

اثرات تنظیم کننده‌های رشد گیاه بر پارامترهای فتوسنتزی و رشد دو رقم گندم دیم در مرحله بوتینگ

علی رسایی^{۱*}، سعید جلالی هنرمند^۲، محسن سعیدی^۲، محمد اقبال قبادی^۲

۱- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، معاونت سرارود، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران

۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده

تغییر روابط فیزیولوژیک گیاه به ویژه در فتوسنتز تحت تنش خشکی می‌تواند بر میزان جذب نور و عملکرد نهایی محصول اثر بگذارد. بهبود پارامترهای مرتبط با فتوسنتز به منظور افزایش یا عدم کاهش آسیمیلایون در شرایط تنش خشکی یکی از راه‌های مدیریت به‌زاعی در گیاهان می‌باشد. به منظور بررسی اثرات کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های مختلف رشد شامل اکسین (IAA)، جبرلیک اسید (GA_3) و سیتوکینین (6-BAP) به همراه آب مقطر (شاهد) در مرحله‌ی رشد آبستنی (بوتینگ) دو رقم گندم (ریژا و آذر-۲)، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار تحت شرایط دیم در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در سال‌های ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ اجرا گردید. نتایج نشان داد، 6-BAP و IAA به ترتیب با میانگین‌های ۱۸۰۰ و ۱۷۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث تولید بیشترین عملکرد دانه در رقم ریژا شدند. همچنین بیشترین میانگین وزن ویژه برگ (۸۶ میلی‌گرم بر سانتی‌متر مربع)، سرعت فتوسنتز ($18/6$ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه) و کارایی مصرف آب فتوسنتزی (۶۶۷ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول مولکول آب) مربوط به کاربرد 6-BAP در رقم ریژا بود. سرعت فتوسنتز با وزن ویژه برگ پرچم ($R^2=0/92$)، میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی ($R^2=0/98$) و هدایت مزوفیلی ($R^2=0/96$) همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. رقم ریژا نسبت به آذر-۲ در تمامی صفات مورد بررسی برتر بود. می‌توان نتیجه گرفت کاربرد خارجی تنظیم کننده‌های مختلف رشد در مراحل حساس رشد و نمو گندم موجب بهبود توان فتوسنتزی گیاه می‌شود. این امر موجب کاهش افت عملکرد نهایی دانه در شرایط تنش خشکی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: فتوسنتز، تنظیم کننده‌های رشد گیاه، عملکرد دانه، گندم

مقدمه

افزایش محصول گندم مانند سایر محصولات کشاورزی بستگی به عوامل مختلف دارد که علاوه بر افزایش سطح زیر کشت، به مقدار عملکرد محصول در واحد سطح نیز مربوط می‌باشد. از جمله‌ی این عوامل می‌توان به ویژگی‌های ژنتیکی ژنوتیپ کشت شده و شرایط محیطی مانند آب و هوا، خاک، مواد غذایی، شدت تشعشع و غیره اشاره کرد که تغییر در محدوده مناسب هر کدام از عوامل ذکر شده منجر به بروز تنش در محصول زراعی شده و به دنبال آن عملکرد کاهش می‌یابد. در دهه‌های اخیر، افزایش تقاضا و کمبود آب یک چالش در امنیت غذایی در دنیا بوجود آورده است (Zwart and Bastiaanssen, 2004; Reynolds *et al.*, 2011). مشابه بسیاری از کشورها، گندم و فرآورده‌های آن از اصلی‌ترین منابع غذای مردم ایران بشمار می‌رود (Amiri *et al.*, 2015).

اجزای اصلی عملکرد گندم شامل تعداد دانه در واحد سطح و وزن هزار دانه است (Slafer *et al.*, 2009). تعداد دانه در ارتباط با وضعیت رشد و نمو گندم (تجمع و استفاده از مواد غذایی مانند کربن و نیتروژن، وضعیت تنظیم‌کننده‌های رشد داخلی) و شرایط محیطی (وضعیت آب، نور، دما و...) در یک دوره‌ی مشخص پیش از گلدهی است (Demotes-Mainard and Jeuffroy, 2004; Sinclair and Jamieson, 2006). در واقع در دوره‌ای پیش از گرده‌افشانی پتانسیل تعداد دانه در سنبله شکل می‌گیرد. تعداد گلچه در سنبله‌ها تا زمان ظهور برگ پرچم به حداکثر خود می‌رسد

و در مرحله بوتینگ یک تا دو سوم آن‌ها بطور ناگهانی در طی چند روز از بین می‌روند و تنها تعداد محدودی گلچه در زمان گرده‌افشانی بارور شده و وارد مرحله تکامل دانه می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهد که تعداد نهایی دانه‌های برداشت شده ارتباط معنی‌داری با تعداد گلچه‌های بارور تکامل یافته پیش از گرده‌افشانی یعنی در زمان بوتینگ دارد (Wang *et al.*, 2001). به دلیل وراثت‌پذیری پایین عملکرد دانه اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک در کنار برنامه‌های اصلاحی جهت مدیریت عملکرد نهایی ضروری می‌باشد. زیرا عملکرد نهایی برآیند روابط بین صفات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و بیوشیمیایی است و تغییر در این صفات موجب کاهش عملکرد خواهد شد. تبادلات گازی و فتوسنتزی گیاهان زراعی از مهمترین صفات فیزیولوژیک هستند که تحت تنش‌های مختلف بویژه تنش خشکی تغییرات محسوسی دارند و می‌توانند بر عملکرد نهایی بسیار اثرگذار باشند (Kalaji *et al.*, 2016). تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه از مهمترین عوامل داخلی تنظیم‌کننده‌ی صفات فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مورفولوژیک گیاه زراعی در پاسخ به عوامل محیطی و ژنتیکی می‌باشند. روابط بین تنظیم‌کننده‌های رشد و متابولیسم گیاه بسیار پیچیده بوده و نتیجه اثرات متقابل بین آن‌ها می‌باشد و می‌تواند بر فتوسنتز، تنفس، تبادلات گازی، مقادیر آنژی‌اکسیدانت موجود در سلول‌های گیاهی، روابط قندها و غیره اثرگذار باشد (Lenoble *et al.*, 2004). به‌عنوان مثال اکسین و جیبرلین با هم نقش‌های مهمی در

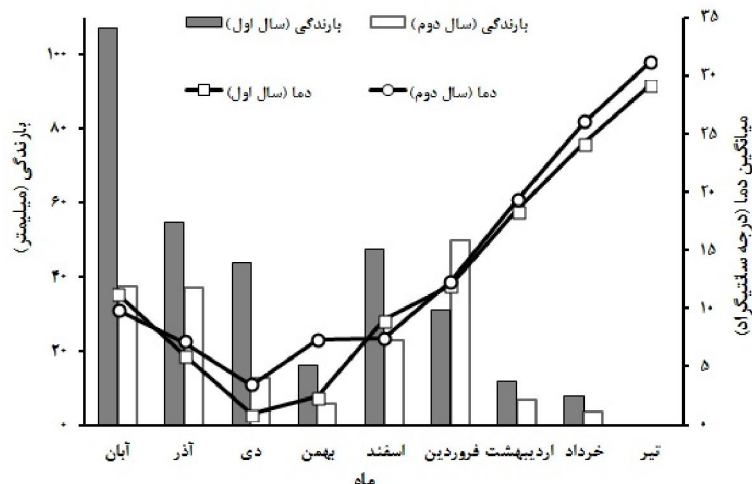
مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه‌ی تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی با موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه‌ی شمالی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه‌ی شرقی با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا اجرا شد. نمودار بارندگی و میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهیانه سال‌های آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.

قبل از اجرای آزمایش و کشت گندم در هر سال از خاک مزرعه توسط آگر به طور تصادفی چند نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر گرفته شد. سپس خاک نمونه‌های مختلف با یکدیگر مخلوط و برای اندازه‌گیری به آزمایشگاه آب و خاک تحویل داده شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش خاک به ترتیب مقدار ۲۵ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و اوره استفاده شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط دیم اجرا گردید. عوامل آزمایش شامل کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد گیاه یعنی اکسین (ایندولاستیک اسید، IAA)، جیبرلین (جیبرلیک اسید، GA3) و سیتوکینین (۶-بنزیل آمینوپورین، 6-BAP) محصول شرکت سیگما (Sigma) به همراه آب مقطر (شاهد) در مرحله بوتینگ (آبستنی) کد ۴۱-۴۰ زادوکس، در دو رقم گندم دیم ریژاو و آذر-۲ بود. ارقام گندم دیم ریژاو و

واکنش گیاه به تنش خشکی دارند، به طوری که کاهش سطح این دو تنظیم‌کننده رشد ممکن است باعث جلوگیری از رشد و نمو گیاه در شرایط کمبود آب شود. سطوح اکسین و سیتوکینین در ریشه در واکنش به تنش خشکی افزایش می‌یابد و این موضوع اشاره به این دارد که این دو ماده از طریق تحریک رشد ریشه‌های اولیه و در نتیجه جذب آب و مواد غذایی از اعماق خاک، نقش مهمی را در شرایط خشکی ایفا می‌کنند (Ashraf, 2014). بطور کلی کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه می‌تواند از طریق محلول‌پاشی برگی صورت پذیرد. محلول‌پاشی برگی، اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گونه‌های مختلف گیاه کم می‌کند و به عنوان یک رویکرد برای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی در کشاورزی در نظر گرفته می‌شود (Ashraf et al., 2011). محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد در مرحله بوتینگ در دو رقم گندم نان (پیش‌تاز و سیوند) نشان داد کاربرد این مواد اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت داشته است. همچنین تعداد دانه همبستگی معنی‌دار و مثبتی با عملکرد داشته است و موجب افزایش آن شده است که این افزایش تحت تأثیر کاربرد همزمان اکسین و سیتوکینین بوده است (Jalali-Honarmand et al., 2015). هدف از اجرای این آزمایش بررسی اثرات کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد بر روابط فتوسنتز و برخی صفات رشد گیاه دو رقم گندم تحت شرایط دیم و ارتباط صفات مذکور با عملکرد نهایی دانه‌ی ارقام بود.



شکل ۱- میزان بارندگی (میلی متر) و میانگین دمای حداکثر و حداقل ماهانه (درجه سانتی گراد) شهر کرمانشاه در سال‌های آزمایش (۱۳۹۲-۹۳ و ۹۴-۱۳۹۳) (سازمان هواشناسی کشور).

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه آزمایش

سال آزمایش	نوع بافت	ذرات خاک (درصد)			کربن آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	نیترژن (درصد)	آهک (درصد)	املاح محلول (mmhos cm ⁻¹)	اسیدیته (pH)
		رس	سیلت	شن								
سال اول	رسی-سیلتی	۵۵	۴۳	۲	۱/۰	۱/۷۲	۸/۲	۴۰۰	۰/۱۱	۳۵	۱/۰۹	۷/۹
سال دوم	رسی-سیلتی	۵۳	۴۴	۳	۱/۲	۲/۰۶	۷/۸	۳۹۵	۰/۱۲	۳۳	۱/۰۰	۷/۷

در مترمربع در زمان کاشت در نظر گرفته شد. فاصله بین پلات‌ها نیم متر بود. در هر بار محلول پاشی ۶ خط هر پلات با میزان ۵۰۰ میلی لیتر از محلول‌ها با غلظت ۵۰ میکرومولار (براساس جرم مولکولی آن‌ها) توسط مه پاش‌های دستی کاملاً خیس شدند (Yang et al., 2002; 2003). جهت اطمینان از جذب شدن تنظیم‌کننده‌های رشد توسط گیاه عمل محلول پاشی در سه روز متوالی بعد از غروب آفتاب (جهت جلوگیری از تجزیه آن‌ها توسط نور خورشید) انجام شد. گیاهان شاهد نیز با آب مقطر تیمار شدند.

آذر-۲ کشت شده در این آزمایش که از معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم- سرارود تهیه شده بودند به ترتیب به عنوان ارقام با عملکرد بالا و پایین انتخاب شده بودند. رقم تازه معرفی شده ریژاو از ارقام با متوسط عملکرد بالا نسبت به سایر ارقام دیم قبلی (آذر-۲ و سرداری) در استان کرمانشاه می‌باشد و از لحاظ دوره رشد و نمو حدوداً نسبت به ارقام قبلی دو هفته زودتر برداشت می‌شود (حق پرست و همکاران، ۱۳۹۲). کشت به شکل ردیفی و با شش ردیف کشت به فاصله خطوط ۱۷/۵ سانتی متر انجام شد. تراکم ۳۰۰ بوته

هدایت مزوفیلی از تقسیم میزان فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن درون روزنه‌ها به دست آمد (Fischer et al., 1998). همچنین به‌منظور تعیین کارایی مصرف آب فتوسنتزی میزان فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای تقسیم شد (Ritchie and Nguyen, 1990).

در زمان برداشت، با حذف حاشیه‌ها، یک مترمربع نمونه گیاهی از هر پلات برداشت شد و کل نمونه‌ی برداشت شده برای محاسبه عملکرد بیولوژیک با ترازو توزین شد. پس از خرمکوبی نیز، عملکرد نهایی دانه محاسبه شد.

آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به ترتیب با نرم افزارهای SAS 9.1، SPSS 16 انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مجموع رنگیزه‌های کلروفیل (کلروفیل a + b) و کاروتنوئید نشان می‌دهد، مجموع این رنگیزه‌ها تحت تأثیر معنی‌دار رقم، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل بین این دو عامل قرار گرفته‌اند (جدول ۲). به‌طور کلی محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد میزان رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید را نسبت به شاهد افزایش داد و در بین آن‌ها محلول‌پاشی سیتوکینین (6-BAP)، بیشترین میزان را به خود اختصاص داد که در هر دو رقم با شاهد تفاوت معنی‌دار داشت (شکل ۲-ه).

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد سطح برگ پرچم گیاهان گندم نیز تحت تأثیر رقم، محلول-پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد و اثر متقابل این

اندازه‌گیری صفات مورد بررسی در این آزمایش بعد از کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد در زمان ورود هر ژنوتیپ به مرحله بوتینگ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی (محتوی کلروفیل و کاروتنوئیدها) از روش تغییر یافته اشرف و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ پرچم از هر کرت ده نمونه‌ی برگ پرچم ساقه اصلی تهیه و طول و عرض آنها توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس میانگین سطح برگ طبق رابطه زیر محاسبه گردید (Rawson et al., 1988):

$$\text{سطح برگ پرچم} = \text{طول برگ} \times \text{عرض برگ} \times 0.73$$

سپس نمونه‌ها جهت خشک شدن و محاسبه وزن خشک به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن ویژه برگ پرچم از رابطه زیر محاسبه شد (کوچکی و سرمدنیان، ۱۳۸۰):

$$\text{SLW (mg.cm}^{-2}\text{)} = \text{LDW/LA}$$

$$\text{LA} = \text{سطح برگ پرچم}$$

$$\text{LDW} = \text{وزن خشک برگ پرچم}$$

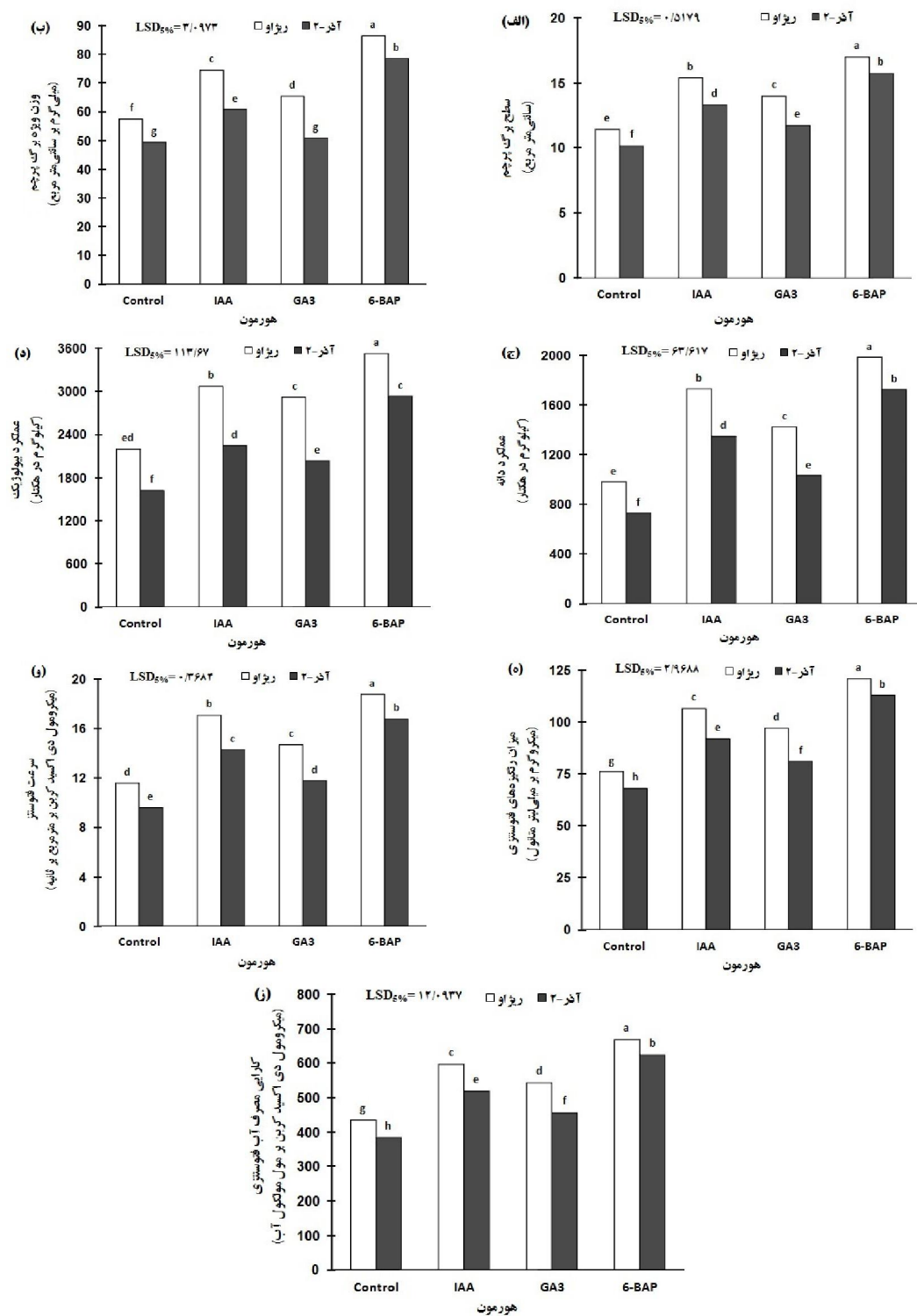
جهت آنالیز داده‌ها از میانگین داده‌های هر کرت استفاده شد.

برای اندازه‌گیری تبادلات گازی برگ پرچم در مرحله بوتینگ سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ پرچم، هدایت روزنه‌ای و غلظت دی-اکسیدکربن اتاقک زیرروزنه از دستگاه فتوسنتز متر (Portable LCI)، ساخت شرکت Bio scientific Ltd) استفاده شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۰-۱۲ صبح و در شدت نور ۱۴۰۰-۱۲۰۰ میکرومول فوتون برمترمربع برثانیه انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات محلول پاشی تنظیم کننده های رشد مختلف در مرحله ی بوتینگ بر برخی صفات فیزیولوژیک برگ پرچم دو رقم گندم تحت شرایط دیم

میانگین مربعات											
منابع تغییرات	درجه آزادی	سطح برگ پرچم	وزن ویژه برگ پرچم	میزان رنگیزه های فتوستزی	سرعت فتوستزی	هدایت روزنه	غلظت دی اکسید کربن اتاقتک زیر روزنه	کارایی مصرف آب فتوستزی	هدایت مزوفیلی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
سال (Y)	۱	۳/۹ ^{NS}	۲۱۰/۰ ^{NS}	۲۹۸/۵ ^{NS}	۲۳/۹ ^{NS}	۲۶۵/۵ ^{NS}	۵۰۲۰۰/۷ ^{NS}	۱۱۷۳۷/۵ ^{NS}	۳۰۰۶/۷ ^{NS}	۲۹۱۰۱۸/۸ ^{NS}	۱۴۲۰۰۳۲/۰ ^{NS}
تکرار در سال R(Y)	۴	۴/۴*	۲۹۸/۷*	۴۸۳/۴*	۷/۶*	۱۴۵/۰**	۹۷۹۵/۳**	۱۲۷۴۴/۱*	۴۹۰/۴**	۱۳۹۲۷۵/۱*	۴۴۱۹۸۷/۲*
تنظیم کننده های رشد (PGR)	۳	۶۶/۵**	۱۹۶۲/۲**	۴۱۷۲/۶**	۱۱۶/۶**	۳۵۰/۹ ^{NS}	۱۹۵۰۹/۵*	۱۱۷۸۷۷/۸**	۱۷۵۹/۶*	۲۱۷۲۵۲۰/۲**	۳۵۳۸۱۱۵/۹**
رقم (C)	۱	۳۵/۰*	۱۴۵۴/۲*	۱۶۶۰/۲*	۷۱/۲*	۴۶/۲ ^{NS}	۴۳۲۶۶/۰*	۵۰۵۴۴/۱*	۵۶/۱ ^{NS}	۱۲۵۴۳۷۱/۶*	۵۹۳۷۵۴۰/۰**
سال × تنظیم کننده های رشد Y*PGR	۳	۰/۶ ^{NS}	۲۱/۱ ^{NS}	۲۶/۶ ^{NS}	۲/۰ ^{NS}	۱۱۶/۷*	۱۲۴۹/۳ ^{NS}	۷۲۸/۳ ^{NS}	۸۸/۲ ^{NS}	۲۹۹۴۵/۸ ^{NS}	۹۵۷۵۰/۱ ^{NS}
سال × رقم Y*C	۱	۰/۰۱ ^{NS}	۲/۶ ^{NS}	۷/۱ ^{NS}	۰/۱ ^{NS}	۱/۱ ^{NS}	۲۶۶/۴ ^{NS}	۲۰۸/۳ ^{NS}	۲۹/۹ ^{NS}	۱۲۰۹/۰ ^{NS}	۹۰۱/۳ ^{NS}
رقم × تنظیم کننده های رشد PGR*C	۳	۰/۷*	۳۷/۴*	۵۲/۰*	۰/۶*	۲/۷ ^{NS}	۲۸۸۸/۷ ^{NS}	۱۲۲۴/۵*	۱۰۳/۱ ^{NS}	۱۶۳۵۵/۱*	۵۷۵۶۹/۶*
سال × تنظیم کننده های رشد × رقم Y*PGR*C	۳	۰/۰۷ ^{NS}	۲/۸ ^{NS}	۲/۶ ^{NS}	۰/۰۴ ^{NS}	۴/۴ ^{NS}	۴۰۷/۳ ^{NS}	۴۳/۳ ^{NS}	۲۱/۸ ^{NS}	۱۱۹۸/۸ ^{NS}	۳۸۲۷/۲ ^{NS}
خطای آزمایش	۲۸	۱/۵	۸۷/۲	۱۲۷/۶	۲/۴	۲۵/۹	۱۸۷۳/۴	۳۴۸۸/۵	۴۳/۸	۴۸۱۱۰/۴	۱۵۹۱۳۳/۵
ضریب تغییرات (درصد)	—	۹/۱۴	۱۴/۲۸	۱۱/۹۸	۱۰/۹	۱۵/۰۳	۱۵/۰۶	۱۱/۲۰	۱۲/۵۸	۱۰/۱۱	۱۱/۴۹

NS، * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل بین محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد و دو رقم گندم دیم در مرحله بوتینگ. میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

و، ز). بین تنظیم کننده‌های مختلف رشد سیتوکینین (6-BAP) برای صفت سرعت فتوسنتز برای هر دو رقم گندم با مقادیر ۱۸/۸ و ۱۶/۸ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه و برای کارایی مصرف آب فتوسنتزی ۶۶۷/۱ و ۶۲۲/۱ میکرومول دی‌اکسید کربن بر مول مولکول آب بیشترین مقادیر را داشت. به‌طور کلی برای هر دو صفت سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی میانگین رقم ریژا نسبت به آذر-۲ بیشتر بود (شکل ۲-و، ز).

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد هیچکدام از اثرات ساده رقم، تنظیم کننده‌های رشد و اثر متقابل بین آن‌ها بر صفت هدایت روزنه‌ای معنی‌دار نبود. اما اثرات ساده تنظیم کننده‌های رشد و رقم برای صفت غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه و اثر ساده تنظیم کننده‌های رشد برای صفت هدایت مزوفیلی معنی‌دار بودند. با این حال هیچ‌یک از صفات غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه و هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر اثر متقابل تنظیم کننده‌های رشد در رقم قرار نگرفتند (جدول ۲). بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزنه با میانگین ۳۱۷/۳ میلی‌مول مربوط به رقم آذر-۲ بود (جدول ۳). در بین تنظیم کننده‌های رشد نیز بیشترین مقدار با میانگین ۳۳۶/۸ میلی‌مول و کمترین مقدار با میانگین ۲۵۱/۴ میلی‌مول به ترتیب مربوط به سطوح شاهد و سیتوکینین بود (جدول ۴). کاربرد سیتوکینین و اکسین با میانگین‌های به ترتیب ۶۶/۷ و ۵۸/۳ میلی‌مول دی‌اکسید کربن بر متر مربع بر ثانیه بیشترین و کاربرد GA3 و عدم کاربرد (شاهد) به ترتیب با مقادیر

دو عامل قرار گرفت (جدول ۲). به‌طور کلی میانگین سطح برگ پرچم رقم ریژا بیشتر از آذر-۲ بود. همچنین تفاوت معنی‌دار بین استفاده از تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و شاهد وجود داشت. به‌طوری که کاربرد 6-BAP در ارقام ریژا و آذر-۲ به ترتیب با مساحت ۱۶/۹ و ۱۵/۷ سانتی‌مترمربع نسبت به شاهد با مقادیر ۱۱/۴ و ۱۰/۱ سانتی‌مترمربع اختلاف معنی‌دار داشتند (شکل ۲-الف).

وزن ویژه برگ پرچم نیز همانند دو صفت قبلی تحت تأثیر برهمکنش تنظیم کننده‌های رشد × رقم قرار گرفت (جدول ۲). به‌طوری‌که شکل (۲-ب) نشان می‌دهد، رقم ریژا در تمام تیمارهای تنظیم کننده‌های رشد نسبت به رقم آذر-۲ برتری داشت. کاربرد تنظیم کننده رشد 6-BAP و عدم کاربرد تنظیم کننده‌های رشد (شاهد) به ترتیب بیشترین و کمترین میزان سطح ویژه برگ پرچم را در بین تیمارها داشتند. اختلاف میانگین بین رقم ریژا و آذر-۲ از این نظر به ترتیب ۷/۹ و ۸/۱ میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع بود. همچنین اختلاف میانگین بین کاربرد سیتوکینین و شاهد برای رقم ریژا ۲۸/۹ میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع و برای رقم آذر-۲، ۲۹/۱ میلی‌گرم بر سانتی‌مترمربع بود. بعد از سیتوکینین تنظیم کننده رشد اکسین بیشترین اثر معنی‌دار را بر وزن ویژه برگ پرچم داشت (شکل ۲-ب).

صفات سرعت فتوسنتز و کارایی مصرف آب فتوسنتزی نیز تحت تأثیر اثر متقابل رقم و تنظیم کننده‌های رشد قرار گرفتند (جدول ۲). در هر دو صفت کاربرد تنظیم کننده‌های مختلف رشد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار داشت (شکل ۲-ب).

جدول ۳- تفاوت میانگین برخی از صفات فیزیولوژیک برگ پرچم دو رقم گندم (در مرحله بوتینگ) تحت شرایط

دیم

رقم	غلظت دی اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه (میلی مول)	هدایت مزوفیلی (میلی مول دی اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه)
ریژاو	۲۵۷/۲ ^b	۵۱/۵ ^a
آذر-۲	۳۱۷/۳ ^a	۵۳/۷ ^a
LSD 5%	۵۹/۸۷۸	۲۰/۰۶۵

جدول ۴- تفاوت میانگین اثرات محلول پاشی تنظیم کننده های مختلف رشد بر برخی صفات فیزیولوژیک برگ پرچم دو رقم گندم (در مرحله بوتینگ) تحت شرایط دیم

تنظیم کننده های رشد	غلظت دی اکسیدکربن اتاقک زیر روزنه (میلی مول)	هدایت مزوفیلی (میلی مول دی اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه)
شاهد	۳۳۶/۸ ^a	۵۷/۱ ^b
IAA	۲۵۷/۶ ^{bc}	۵۸/۳ ^a
GA3	۳۰۳/۱ ^{ab}	۴۵/۱ ^b
6-BAP	۲۵۱/۴ ^c	۶۶/۷ ^a
LSD 5%	۴۵/۹۲۳	۱۲/۲۰۸

میانگین های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD)، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار با یکدیگر ندارند.

خارجی سیتو کینین به ترتیب برابر با ۳۵۲۲ و ۲۹۲۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲- د). بطور کلی عملکرد دانه و بیولوژیک ارقام تحت کاربرد خارجی تنظیم کننده های رشد گیاهی نسبت به شاهد میانگین بیشتر و معنی دار داشتند. همچنین در تمام سطوح کاربرد تنظیم کننده های رشد و شاهد میانگین عملکرد رقم ریژاو نسبت به آذر-۲ برتری داشت (شکل ۲- ج، د).

بحث

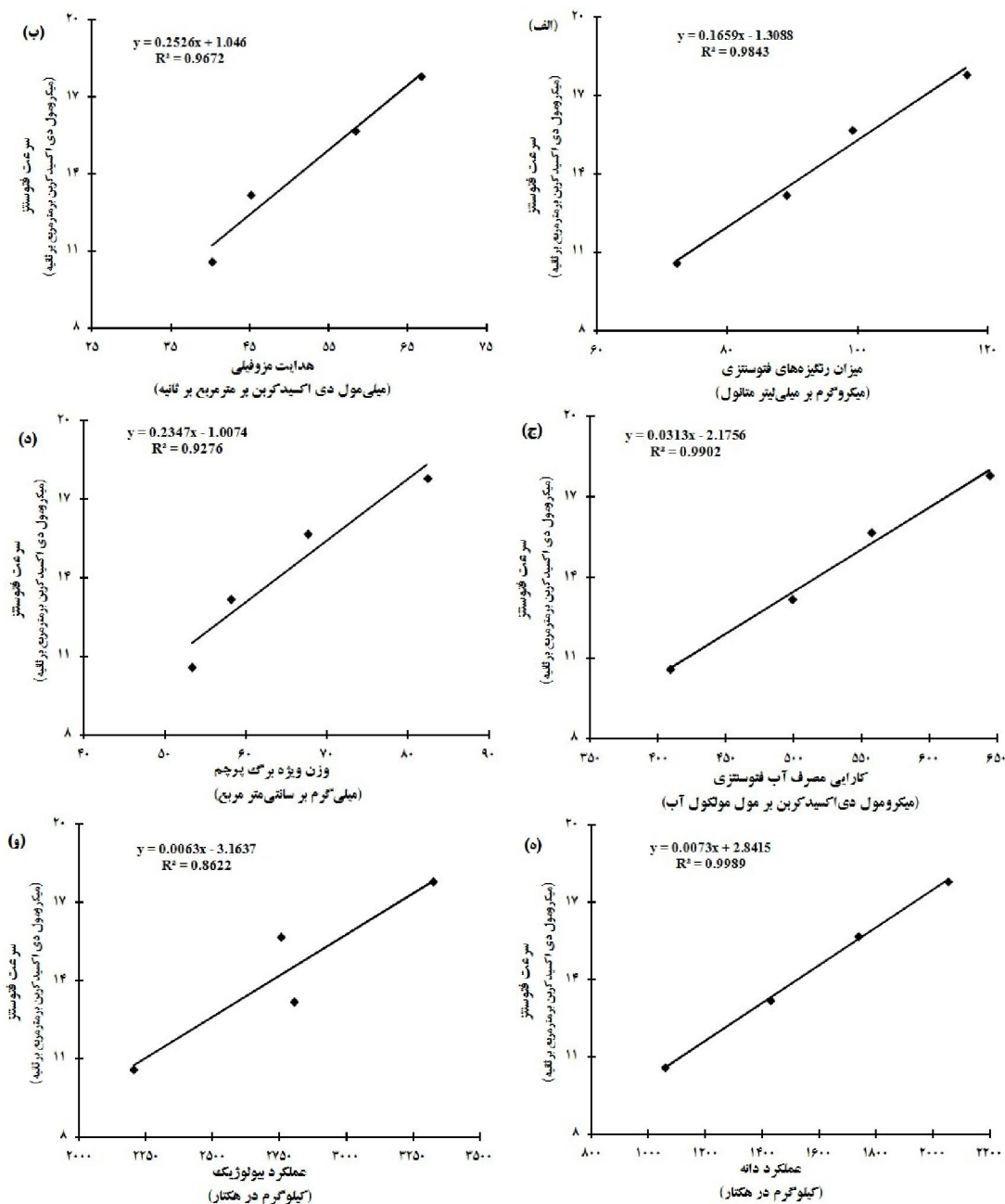
تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک برگ گیاهان و عکس العمل آنها در شرایط تنش خشکی می تواند بر میزان جذب نور و در نهایت

۴۵/۱ و ۵۷/۱ میلی مول دی اکسیدکربن بر مترمربع بر ثانیه کمترین میانگین هدایت مزوفیلی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

بر اساس نتایج بدست آمده، اثرات ساده تنظیم کننده های رشد، رقم و اثر متقابل آنها بر عملکرد دانه و بیولوژیک معنی دار بود (جدول ۲). براساس نتایج مقایسه میانگین داده ها کاربرد خارجی سیتو کینین (6-BAP) باعث تولید بیشترین مقدار عملکرد دانه با میانگین های ۱۹۸۳ و ۱۷۲۳ کیلوگرم در هکتار برای رقم ریژاو و آذر-۲ شد (شکل ۲- ج). همچنین میانگین عملکرد بیولوژیک ارقام ریژاو و آذر-۲ تحت کاربرد

برگ یا گیاه برای جذب نور و جلوگیری از هدر رفت نور در فرآیند فتوسنتز نیز بیشتر است. ارتباط مستقیم و مثبت بین وزن ویژه برگ با مقدار فتوسنتز به حدی است که محققین عنوان کرده‌اند که اندازه‌گیری وزن ویژه برگ به‌علت عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته یک روش مناسب و جایگزین در تخمین میزان فتوسنتز برگ است. در آزمایش حاضر نتایج نشان داد که وزن ویژه برگ علاوه بر اینکه می‌تواند وابسته به ژنتیک گیاه باشد (یعنی بسته به نوع رقم مقادیر وزن ویژه متفاوت باشد)، همچنین می‌تواند تحت تأثیر کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد نیز قرار بگیرد و نسبت به شاهد این ویژگی مطلوب در گیاه و به‌طور کلی در کانوپی گیاهی افزایش یابد. بین دو رقم کشت شده میزان وزن ویژه برگ رقم ریژا و رقم آذر-۲ بیشتر بود. در بین تنظیم‌کننده‌های رشد نیز، محلول‌پاشی سیتوکینین (6-BAP) و اکسین (IAA) هم در صفات سطح برگ پرچم و هم در صفت وزن ویژه برگ پرچم بیشترین اثر را داشته‌اند. شکل ۴ که روابط بین وزن ویژه برگ پرچم و مجموع رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید را تحت اثر کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد نشان می‌دهند، بیانگر آن است که وزن ویژه برگ (ضخامت برگ) با میزان مجموع رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در سلول‌های مزوفیل ارتباط مستقیم و مثبتی دارد ($R^2=0/94$). همانطور که در بررسی وضعیت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز گفته شد محلول‌پاشی سیتوکینین (6-BAP) اثر مثبت و معنی‌داری بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت.

بر عملکرد گیاه اثر بگذارد. نتایج بسیاری از مطالعات قبلی بیانگر آن است که در شرایط تنش خشکی و گرما تعداد و سطح برگ گیاه کاهش می‌یابد. این کاهش سطح برگ را نتیجه کاهش تقسیم سلول‌های مرستمی و پیری در برگ که منجر به کند شدن رشد برگ، توقف تولید برگ و کوچک شدن اندازه سلول‌ها نسبت داده‌اند (Lobato *et al.*, Osuagwu *et al.*, 2010). چنان‌که این کاهش سطح برگ عاملی برای تحمل به خشکی است. بدان‌معنا که کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی با کاهش ناحیه سطح تعرق موجب حفظ آب در گیاه می‌شود. با این حال باید به این نکته توجه شود که تغییرات سطح برگ در بین سازش‌های گیاهی مرتبط با تنش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا از یک طرف با این که کاهش سطح برگ موجب حفظ آب در گیاه می‌شود اما از طرف دیگر نتایج تحقیقات نشان می‌دهد با کاهش سطح برگ میزان فتوسنتز و به‌دنبال آن عملکرد نیز کاسته خواهد شد (روحی و سی‌وسه مرده، ۱۳۸۷). در این مورد توجه به رابطه بین سطح و وزن برگ (وزن ویژه برگ) که نشان‌دهنده توان فتوسنتزی برگ است نسبت به فقط ویژگی سطح برگ اهمیت بیشتری دارد. وزن ویژه برگ در واقع نشان‌دهنده ضخامت برگ است. به این معنی که برگ ضخیم‌تر تعداد سلول‌های مزوفیلی بیشتری در واحد سطح خود دارد و این باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه می‌شود (Hubick *et al.*, 1986). توان تولیدی یک گیاه بستگی به سرعت فتوسنتز آن دارد. در واقع هر چه قدر مقدار وزن ویژه برگ بیشتر باشد توان آن



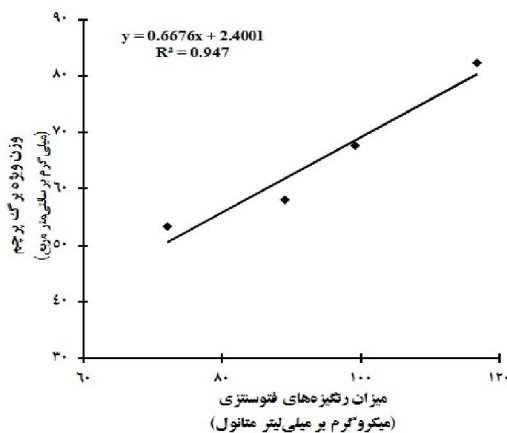
شکل ۳- روابط بین سرعت فتوستز و میزان رنگیزه‌های فتوستزی (الف)، هدایت مزوفیلی (ب)، کارایی مصرف آب فتوستزی (ج)، وزن ویژه برگ پرچم (د)، عملکرد دانه (ه) و عملکرد بیولوژیک (و) برگ پرچم دو رقم گندم دیم تحت کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد.

که هرچقدر غلظت رنگیزه‌های موجود در برگ افزایش یابد ضخامت برگ نیز بیشتر می‌شود و سیتوکینین (6-BAP) یک اثر مشترک بر این رابطه

در اینجا نیز با محلول‌پاشی سیتوکینین (6-BAP) و اکسین (IAA) صفت وزن ویژه برگ بهبود پیدا کرده است و در واقع شکل ۴ نیز بیانگر این است

(بین افزایش غلظت رنگیزه‌ها و ضخامت برگ)

دارد.



شکل ۴- روابط بین وزن ویژه برگ پرچم و میزان رنگیزه‌های فتوستزی برگ پرچم دو رقم گندم دیم تحت کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های مختلف رشد.

انتقال الکترون، فرآیندهای چرخه کالوین و غیره هر کدام نقش مهمی در عملکرد سیستم فتوستزی دارند. همانطور که در شکل (۳-ب) نشان داده شده است سرعت فتوستز با هدایت مزوفیلی ارتباط مثبت و بسیار بالایی دارد ($R^2=0/96$). چنین ارتباطی را می‌توان به علت کارکرد صحیح سیستم فتوستزی دانست. همانطور که قبلاً بیان شد دو پارامتر مهم که نشان‌دهنده توان فتوستز هستند یعنی میزان کل رنگیزه‌های فتوستزی و وزن ویژه برگ ارتباط مثبت و بالایی با سرعت فتوستز از خود نشان داده‌اند (شکل ۳-الف و د). بهبود غلظت رنگیزه‌های فتوستزی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد و بویژه سیتوکینین در این آزمایش ممکن است به علت نقش حفاظتی این مواد در به تأخیر انداختن پیری برگ و جلوگیری از تخریب رنگیزه‌ها در شرایط کمبود رطوبت باشد. از دیگر عوامل غیرروزنه‌ای بسیار مهم در

فتوستز تعیین‌کننده اصلی رشد و عملکرد گیاهان است و توانایی حفظ آن در شرایط تنش‌های محیطی برای حفظ ثبات عملکرد مهم است. کاهش رشد گیاهان زراعی به واسطه‌ی محدود شدن فتوستز صورت می‌گیرد. فرآیند فتوستز نیز خود تحت تأثیر محدودیت‌های روزنه‌ای و عوامل غیر روزنه‌ای در مواجهه گیاه با تنش، دچار اختلال می‌شود (Del Blanco *et al.*, 2000). کاهش فتوستز را می‌توان به نقصان هدایت روزنه‌ای نسبت داد که تحت تنش کاهش می‌یابد. بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش گرچه به منظور کاهش هدررفت آب صورت می‌گیرد اما به واسطه‌ی جلوگیری از ورود دی‌اکسیدکربن می‌تواند فتوستز را به کم‌تر از نقطه‌ی جبرانی کاهش دهد (Ashraf and Harris, 2004). علاوه بر محدودیت روزنه‌ای، عوامل غیر روزنه‌ای نیز مانند هدایت مزوفیلی، انتقال الکترون در زنجیره

بین سرعت فتوسنتز و عملکرد دانه در شکل (۳-ه) نشان داده شده است.

مطالعات انجام گرفته حاکی از آن است که بیشتر ویژگی‌های تبادلات گازی در گندم می‌تواند در شرایط دیم (کمبود آب) نسبت به وضعیت مطلوب رطوبتی کاهش پیدا کنند. با این وجود مقدار کاهش در ژنوتیپ‌ها و لاین‌های مقاوم کمتر از ژنوتیپ‌ها و لاین‌های حساس به خشکی است (Tas and Tas, 2007؛ روحی و سی‌وسه‌مرده، ۱۳۸۷). چنان‌که کاهش سرعت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در گیاهان گندم تحت شرایط اعمال تنش خشکی در روزهای بعد از گرده‌افشانی همراه با کاهش میزان اکسین و افزایش غلظت آبسزیک-اسید بوده است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۹). کاهش سرعت فتوسنتز و افزایش دمای برگ ارقام مختلف گندم در شرایط تنش رطوبتی نسبت به شرایط مطلوب رطوبت توسط عبدلی و همکاران (۱۳۹۴) نیز گزارش شده است. لی و زو (۲۰۱۴) نیز در بررسی کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی بر فتوسنتز گیاه زنجبیل نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی آبسزیک‌اسید موجب کاهش سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و سرعت تعرق می‌شود در حالی که کاربرد خارجی سیتوکینین و اکسین باعث بهبود پارامترهای تبادل گازی در این گیاه می‌شوند. شاو و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه خود بر روی ارتباط سیتوکینین و فتوسنتز در ذرت دریافتند که سیتوکینین موجب افزایش عملکرد فتوسنتز در برگ‌های ذرت تحت تنش خشکی می‌شود. چنین بهبودی در روابط فتوسنتز و محتوای کلروفیل در اثر افزایش میزان شبه تنظیم‌کننده‌های

سرعت فتوسنتز هدایت مزوفیلی (میزان فتوسنتز به غلظت دی‌اکسیدکربن اتافک زیر روزنه) است که در واقع عکس مقامت بر سر راه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بعد از ورود به روزنه (اتافک زیر روزنه‌ای) تا محل کربوکسیلاسیون در سلول است (Barutcular et al., 2000). براساس شکل (۳-ب) سرعت فتوسنتز با هدایت روزنه‌ای ارتباط مثبت و بسیار بالایی ($R^2=0/96$) دارد. این نتایج نشان می‌دهد جلوگیری از کاهش یا بهبود میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، وزن ویژه برگ و هدایت مزوفیلی منجر به افزایش سرعت فتوسنتز شده است که به دنبال آن کارایی مصرف آب فتوسنتزی نیز بهبود یا افزایش یافته است (شکل ۳-ج) ($R^2=0/99$). در تمامی صفات فیزیولوژیک که در مرحله بوتینگ اندازه‌گیری شده‌اند یک وجه مشترک در نوع تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده دیده می‌شود. براساس نتایجی که شرح داده شد، کاربرد خارجی سیتوکینین (6-BAP) و اکسین (IAA) صفات سرعت فتوسنتز، هدایت مزوفیلی و غلظت دی‌اکسیدکربن اتافک زیر روزنه را در وضعیت بهتری نسبت به شاهد و حتی محلول‌پاشی جبرلیک‌اسید (GA_3) قرار داده‌اند (شکل ۲). بهبود فتوسنتز منجر به افزایش تجمع مواد فتوسنتزی بیشتر در گیاهان تحت کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد بویژه سیتوکینین شده است که افزایش عملکرد بیولوژیک نشان دهنده‌ی آن است (شکل ۳-و). مواد فتوسنتزی نه تنها منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک شده است بلکه با افزایش تعداد دانه در سنبله (نتایج نشان داده نشده است) عملکرد نهایی دانه نیز افزایش پیدا کرده است. همبستگی

دانست که هبستگی بین سطح ویژه برگ و غلظت رنگیزه‌های فتوستتزی تأیید کننده این مطلب است. نقش مثبت کاربرد تنظیم کننده‌های رشد در مرحله بوتینگ را می‌توان به بهبود صفاتی از جمله سرعت فتوسنتز، هدایت مزوفیلی، وزن ویژه برگ، کارایی مصرف آب فتوستتزی و غیره دانست. در واقع با بهبود چنین ویژگی‌هایی شرایط برای بقا گلچه و تعداد دانه‌ی بیشتر فراهم شده است. وجه مشترک بین اثرات مثبت سیتوکینین (6-BAP) و اکسین (IAA) بر صفات مذکور و عملکرد دانه مؤید این نتیجه است.

سپاسگزاری

نتایج این مقاله بخشی از رساله دکتری مسئول مکاتبه می‌باشد. از دانشگاه رازی به دلیل حمایت مالی و فراهم نمودن امکانات جهت اجرای این آزمایش سپاسگزاری می‌شود. همچنین از راهنمایی‌های پروفسور یانگ از دانشگاه یانگجو چین در زمینه کاربرد تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و فراهم کردن امکان حضور در تیم تحقیقاتی ایشان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

رشد براسینواستروئید در گیاه تحت تنش‌های مختلف از جمله تنش خشکی نیز گزارش شده است (Li et al., 2012).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه استان کرمانشاه جزء مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود، بنابراین در چنین مناطقی گیاهان گندم در کشت دیم پاییزه در ماه‌های آخر رشد و نمو خود به علت کاهش چشمگیر بارندگی و افت رطوبت در خاک دچار تنش خشکی یا کمبود آب می‌شوند. در رابطه با صفات فیزیولوژیک که در مرحله بوتینگ اندازه‌گیری شد نتایج نشان داد محلول‌پاشی تنظیم کننده‌های مختلف رشد بویژه سیتوکینین (6-BAP) توانسته میزان رنگیزه‌های فتوستتزی را نسبت به شاهد بهبود دهد و به‌طور کلی این اثر مثبت در رقم ریژاو چشمگیرتر بوده است. افزایش وزن ویژه برگ پرچم نشان دهنده آن است که وزن برگ تحت تأثیر سیتوکینین افزایش بیشتری نسبت به سطح آن داشته است که علت آن هم می‌تواند در افزایش تعداد سلول‌های مزوفیل یا افزایش غلظت رنگیزه‌های کلروفیل و کاروتنوئید در این سلول‌ها

منابع

حق پرست رضا، رجبی رحمان، روستایی مظفر، آقایی سربرزه مصطفی، احمدی ملک مسعود، پور سیاه بیدی مهدی، حسن پورحسینی مقصود، صادق زاده اهری داوود، جعفرزاده جعفر، زادحسن اسماعیل، نجفیان گودرز، صادق زاده بهزاد، روحی ابراهیم، سلیمانی کاظم، عابدی اصل غلامرضا، بهرامی نوذر، دریایی امیر، عبدالهی عبدالوهاب، بهرامی سرحد، خلیل زاده غلامرضا، محفوظی سیروس، حسامی علی، نیستانی الیاس، بابایی تقی. ۱۳۹۲. معرفی رقم: ریژاو، رقم جدید گندم نان برای کاشت در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مناطق سرد ایران. مجله به‌نژادی نهال و بذر ۲۹-۱(۲) ۴۰۱-۴۰۳

روحی ابراهیم، سی و سه مرده، عادل. ۱۳۸۷. بررسی تبادلات گازی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم (*Triticum aestivum* L. در شرایط تنش خشکی. نهال و بذر ۲۴ (۱) ۶۲-۴۵

سعیدی محسن، مرادی فواد، احمدی علی، سپهری فر روشنگر، نجفیان گودرز، شعبانی اکبر. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی انتهای فصل بر خصوصیات فیزیولوژیک و روابط منبع و مخزن در دو رقم گندم نان (*Triticum*

aestivum L). مجله علوم زراعی ایران ۱۲ (۴) ۴۰۸-۳۹۲

عبدلی مجید، سعیدی محسن، جلالی هنرمند سعید، منصوریر سیروس، قبادی محمد اقبال. ۱۳۹۴. تأثیر محدودیت منابع فتوسنتزی و تنش کم آبی پس از گرده‌افشانی بر سرعت پرشدن دانه، فتوسنتز و تبادلات

گازی ارقام گندم نان. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۸ (۲) ۱۳۱-۱۴۷

کوچکی عوض، سرمدنیا غلامحسین. ۱۳۸۰. فیزیولوژی گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۰۰ صفحه

Amiri R, Bahraminejad S, Sasani S, Jalali-Honarmand S, Fakhri R. 2015. Bread wheat genetic variation for grain's protein, iron and zinc concentrations as uptake by their genetic ability. *European Journal of Agronomy* 67:20-26

Ashraf M. 2014. Stress-induced changes in wheat grain composition and quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54(12):1576-1583

Ashraf MY, Azmi AR, Khan AH, Ala SA. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. *Acat Physiol Planta* 16: 185-190

Ashraf M, Akram NA, Al-Qurainy F, Foolad MR. 2011. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators and mineral nutrients, 295 pp.

Ashraf M, Harris PJC. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science* 166(1): 3-16

Barutcular C, Genc I, Koc M. 2000. Photosynthetic water use efficiency of old and modern durum wheat genotypes from southeastern Turkey. pp. 233-238. In: Roya, C. (ed.) *Proceedings of a Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. Series A/No 40*

Del Blanco IA, Rajaram S, Kronstad WE, Reynolds MP. 2000. Physiological performance of synthetic hexaploid wheat – derived populations. *Crop Science* 40: 1257-1263

Demotes-Mainard S, Jeuffroy MH. 2004. Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat. *Field Crops Research* 87, 221-233

Fischer RA, Rees D, Sayre KD, Lu ZM, Candon AG, Saavedra AL. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Science* 38: 1467-1475

Hubick KT, Farquhar GD, Shorter R. 1986. Correlation between water-use efficiency and carbon isotope discrimination in diverse peanut (*Arachis hypogaea*) germplasm. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 803-816

Kalaji HM, Jajoo A, Oukarrum A. 2016. ChlF as a tool to monitor physiological status of plant under abiotic stress conditions. *Acta Physiologiae Plantarum* 38: 102-115

Lenoble ME, Spollen WG, Sharp RE. 2004. Maintenance of shoot growth by endogenous ABA: genetic assessment of the involvement of ethylene suppression. *Journal of Experimental Botany* 55: 237-254

- Li X, Xu K. 2014. Effects of exogenous hormones on leaf photosynthesis of *Panax ginseng*. *Photosynthetica* 52 (1): 152-156
- Li YH, Liu YJ, Xu XL, Jin M, An LZ, Zhang H. 2012. Effect of 24-epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*. *Biologia Plantarum* 56: 192-196
- Lobato AKS, Oliveira Neto CF, Santos Filho BG, Costa RCL, Cruz FJR, Neves HKB, Lopes MJS. 2008. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max cv. Sambaiba*) plants under water deficit. *Australian Journal of Crop Sciences* 2: 25-32
- Jalali-Honarmand S, Rasaei A, Saeidi M, Ghobadi ME, Khanizadeh Sh. 2015. The Effects of Foliar Application of Plant Hormones at Booting Stage on Wheat Yield Components. *Thai Journal of Agricultural Science* 48(1): 35-38
- Osuagwu GGE, Edeoga HO, Osuagwu AN. 2010. The influence of water stress (drought) on the mineral and vitamin potential of the leaves (*ocimum gratissimum* L.). *Recent Research Sciences Technology* 2: 27-33
- Rawson H M, Richards R A, Munns R. 1988. An examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale genotypes. *Australian Journal of Agricultural Research* 39(5): 759-772.
- Reynolds M, Bonnett D, Chapman SC, Furbank RT, Manès Y, Mather DE, Parry MAJ. 2011. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of Experimental Botany* 62: 439–452
- Ritchie SW, Nguyen HT. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science* 30: 105-111
- Shao R, Wang K, Shangguan Z. 2010. Cytokinin-induced photosynthetic adaptability of *Zea mays* L. to drought stress associated with nitric oxide signal: Probed by ESR spectroscopy and fast OJIP fluorescence rise. *Journal of Plant Physiology* 167: 472–479
- Slafer GA, Kantolic AC, Miralles DJ, Appendino ML, Savin R. 2009. In: “Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy” (V.O Sadras and D.F. Calderini, Eds), Elsevier, The Netherlands, pp 277-308
- Sinclair TR, Jamieson PD. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: an analysis. *Field Crops Research* 98: 60-67
- Tas S, Tas B. 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *World Journal Agriculture Sciences* 3(2): 178-183
- Wang Z, Cao W, Dia T, Zhou Q. 2001. Effects of exogenous hormones on floret development and grain set in wheat. *Plant Growth Regulators* 35: 225-231
- Yang J, Zhang J, Wang Z, Zhu Q, Wang W. 2001. Hormonal change in the grains of rice subjected to water stress during grain filling. *Plant Physiology* 315-323
- Yang J, Zhang J, Wang Z, Zhu Q, Liu L. 2003. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant Cell Environ* 26: 1621-1631
- Zwart SJ, Bastiaanssen WGM. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agricultural Water Management* 69: 115-133

Effects of plant growth regulator on some photosynthesis parameters and growth of two dryland wheat cultivars

Ali Rasaei^{1*}; Saeid Jalali-Honarmand²; Mohsen Saeidi²; Mohammad-Eghbal Ghobadi²

1- *Dryland Agricultural Research Institute, Sararod Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.*

2- *Department of Genetic and plant production, Razi University, Kermanshah, Iran*

Abstract

Change in plant physiological relationships, especially in photosynthesis under drought stress can affect light absorption and the final yield of the crop. Improving the parameters related to photosynthesis in order to increase or decrease the loss of assimilation under drought stress is one of the ways of crop management. The effect of three growth hormones (3-indoleacetic acid [IAA], gibberellic acid [GA₃] and 6-benzylaminopurine [6-BAP]) via control (distilled water) was evaluated at booting stage of two wheat cultivars (Rijaw and Azar-2). A factorial experiment using a randomized complete block design (RCBD) with three replications was setup at the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran during 2014-15 and 2015-16. The results showed that 6-BAP and IAA produced the highest grain yield in the Rijaw cultivar with averages of 1800 and 1700 kg.ha⁻¹, respectively. Also, the highest mean of specific leaf weight (86 mg.cm⁻²), photosynthesis rate (18.6 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹) and photosynthetic water use efficiency (667 μmol CO₂.mol⁻¹H₂O) were related to the application of 6-BAP on Rijaw cultivar. The photosynthetic rate had a positive and significant correlation with specific leaf weight (R²= 0.92), photosynthetic pigments content (R²= 0.98) and mesophilic conductivity (R²= 96). Also, the Rijaw cultivar was superior to Azar-2 in all traits. In general, it can be concluded that the external application of various growth hormones in the critical stages of growth and development of wheat improves the photosynthetic capacity of the plant. This will reduce the final grain yield loss under drought stress conditions.

Key words: Photosynthesis, Plant growth regulator, Grain yield, Wheat

*Corresponding author: a.rasaei@areeo.ac.ir

Submit date:2021/11/07

Accept date: 2022/08/14