spring cereal root and shoot growth. Agronomy Journal 93: 936-943.
24. Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R. Bezrukova, M. V., and Shakirova, F. M. 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue: 314-319.
25. Shah, N.H., and Paulsen, G.M. 2003. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. Plant and Soil Sciences 257: 219–226.
26. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, D.R. Bezrukova, M. V. Fatkhutdinova, R.A. 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
27. Shekoofa, A., and Emam, Y. 2008. Effect of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRS) on yield of wheat (cv. Shiraz). Journal of Agriculture Science and Technology 10: 101-108.
28. Simanne, B.P.C., Peacock, J.M. and Struk, P.C. 1993. Differences in development plasticity and growth rate among drought resistance and susceptible cultivar of durum wheat (*Triticum Turgidum* L. var. durum). Plant and Soil 157: 155-166.
29. Yun-xia, G., Li-jun, Z., Feng-hai, L., Zhi-bin, C., Che, W., Yun-cong, Y., Zhen-hai, H., Jie, Z., and Zhen-sheng, S. 2010. Relationship between jasmonic acid accumulation and senescence in drought-stress. African Journal of Agriculture Research 5: 1978-1983.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 1, Spring. 2017, p. 124-135

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، ص. ۱۳۵-۱۲۴

Improving Wheat Growth and Yield Using Chlormequat Chloride, Salicylic Acid and Jasmonic Acid under Water Stress

N. Vahabi[1]- Y. Emam[2*]- H. Pirasteh-Anosheh[3]

Received: 15-06-2015
Accepted: 07-02-2016

Introduction

Drought stress is most important abiotic stress reducing growth and production of wheat worldwide. Protective role of plant growth regulators (PGRs) against drought stress has been accepted in general, however, comparison of PGRs types to determine the optimum one is crucial. Many PGRs are known to alleviate the negative effects of drought stress in plants. However, limited research has been conducted to investigate the potential benefits of exogenous application of different PGRs in wheat plants grown under drought stress. Chlormequat chloride (CCC), salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) could consider as three major PGRs using in cereals.

Materials and Methods

To examine the effect of three PGRs consisted of CCC, SA and JA on yield components and grain yield of wheat cv. Roshan under different water stress conditions (a range of light to severe drought levels) two separated experiments were conducted at controlled and field conditions at College of Agriculture, Shiraz University during 2012-2013 growing seasons. Concentration of CCC, SA and JA were 19.0, 1.0 and 0.1 mM, respectively. Drought stress levels were 100%, 80%, 60% and 40% of field capacity in greenhouse and were 100%, 2/3 and 1/5 of field capacity in the field experiment. Field capacity was determined as 25% (g g^{-1}) for the experimental field. Greenhouse and field researches were carried out in factorial experiment based on completely randomized design and in split plot experiment based on randomized complete block design, respectively. Four and three replications were used greenhouse and field experiments, respectively. Roshan as a bread wheat cultivar with standard height was used. Foliar application of 3 PGRs was done at double ridges stage in both experiments; however, irrigation treatments were applied at double ridges stage and early anthesis at greenhouse and field experiment, respectively. For plot irrigation a tape system was used and amount of irrigation was measured by a water meter.

Results and Discussion

The results showed that water stress decreased flag leaf area, ear length, grain number per ear, biological yield and grain yield in the greenhouse and biological yield and grain yield in the field experiment. The maximum of flag leaf area was obtained at anthesis and after that there was no increase in green area. In the other hand, ear length and grain number per ear were fixed at anthesis and so drought stress had less negative impact on flag leaf area, ear length and grain number per ear under field conditions. Increasing the level of drought stress was considerably associated with greater reduction in grain yield and yield components. However, PGR_S application improved yield components and consequently enhanced the grain yield. The higher flag leaf area in PGRs-treated plants might be due to lowering developmental rate or delaying plant maturity and senescence. So, by improving leaf area, PGR application resulted in increased photosynthetic rate leading to a higher yield. Although all PGRs had positive effect on growth and yield of wheat nevertheless, the effect of chlormequat chloride followed by salicylic acid was greater than jasmonic acid; so that foliar applications of chlormequat chloride, salicylic acid and jasmonic acid were associated with 20.7%, 13.8% and 7.24% increase in grain yield, respectively, under controlled conditions. These values were 18.3%, 12.2% and 8.1% for the field experiment. Such compensatory effects of PGRs could be due to various reasons. Chlormequat chloride can stimulate root growth, reduce transpiration, increase water use efficiency, and prevent chlorophyll destruction.

1- M.Sc. Graduated, Crop Production and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2- Professor, Crop Production and Plant Breeding Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Yazd, Iran
(*- Corresponding Author Email: yaemam@shirazu.ac.ir)

Similarly, SA application may result in stomatal closure, increased WUE, increased chlorophyll content, increased respiratory-pathways and intercellular CO_2 concentration, and stimulatory changes in other physiological and biochemical attributes. Jasmonic acid is also essential components for the signaling pathway triggering the expression of plant defense genes in response to abiotic stresses. This PGR had a significant role in osmotic adjustment under drought stress conditions.

Conclusions

Overall, drought stress depending on time and severity of application had several adverse effects on wheat cultivar including decreased flag leaf area, ear length and grain number which led to reduced biological yield and grain yield. However, exogenous application of SA, CCC or JA reduced at least some of the harmful impacts of drought stress and in some cases compensated losses or damages caused by the drought, resulting in purging of differences between the control and drought stress conditions. Furthermore, chlormequat chloride might have a wide scope for further investigations as an approach to increase grain yield under limited water conditions.

Keywords: Grain yield, Growth retardants, Yield components