

اثر محلول پاشی براسینواستروئید بر بهبود عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی گندم (رقم سیروان) تحت تنش خشکی

مهدی نقی‌زاده^{۱*} و رزیتا کبیری^۲

^۱ گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرمان، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲)

چکیده

در این پژوهش تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید (صفر، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر) روی عملکرد دانه و برخی از خصوصیات فیزیولوژیکی گندم (رقم سیروان) تحت شرایط تنش خشکی (۱۰۰ درصد (بدون تنش) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، به صورت فاکتوریل براساس طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار، در سال ۱۳۹۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان بررسی گردید. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار زیست‌توده، عملکرد و اجزای عملکرد گندم شد و مقدار کاهش این صفات نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۳۱/۷، ۲۹/۶ و ۲۰/۳ درصد بودند. در مقابل، محلول پاشی براسینواستروئید به ترتیب موجب افزایش معنی‌دار حدود ۲۲/۷، ۲۲/۴ و ۱۲/۵ درصد در زیست‌توده، عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با گیاهانی که با آب‌مقطر تیمار شده بودند تحت شرایط تنش خشکی گردید. تنش خشکی اثر معنی‌داری در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز) و غلظت مالون دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن و همچنین تجمع کربوهیدرات و پرولین در برگ گندم داشت. محلول پاشی براسینواستروئید در هر دو شرایط تنش و غیرتنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع اسمولیت‌ها (پروتئین، کربوهیدرات و پرولین) را افزایش و در مقابل مقدار پراکسید هیدروژن و مالون دی‌آلدهید را کاهش داد و این اثر در شرایط تنش خشکی بیشتر بود. به نظر می‌رسد تأثیر کاربرد براسینواستروئید در تعدیل تنش خشکی و بهبود عملکرد گندم، می‌تواند در ارتباط با بهبود تنظیم اسمزی (از طریق تجمع اسمولیت‌ها) و نیز افزایش فعالیت سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گندم بوده باشد.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، پرولین، عملکرد، مالون دی‌آلدهید

مقدمه

زنگ خطر را برای تولیدات کشاورزی و به ویژه گندم (*Triticum aestivum* L.) که عامل اصلی ایجاد امنیت غذایی می‌باشد، به صدا درآورده است. در ایران، حدود ۱۸/۵ میلیون هکتار از اراضی، در چرخه تولید محصولات کشاورزی قرار دارد و یک سوم این مقدار به کشت گندم، به عنوان مهم‌ترین

کشور ایران به لحاظ قرارگرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان، از نزولات آسمانی محدودی برخوردار است و تنش خشکی آسیب‌های جدی به گیاهان زراعی وارد می‌کند. خشکسالی‌های اخیر در منطقه جنوب شرق و استان کرمان،

هورمون‌های استروئیدی هستند که در تنظیم رشد و نمو گیاه نقش داشته و در مقادیر بسیار کم (نانوگرم) در گیاهان وجود دارند (Shahid *et al.*, 2011). غلظت براسینواستروئیدها در بافت‌های مختلف گیاهی، متفاوت است. اغلب بافت‌های رویشی جوان و در حال گسترش، نسبت به بافت‌های بالغ مقادیر بالاتری از براسینواستروئیدها دارند (Xia *et al.*, 2009). براسینواستروئید مقاومت گیاهان را در برابر تنش‌های غیرزنده محیطی افزایش می‌دهند (Asha and Lingakumar, 2015; Xi *et al.*, 2013; Zaharah *et al.*, 2012; Shahid *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2004). نقش براسینواستروئید در افزایش مقاومت به شوری در گندم (Shahbaz and Ashraf, 2007)، نخود (Ali *et al.*, 2007) و ذرت (Arora *et al.*, 2008) و نیز مقاومت به خشکی در برنج (Farooq *et al.*, 2009) و گندم (Sairam, 1994) گزارش شده است. براسینواستروئیدها با تأثیر مثبت بر تجمع مواد محلول داخل سلول، باعث افزایش توانایی تنظیم اسمزی گیاه می‌شوند (Zaharah *et al.*, 2012). علاوه بر این، براسینواستروئیدها ساختمان ماکرومولکول‌ها و غشا سلولی را نیز محافظت کرده و در نهایت سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌گردند. از این رو براسینواستروئیدها منجر به محافظت گیاه و افزایش مقاومت آن به تنش می‌شوند (Xi *et al.*, 2013). با توجه به مطالب ذکر شده این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کاربرد برگی براسینواستروئید در تعدیل تنش خشکی در گندم و تأثیر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم سیروان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (۱۰۰ درصد بدون تنش) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی براسینواستروئید (صفر، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر است) بودند. روش اعمال تیمار خشکی به صورت وزنی بود. ابتدا وزن گلدان، زیر گلدانی و شن ریزه کاملاً شسته و خشک

گیاه استراتژیک کشور، اختصاص دارد (امام، ۱۳۹۰). گندم رقم سیروان دارای عملکرد بالا و کیفیت نانویی خوب برای جایگزینی قسمتی از سطح زیرکشت ارقام گندم آبی در مناطق مواجه با تنش خشکی، در سال ۱۳۹۱ معرفی شده است و سازگار به اقلیم گرم تا معتدل، دارای میانگین عملکرد ۴ تا ۸ تن در هکتار، میانگین ارتفاع بوته ۹۴ سانتی‌متر، مقاوم به خوابیدگی، زنگ زرد، زنگ سیاه و میانگین محتوی پروتئین ۱۲ درصد است (نجفیان و همکاران، ۱۳۹۱).

رشد و نمو گیاهان زراعی به طور دائم تحت کنترل شرایط محیطی از جمله رطوبت قرار می‌گیرد. به همین علت، اختلاف قابل توجهی بین عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد محصولات زراعی دیده می‌شود، به گونه‌ای که در اکثر گیاهان زراعی متوسط عملکرد بسیار کمتر از پتانسیل عملکرد است (Mary *et al.*, 2001). مکانیسم واکنش گیاه به کمبود آب، شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت‌های متابولیسمی گیاه و تأثیر بر فیزیولوژی، مورفولوژی و در نهایت عملکرد گیاه است (Wang *et al.*, 2017). کمبود آب فرایند تنفس، فتوسنتز و تعرق را در گیاه، از طریق تأثیر بر آماس سلولی و در نتیجه باز و بسته شدن روزنه‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، کمبود آب با تأثیر بر فرایندهای آنزیمی که به طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد (Sinclair, 2011). مرحله گل‌دهی، حساس‌ترین مرحله نموی و فنولوژی گندم نسبت به تنش خشکی است. کمبود آب پس از گل‌دهی از طریق تأثیر بر فرایند باروری دانه، موجب کاهش تعداد دانه در سنبله می‌گردد (Dolferus, 2010). افت عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Dolferus, 2010; Mary *et al.*, 2001; Pireivatlou *et al.*, 2010; Shao *et al.*, 2005).

راه‌های مختلف به‌نژادی و نیز استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد برای افزایش تحمل به خشکی در گیاهان وجود دارد. در مقایسه با روش‌های به‌نژادی که اغلب بلند مدت و هزینه‌بر هستند، کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد از جمله براسینواستروئید آسان‌تر و ارزان‌تر است (Xi *et al.*, 2013). براسینواستروئیدها

شده‌ای که به عنوان صافی ته گلدان استفاده می‌شد، مشخص گردید. سپس به هر گلدان وزن مشخصی از خاک مزرعه که به طور یکنواخت تهیه شده بود، ریخته شد. به منظور تعیین میزان رطوبت از دستگاه صفحه فشاری استفاده گردید. نمونه‌های خاک در داخل دستگاه اشباع شده و مکش مورد نظر بر آن‌ها اعمال شد. پس از برقراری تعادل رطوبتی (با گذشت ۲۴ ساعت)، درصد ظرفیت زراعی نمونه‌ها با استفاده از آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (نوریخس و افیونی، ۱۳۷۹). در تاریخ ۲۰ مهرماه، کاشت پنج عدد بذر گندم رقم سیروان در هر گلدان انجام پذیرفت. پس از استقرار گیاهچه‌ها، در هر گلدان سه گیاهچه حفظ و مابقی حذف شدند. رطوبت گلدان‌های مربوط به تیمار شاهد، تا انتهای دوره رشد در حد ظرفیت زراعی نگه‌داری شد. درحالی‌که گلدان‌های مربوط به تنش خشکی، از مرحله گرده‌افشانی تا زمان رسیدن فیزیولوژیک، تا ۵۰ درصد حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند.

کاربرد محلول‌پاشی براسینواستروئید، در دو مرحله پنجه‌زنی و گلدهی انجام شد. با توجه به عدم وجود اطلاعات دقیق در مورد طول نیمه‌عمر براسینواستروئید در گیاه و جهت اطمینان از جذب شدن آن، اسپری آب‌مقطر (به عنوان شاهد) و محلول‌پاشی براسینواستروئید (صفر، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر) بر روی برگ‌های گیاه گندم به صورت سه روز متوالی و حدود ۳۰ میلی‌لیتر بر روی هر گیاه تکرار شد. جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و غلظت اسمولیت‌ها، دو هفته پس از محلول‌پاشی بوته‌ها، نمونه‌برداری از برگ‌ها انجام شد.

سنجش فعالیت آنزیمی، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD): مخلوط واکنش نمونه‌ها برای سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، NBT ۰/۰۷۵ میکرومولار، ۰/۱ میلی‌مولار Na-EDTA، ۷۵ میکرومولار ریبوفلاوین، ۱۳ میلی‌مولار متیونین و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش در عصاره‌های تهیه‌شده، در دمای ۲۵°C با روشن‌شدن لامپ فلورسنت آغاز شد. در لوله کنترل نیز مخلوط واکنش ذکرشده وجود داشت اما

بدون عصاره آنزیمی. اختلاف جذب نمونه‌ها و کنترل در ۵۶۰ نانومتر نشان‌دهنده مهار احیاء نوری NBT در حضور آنزیم SOD موجود در نمونه است. با استفاده از این اختلاف جذب، واحد آنزیمی و فعالیت آنزیمی محاسبه شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز در ۲۴۰ نانومتر انجام شد (Dhindsa and Matowe, 1981). مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار و پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار بود. با اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به این مخلوط، واکنش آغاز شد. برای صفرکردن دستگاه اسپکتروفتومتر از شاهد (شامل مخلوط واکنش اما فاقد عصاره آنزیمی) استفاده شد. تغییرات جذب، پس از شروع واکنش محاسبه شد. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی برحسب مقدار پروتئین کل موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، در یک دقیقه محاسبه شد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: به منظور سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز در ۴۷۰ نانومتر براساس روش Cakmak و همکاران (۱۹۹۳)، مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن و گایاکل بود. واکنش با افزودن ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش در ۲۵ درجه سانتی‌گراد شروع شد. میزان جذب تراگایاکول در ۴۷۰ نانومتر در لحظه شروع واکنش پس از اضافه‌نمودن عصاره آنزیمی و پس از یک دقیقه خوانده شد. فعالیت آنزیم برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل موجود در ۲۰ میکرولیتر عصاره، گزارش شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مول، آسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، H₂O₂ ۰/۱۵ میلی‌مولار، EDTA ۰/۱ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. به دنبال اکسیدشدن آسکوربات با شروع واکنش آنزیمی، کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر، دو دقیقه پس از شروع واکنش نسبت به زمان شروع واکنش محاسبه شد. با استفاده از تغییرات جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر، میزان آسکوربات برجای مانده پس از ۲ دقیقه انجام واکنش آنزیمی محاسبه شد. فعالیت آنزیم برحسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل موجود در ۵۰ میکرولیتر عصاره، گزارش شد (Nakano and Asada, 1981).

شد. شدت جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر تعیین و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیاکننده محاسبه شد (Zhang *et al.*, 2006). در نهایت، زرد شدن میانگرمه آخر (پدانکل) و نیز خود سنبله شاخص زمان رسیدگی فیزیولوژیک تعیین شد، که در این زمان، هر سه گیاه در هر گلدان از ناحیه یقه از خاک جدا شدند و تعداد دانه‌های موجود در هر سنبله و وزن آن‌ها محاسبه گردید. در این زمان، بوته‌ها برداشت و پارامترهای عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و زیست‌توده گیاه اندازه‌گیری شد. با نرم‌افزار آماری SAS آنالیز داده‌ها انجام و با استفاده از آزمون دانکن (در سطح احتمال پنج درصد) مقایسه میانگین‌ها صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و زیست‌توده گندم رقم سیروان شد. در مقابل، محلول‌پاشی براسینواستروئید تأثیر مثبت معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشت و به عبارتی محلول‌پاشی براسینواستروئید توانست موجب تعدیل اثرات منفی تنش خشکی بر گندم گردد. به‌طوری‌که کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید، بدون اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر، در شرایط تنش و غیرتنش به ترتیب موجب ۱۶/۸۷ و ۶/۶۲ درصد افزایش در وزن هزار دانه گندم، ۸/۹۰ و ۶/۱۵ درصد افزایش در تعداد دانه در سنبله، ۲۲/۴۱ و ۱۱/۷۲ درصد افزایش در عملکرد دانه و نیز ۲۲/۶۵ و ۱۲/۰۱ درصد افزایش در زیست‌توده شد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، تأثیر مثبت محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط نرمال و بدون تنش بود (جدول ۱).

خصوصیات فیزیولوژیکی: نتایج به دست آمده حاکی از این بود که اعمال تنش خشکی باعث افزایش ۴۳/۱۲ درصدی فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در برگ گندم رقم سیروان

غلظت مالون دی‌آلدئید: برای سنجش مقدار پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، غلظت مالون دی‌آلدئید اندازه‌گیری شد (Heath and Packer, 1969). ۰/۲ گرم بافت گیاهی با ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید سائیده و عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول روی حاصل از سانتریفیوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرو استیک اسید اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و پس از سرد شدن، مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب نانومول بر گرم وزن تر محاسبه شد. برای سنجش پراکسید هیدروژن، بافت گیاهی در حمام یخ با تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱٪ سائیده شد. عصاره به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و سپس به ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی آن، ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰ میلی‌مولار و ۱ میلی‌لیتر یدید پتاسیم ۱ مولار اضافه شد. سپس جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر خوانده شد (Velikova *et al.*, 2000).

غلظت پرولین: ۰/۰۲ گرم بافت گیاهی در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳٪ سولفوسالیسیلیک اسید سائیده و عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفیوژ شد. ۲ میلی‌لیتر از مایع رویی با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و نیز ۲ میلی‌لیتر استیک اسید مخلوط و در حمام آب‌گرم قرار گرفت و سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. میزان جذب لایه فوقانی در ۵۲۰ نانومتر تعیین و مقدار پرولین بر اساس منحنی استاندارد پرولین محاسبه شد (Bates *et al.*, 1973).

کربوهیدرات‌ها: برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌ها، ۰/۰۲ گرم بافت تازه برگ با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر سائیده و حرارت داده شد. پس از رسیدن به نقطه جوش با کاغذ واتمن صاف شد. به ۲ میلی‌لیتر از این عصاره، ۲ میلی‌لیتر محلول سولفات مس اضافه و ۲۰ دقیقه در حمام گرم قرار گرفت. پس از سرد شدن، ۲ میلی‌لیتر محلول فسفومولیبدیک اسید به محلول اضافه

جدول ۱- تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید بر روی عملکرد و اجزای آن و زیست توده گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی.

آبیاری (F.C.)	براسینواستروئید (mg L ⁻¹)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه (g plant ⁻¹)	زیست توده (g plant ⁻¹)
	۰	۳۴/۱۱ ^c	۴۰/۰۰ ^b	۱/۲۸ ^c	۴/۱۰ ^b
٪۱۰۰	۰/۰۷۷	۳۶/۴۰ ^{ab}	۴۲/۶۲ ^a	۱/۴۵ ^{ab}	۴/۶۶ ^a
	۰/۳۸۴	۳۶/۵۳ ^a	۴۲/۵۲ ^a	۱/۴۰ ^a	۴/۵۴ ^a
	۰	۲۶/۱۰ ^e	۳۳/۱۶ ^d	۰/۹۰ ^e	۲/۸۰ ^d
٪۵۰	۰/۰۷۷	۳۱/۴۱ ^d	۳۶/۴۱ ^c	۱/۱۴ ^d	۳/۵۲ ^c
	۰/۳۸۴	۳۱/۲۲ ^d	۳۶/۳۲ ^c	۱/۱۶ ^d	۳/۶۲ ^c

در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن است.

شد. اگر چه غلظت پایین براسینواستروئید تأثیر معنی داری روی این آنزیم در شرایط غیرتنش نداشت، اما محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر افزایش معنی دار (۱۳٪) سوپراکسید دیسموتاز را به همراه داشت. علاوه بر این، در شرایط تنش خشکی، کاربرد غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر براسینواستروئید، به ترتیب موجب ۹/۷۳ و ۲۳/۰۲ درصد افزایش در فعالیت این آنزیم شد (جدول ۲). تحت تأثیر تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت معنی دار افزایش یافت. علاوه بر این در شرایط تنش خشکی، برگ پاشی براسینواستروئید نیز افزایش معنی دار این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

آنزیم آنتی اکسیدانی پراکسیداز در برگ های گندم تنش دیده در مقایسه با گیاهان نرمال، ۴۱/۶ درصد افزایش یافت. همچنین در شرایط تنش خشکی، محلول پاشی براسینواستروئید ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر به ترتیب باعث ۱۲/۵ و ۱۸/۷ درصد افزایش در فعالیت این آنزیم شد (جدول ۲). نتایج همچنین بیانگر این بود که فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال به طور معنی دار افزایش یافت. به علاوه، برگ پاشی براسینواستروئید نیز تأثیر مثبت بر این افزایش داشت. به طوری که در شرایط تنش، برگ پاشی هر دو غلظت براسینواستروئید به طور میانگین موجب افزایش ۲۸/۴ درصدی آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد. در رابطه با گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال نیز کاربرد براسینواستروئید ۰/۳۸۴

میلی گرم در لیتر افزایش ۲۰/۲۱ درصدی این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

غلظت مالون دی آلدهید در برگ گیاهان تنش دیده در مقایسه با شاهد، ۵۰/۳ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، محلول پاشی براسینواستروئید اگر چه در شرایط نرمال، تأثیر معنی داری در کاهش مالون دی آلدهید نداشت، اما در شرایط تنش خشکی غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر براسینواستروئید، به ترتیب باعث کاهش ۲۲/۷ و ۴۳/۲ درصدی مالون دی آلدهید گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی افزایش ۶۴/۸ درصدی پراکسیداز هیدروژن را به همراه داشت. در مقابل، برگ پاشی براسینواستروئید غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر، در شرایط تنش خشکی به ترتیب موجب کاهش ۲۶/۱۰ و ۴۹/۰۳ درصدی پراکسیداز هیدروژن شد (جدول ۲). نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت پرولین نشان داد که میزان این اسمولیت در برگ گیاهان تنش دیده به طور معنی دار بیشتر از گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال بود. همچنین کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید باعث افزایش معنی دار پرولین در شرایط تنش شد (جدول ۳). برگ پاشی گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال با براسینواستروئید غلظت ۰/۳۸۴ میلی گرم در لیتر، باعث افزایش ۱۳/۹۸ درصدی پروتئین در برگ این گیاهان شد. اگر چه تنش خشکی باعث کاهش ۳۱/۹۳ درصدی پروتئین در برگ گندم رقم سیروان شد، اما در همین شرایط کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید

جدول ۲- تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید بر روی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن برگ گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی

پراکسید هیدروژن ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$)	مالون دی آلدئید ($\text{nmol g}^{-1} \text{FW}$)	آسکوربات پراکسیداز ($\text{U mg}^{-1} \text{protein}$)	پراکسیداز ($\text{U mg}^{-1} \text{protein}$)	کاتالاز ($\text{U mg}^{-1} \text{protein}$)	سوپراکسید دیسموتاز ($\text{U mg}^{-1} \text{protein}$)	براسینواستروئید (mg L^{-1})	آبیاری (F.C.)
۱۲/۴۲ ^d	۶/۸۴ ^d	۱/۵۰ ^d	۴۰/۰۲ ^d	۴/۰۲ ^c	۴/۳۲ ^e	۰	
۱۲/۳۱ ^d	۵/۵۴ ^{de}	۱/۶۱ ^d	۴۲/۳۲ ^d	۴/۰۰ ^c	۴/۳۵ ^e	۰/۰۷۷	٪۱۰۰
۱۱/۱۱ ^{de}	۴/۹۰ ^{de}	۱/۸۸ ^c	۴۲/۹۸ ^d	۴/۱۹ ^c	۵/۰۰ ^d	۰/۳۸۴	
۳۵/۳۲ ^a	۱۳/۷۶ ^a	۳/۵۷ ^b	۶۸/۵۶ ^c	۸/۱۱ ^{ab}	۷/۴۲ ^c	۰	
۲۶/۱۰ ^b	۱۰/۶۳ ^b	۴/۹۹ ^a	۷۸/۳۲ ^b	۸/۷۴ ^a	۸/۲۲ ^b	۰/۰۷۷	٪۵۰
۱۸/۰۰ ^c	۷/۸۲ ^c	۴/۹۳ ^a	۸۴/۳۶ ^a	۸/۷۷ ^a	۹/۶۴ ^a	۰/۳۸۴	

در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ براساس آزمون دانکن است.

جدول ۳- تأثیر محلول پاشی براسینواستروئید بر روی پروتئین، پروتئین و کربوهیدرات گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی

کربوهیدرات ($\text{mg g}^{-1} \text{DW}$)	پروتئین ($\text{mg g}^{-1} \text{FW}$)	غلظت پروتئین ($\text{mg g}^{-1} \text{DW}$)	براسینواستروئید (mg L^{-1})	آبیاری (F.C.)
۴۹/۱۲ ^c	۱۳/۸۴ ^b	۵/۴۴ ^d	۰	
۴۹/۳۲ ^c	۱۳/۴۵ ^b	۵/۴۲ ^d	۰/۰۷۷	٪۱۰۰
۵۱/۰۰ ^c	۱۶/۰۹ ^a	۵/۶۲ ^d	۰/۳۸۴	
۶۳/۰۲ ^b	۹/۴۲ ^d	۱۵/۴۵ ^c	۰	
۸۵/۵۱ ^a	۱۱/۷۸ ^c	۲۰/۳۵ ^b	۰/۰۷۷	٪۵۰
۸۶/۳۶ ^a	۱۱/۵۶ ^c	۲۴/۱۲ ^a	۰/۳۸۴	

در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح ۰.۰۵٪ براساس آزمون دانکن است.

عملکرد دانه مشاهده شد (جدول ۱) که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Pireivatlou *et al.*, 2010; Sinclair, 2011; Dolferus, 2010; Shao *et al.*, 2005; Mary *et al.*, 2001).

نتایج تحقیقات بیانگر آن است که وقوع کم آبی در مرحله گرده افشانی موجب کاهش تعداد سنبلک بارور در گندم می شود. تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله اجزای عملکردی هستند که نسبت به تنش خشکی حساس هستند (Pireivatlou *et al.*, 2010). اگر چه پتانسیل تعداد دانه در سنبله گندم، قبل از گلدهی گیاه تعیین می شود، با این حال دستیابی به حداکثر تعداد دانه در سنبله متأثر از شرایط محیطی پس از گلدهی است. یکی از حساس ترین مراحل فنولوژی گندم به تنش های محیطی از جمله خشکی، مرحله گلدهی

افزایش ۲۰ درصدی پروتئین را به همراه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مشخص شد مقدار کربوهیدرات در برگ گیاهان تنش دیده در مقایسه با شاهد، ۲۲/۰۵ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، برگ پاشی گیاهان با هر دو غلظت براسینواستروئید به طور میانگین افزایش ۲۵ درصدی کربوهیدرات برگ گیاهان تنش دیده را به همراه داشت (جدول ۳).

واکنش گیاه به تنش خشکی شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت های متابولیکی گیاه و تأثیر بر خصوصیات فیزیولوژیکی و در نهایت عملکرد گیاه است (Wang *et al.*, 2017). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی دار تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه شد که به موجب آن افت شدید

رشد طولی بافت‌های جوان (از طریق تقسیم و طولی شدن سلولی) که فرایند نموی مهمی برای رشد گیاه محسوب می‌شود را القا می‌کنند. در همین راستا Dhaubhadel و همکاران (۱۹۹۹) گزارش داده‌اند که محلول پاشی براسینواستروئید از طریق افزایش بیوستتاز اکسین و جیبرلین، باعث افزایش ارتفاع بوته و زیست توده گیاهچه‌های کلزا و گوجه‌فرنگی شد. در تحقیق حاضر نیز، افزایش ماده خشک کل گندم به دنبال برگ‌پاشی براسینواستروئید مشاهده شد (جدول ۱). اگر چه گزارش شده که براسینواستروئیدها مستقل از سایر هورمون‌های رشد، موجب تحریک تقسیم سلولی می‌شوند. با این حال براسینواستروئیدها با سطوح درون‌زای اکسین واکنش نشان داده و اثر هم‌افزایی دارند و از این طریق باعث افزایش ارتفاع، وزن بوته و ماده خشک کل می‌شوند (Shahid et al., 2011).

مواجهه گیاهان با تنش‌های غیرزنده از جمله خشکی موجب تولید گونه اکسیژن فعال از جمله پراکسید هیدروژن، سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در گیاه می‌گردد. تنش خشکی موجب برهم خوردن تعادل بین تولید و از بین بردن گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود (Soltan Shahattary and Mansourifar, 2017). از طرف دیگر، به دنبال تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها در گیاه و کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در سلول‌های مزوفیل برگ و در نتیجه تجمع NADPH در کلروپلاست اتفاق می‌افتد. در این شرایط مقدار $NADP^+$ لازم برای انجام واکنش‌های نوری فتوسنتز کاهش یافته و اکسیژن به عنوان پذیرنده الکترون عمل کرده و باعث تولید رادیکال سوپراکسید و سایر گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود (Sinclair, 2011). گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو از جمله خشکی، از سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی استفاده می‌کنند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز نقش بسیار مهمی در کاهش گونه‌های اکسیژن فعال دارند و تلفیقی از فعالیت این آنزیم‌ها فاکتور مهمی در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Sourour et al., 2017). در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که در شرایط تنش خشکی

می‌باشد. کم آبی در این مرحله فنولوژی، باعث عدم تلقیح و ناباروری گلچه‌ها و نیز سقط شدن تعدادی از تخمک‌های تلقیح شده می‌شود که در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد (Yang et al., 2003). علاوه بر این، کم آبی در مرحله گرده‌افشانی گندم باعث اختلال در فتوسنتز جاری شده که موجب کاهش وزن هزار دانه می‌شود. وقوع تنش خشکی بعد از گلدهی، موجب کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم دانه در قاعده و رأس سنبله شده، همچنین تنش خشکی در این مرحله، با کوتاه کردن طول دوره پرشدن دانه، باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Dolferus, 2010). در مواجهه با کم آبی، با بسته شدن روزنه‌ها، میزان فتوسنتز و در نتیجه مواد پرورده برای پرشدن دانه‌ها کاهش یافته و این امر باعث کاهش میانگین وزن دانه و در نتیجه عملکرد می‌گردد (Altenbach et al., 2003).

در این پژوهش مشاهده شد که محلول پاشی گیاهان با براسینواستروئید موجب کاهش اثرات سوء تنش خشکی شد به طوری که افزایش عملکرد و اجزای عملکرد را به همراه داشت (جدول ۱). در همین راستا گزارش شده است که کاربرد براسینواستروئید باعث افزایش وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه در گیاه نخود شد (Shahid et al., 2011). همچنین تیمار گیاهان گندم با براسینواستروئید، باعث بهبود افزایش رشد گندم در شرایط تنش شوری (Shahbaz and Ashraf, 2007) و خشکی (Sairam, 1994) شد. براسینواستروئید علاوه بر اثر بر فعالیت‌های متابولیکی مختلف، جذب آب و مواد معدنی از جمله نیتروژن را افزایش داده و از این طریق موجب افزایش رشد و عملکرد دانه می‌گردد (Ashraf et al., 2010). همچنین، براسینواستروئید نقل و انتقال آسمیلات‌ها را در گیاه افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌گردد (Shahbaz and Ashraf, 2007). تأثیر مثبت براسینواستروئید در بهبود اجزای عملکرد و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه نخود در شرایط تنش شوری گزارش شده است (Ali et al., 2007). Kang و Guo (۲۰۱۱) بیان داشتند که براسینواستروئیدها طیف وسیعی از واکنش‌ها از جمله تمایز آوندی و نیز تحریک

(Rai, 2002). در پژوهش حاضر، مقدار اسمولیت‌ها در برگ گیاهان تنش‌دیده افزایش یافت (جدول ۳). گزارش شده است که در گیاه یونجه مقاوم به شوری (Juan *et al.*, 2005) و در ژنوتیپ مقاوم به خشکی پنبه (Parida *et al.*, 2008) و لوبیا (Turkan *et al.*, 2005) مقدار پرولین و کربوهیدرات افزایش یافت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محلول‌پاشی براسینواستروئید به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای موجب افزایش غلظت اسمولیت‌ها در برگ گندم در شرایط تنش خشکی شد (جدول ۳). مشابه نتایج این پژوهش، Asha و Lingakumar (۲۰۱۵) گزارش داد که افزایش میزان پروتئین‌های محلول و پرولین در اثر تیمار با براسینولید در ماش نیز گزارش شده است. تأثیر براسینواستروئید در افزایش کربوهیدرات‌ها به علت افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و نیز انتقال مؤثر آسمیلات‌ها از محل تولید به مصرف است (Vardhini and Anjum, 2015). در واقع، براسینواستروئیدها موجب فعال‌شدن آنزیم‌های ساکارز فسفات سنتاز، ساکارز سنتاز و اسید اینورتاز که در متابولیسم کربوهیدرات‌ها نقش اساسی ایفا می‌کنند، می‌گردند (Yu *et al.*, 2004). براسینواستروئیدها به واسطه تأثیر بر بیان ژن‌هایی که آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها را کدگذاری می‌کنند و همچنین کنترل انتقال این ترکیبات به مراکز مصرف، نقش قابل‌ملاحظه‌ای در تجمع کربوهیدرات‌ها دارند (Xi *et al.*, 2004; Xia *et al.*, 2009; Yu *et al.*, 2004). براسینواستروئیدها باعث افزایش تولید اتیلن و در نتیجه هیدرولیز نشاسته و پلی‌ساکاریدها و تولید قندهای محلول می‌گردند (Zaharah *et al.*, 2012). محققان بیان کردند که براسینواستروئیدها روی تجمع مواد محلول اثر مثبت دارند و باعث افزایش سازگاری اسمزی و میزان پرولین گیاهان می‌شوند. براسینواستروئیدها از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های دخیل در سوخت‌وساز نیتروژن، موجب افزایش میزان پروتئین‌های محلول و اسیدهای آمینه در گیاه در مواجهه با تنش می‌شوند (Xi *et al.*, 2013; Xia *et al.*, 2009). Lingakumar و Asha (۲۰۱۵) گزارش دادند که کاربرد براسینواستروئیدها علاوه بر اثر بر فعالیت‌های متابولیکی مختلف، جذب آب و عناصر غذایی به ویژه نیتروژن

میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی به عنوان یک مکانیسم مقاومت در برابر تنش، افزایش یافت (جدول ۲). در گیاهان یک ارتباط مثبت و قوی بین مقاومت به تنش‌های محیطی و افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان وجود دارد. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مهم‌ترین ترکیبات در سیستم‌های جاروب‌کردن، اکسیژن‌های رادیکال آزاد هستند و اولین راه دفاعی در برابر صدمات اکسیژن‌های رادیکال آزاد هستند (Shen *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2008).

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد کاربرد خارجی براسینواستروئیدها، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مقابله‌کننده با تنش‌های اکسیداتیو را افزایش می‌دهد و پتانسیل قابل توجهی برای تنظیم فعالیت این آنزیم‌ها در شرایط تنش دارند (Vardhini and Anjum, 2015; Arora *et al.*, 2008). پژوهش حاضر نیز برگ‌پاشی براسینواستروئید افزایش معنی‌دار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در شرایط تنش خشکی، در گندم به همراه داشت (جدول ۲). در این رابطه Ogwen و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که استفاده از براسینواستروئید میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و آسکوربیک پراکسیداز و پراکسیداز را در گیاه *Lycopersicon esculentum* افزایش داد. براسینواستروئیدها بیان ژن‌های مختلفی را در گیاهان تنظیم می‌کنند، بنابراین تیمار گیاهان با براسینواستروئیدها می‌تواند بیان ژن‌های تنظیم‌کننده فعالیت آنتی‌اکسیدان را افزایش داده و در نتیجه نقش قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش مقاومت به تنش‌ها در گیاهان ایفا نمایند (Ashraf *et al.*, 2010; Vardhini and Anjum, 2015).

یکی از راه‌های مقابله با تنش‌های محیطی نظیر خشکی، سنتز ترکیبات اسمززا و افزایش توانایی تنظیم اسمزی گیاه است. از جمله اسمولیت‌ها می‌توان پرولین، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها را نام برد. پرولین علاوه بر این که یک ماده اسمززا و محافظ اسمزی است، در حفظ تعادل آب، حفظ ثبات پروتئین‌ها، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، غشاهای تثبیت و جاروب‌کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن نقش به‌سزایی دارد (Matysik *et al.*, 2002; Bandurska, 2000).

را افزایش داده که این امر منجر به افزایش ساخت پروتئین، رشد و در نهایت عملکرد گیاه می شود.

نتیجه گیری

طبق نتایج پژوهش حاضر، در مجموع می توان بیان داشت کاربرد غلظت مناسب براسینواستروئید، در مرحله رشدی مناسب گیاه، می تواند نقش به سزایی در تعدیل تنش خشکی

منابع

امام، یحیی (۱۳۹۰). زراعت غلات. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شیراز.

نجفیان، گودرز، خدارحمی، منوچهر، امینی، اشکبوس، افشاری، فرزاد، ملیحی پور، علی، احمدی، غلامحسین، نیکوسرشت، رضا، کفاشی، امیر کیوان، امین، حسین، ذاکری، عبدالکریم، نیکزاد، احمدرضا، جعفرنژاد، احمد، افیونی، داوود، حسن پور، جواد، محمدی، علی رضا، عطا حسینی، سید محمود، ناظری، علی، میرزایی، امان الله، شورابی، علی اصغر، شادمهری، احمد، بدری، علی رضا، مومن، علی، و صادقی، نوروز (۱۳۹۱). سیروان، رقم جدید گندم نان متحمل به خشکی آخر فصل و با کیفیت نانوائی خوب برای کشت در مزارع آبی مناطق معتدل ایران. *مجله علمی-ترویجی یافته های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*، ۱ (۱)،

۱-۱. <http://doi:10.22092/RAFHC.2012.100115>

نوربخش، فرشید، و افیونی، مجید (۱۳۷۹). تخمین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴ (۱)، ۸-۱.

- Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2007). 28-Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 59, 217-223. <http://doi: 10.1016/j.envexpbot.2005.12.002>
- Altenbach, S. B., DuPont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L., & Lieu, D. (2003). Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US Spring wheat. *Journal of Cereal Science*, 37(1), 9-20. <http://doi: 10.1006/jcrs.2002.0483>
- Arora, N., Bhardwaj, R., Sharma, P., & Arora, H. K. (2008). 28- Homobrassinolide alleviates oxidative stress in salt treated maize (*Zea mays* L.) plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20 (2), 153-157. <http://doi:10.1590/S1677-04202008000200007>
- Asha, A. & Lingakumar, K. (2015). Effect of 24-epibrassinolide on the morphological and biochemical constitutions (*Vigna unguiculata* L.) seedlings. *Indian Journal of Scientific Research and Technology*, 3, 35-39.
- Ashraf, M., Akram, N., Arteca, R., & Foolad, M. (2010). The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(3), 162-190. <https://doi: 10.1080/07352689.2010.483580>
- Bandurska, H. (2000). Does proline accumulated in leaves of water deficit stressed barley plants confine cell membrane injuries? I. free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 22(4), 409-415. <https://doi: 10.1007/s11738-000-0081-7>
- Bates, L. S., Waldran, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. *Plant and Soil*, 39, 205-208. <http://doi: 10.1007/BF00018060>
- Cakmak, I., Strbac, D., & Marschner, H. (1993). Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, 44(1), 127-132. <https://doi: 10.1093/jxb/44.1.127>
- Dhaubhadel, S., Chaudhary, S., Dobinson, K. F., & Krishna, P. (1999). Treatment with 24-epibrassinolide, A brassinosteroid, increases the basic thermotolerance of *Brassica napus* and tomato seedlings. *Plant Molecular Biology*, 40(2), 333-342. <https://doi: 10.1023/a:1006283015582>
- Dhindsa, R. S. & Matow, W. (1981). Drought tolerance in two mosses: Correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, 32(1), 79-91. <https://doi: 10.1093/jxb/32.1.79>
- Dolferus, R. (2010). Importance of pre-anthesis anther sink strength for maintenance of grain number during reproductive stage water stress in wheat. *Plant Cell Environment*, 33(6), 926-942. <https://doi: 10.1111/j.1365-3040.2010.02130.x>

- Farooq, M., Wahid, A., Basra, S. M. A., & Din, I. U. (2009). Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 262-269. [https://doi: 10.1111/j.1439-037X.2009.00368.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00368.x)
- Heath, R. L. & packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198. [https://doi: 10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2005). Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 54, 193-201. [https://doi: 10.1016/j.envexpbot.2004.07.004](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.07.004)
- Kang, Y. Y. & Guo, S. R. (2011). Role of brassinosteroids on horticultural crops. In: *Brassinosteroids: A class of Plant Hormone*. (ed. Hayat, S. and Ahmad, A.) Pp. 269-288. Springer, Netherlands. [https://doi: 10.1007/978-94-007-0189-2_9](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0189-2_9)
- Mary, J. G., Jeffrey, C. S., Katherine, O. B., & Edward, S. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41(2), 327-335. [https://doi: 10.2135/cropsci2001.412327x](https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412327x)
- Matysik, J., Alia, A., Bhalu, B., & Mohanty, P. (2002). Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 82(5), 525-532
- Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22(5), 867-880. [https://doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232](https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232)
- Ogweno, J. O., Song, X. S., Shi, K., Hu, W. H., Mao, W. H., Zhou, Y. H., & Noguees, S. (2008). Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 27(1), 49-57. [https://doi: 10.1007/s00344-007-9030-7](https://doi.org/10.1007/s00344-007-9030-7)
- Parida, A. K., Dagaonkav, V. S., Phalak, M. S., & Aurangabadkar, L. P. (2008). Differential responses of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(5), 619-627. [https://doi: 10.1007/s11738-008-0157-3](https://doi.org/10.1007/s11738-008-0157-3)
- Pireivatlou, A. S., Dehdar Masjedlou, B., & Ramiz, T. A. (2010). Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. *African Journal Agricultural Research*, 5, 2829-2836. [https://doi: 10.5897/AJAR.9000329](https://doi.org/10.5897/AJAR.9000329)
- Rai, V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum*, 45(4), 481-487. [https://doi: 10.1023/A:1022308229759](https://doi.org/10.1023/A:1022308229759)
- Sairam, R. (1994). Effects of homobrassinolide application on plant metabolism and grain yield under irrigated and moisture-stress conditions of two wheat varieties. *Plant Growth Regulation*, 14(2), 173-181. [https://doi: 10.1007/BF00025220](https://doi.org/10.1007/BF00025220)
- Shahbaz, M. & Ashraf, M. (2007). Influence of exogenous application of brassinosteroid on growth and mineral nutrients of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 39(2), 513-522.
- Shahid, M., Pervez, M., Balal, R., Mattson, N., Rashid, A., Ahmad, R., Ayyub, C., & Abbas, T. (2011). Brassinosteroid (24-Epibrassinolide) enhances growth and alleviates the deleterious effects induced by salt stress in pea (*Pisum sativum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5(5), 500-510.
- Shao, H. B., Liang, Z. S., Shao, M. A., & Wang, B. C. (2005). Changes of some anti-oxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 54(2), 143-9. [https://doi: 10.1016/j.colsurfb.2006.09.004](https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.09.004)
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Enejiri, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology*, 167(15), 1248-1252. [https://doi: 10.1016/j.jplph.2010.04.011](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.011)
- Sinclair, T. R. (2011). Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in Plant Science*, 16(6), 289-293. [https://doi: 10.1016/j.tplants.2011.02.008](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.02.008)
- Soltan Shahattary, F. & Mansourifar, C. (2017). The effect of drought stress on morphological and physiological traits and essence percentage of medicinal plant, *Nigella sativa*. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 1, 298-305.
- Sourour, A., Afef, O., Mounir, R., & Mongi, B. Y. (2017). A review: Morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *International Journal of Engineering and Science*, 6(1), 1-4. [https://doi: 10.9790/1813-0601010104](https://doi.org/10.9790/1813-0601010104)
- Turkan, I., Bor, M., Ozdemir, F., & Koca, H. (2005). Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolia* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Science*, 168(1), 223-231. [https://doi: 10.1016/j.plantsci.2004.07.032](https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.032)
- Vardhini, B. V. & Anjum, N. A. (2015). Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 1-16. [http://doi: 10.3389/fenvs.2014.00067](http://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00067)

- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66. [https://doi: 10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Wang, L., Guo, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Yang, G., Yang, L., Wang, R., & Xie, Z. (2017). Characterization of LhSorP5CS, a gene catalyzing proline synthesis in oriental hybrid lily Sorbonne: Molecular modelling and expression analysis. *Botanical Studies*, 58(1), 1-8. [https://doi: 10.1186/s40529-017-0163-0](https://doi.org/10.1186/s40529-017-0163-0)
- Xi, Z., Zhang, Z., Huo, S., Luan, L., Gao, X., Ma, L., & Fang, Y. (2013). Regulating the secondary metabolism in grape berry using exogenous 24-epibrassinolide for enhanced phenolics content and antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 141(3), 3056-3065. [https://doi: 10.1016/j.foodchem.2013.05.137](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.137)
- Xia, X. J., Huang, L. F., Zhou, Y. H., Mao, W. H., Shi, K., Wu, J. X., Asami, T., Chen, Z., & Yu, J. Q. (2009). Brassinosteroids promote photosynthesis and growth by enhancing activation of Rubisco and expression of photosynthetic genes in *Cucumis sativus*. *Planta*, 230(6), 1185-1196. [https://doi: 1185-1196. 10.1007/s00425-009-1016-1](https://doi.org/10.1007/s00425-009-1016-1)
- Xu, P. L., Guo, Y. K., Bai, J. G., Shang, L., & Wang, X. J. (2008). Effects of long-term chilling on ultrastructure and antioxidant activity in leaves of two cucumber cultivars under low light. *Physiologia Plantarum*, 132(4), 467-78. [https://doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.01036.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01036.x)
- Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., & Zhu, Q. (2003). Hormones in the grains in relation to sink strength and post anthesis development of spikelets in rice. *Plant Growth Regulation*, 41(3), 185-195. [https://doi: 10.1023/B:GROW.0000007503.95391.38](https://doi.org/10.1023/B:GROW.0000007503.95391.38)
- Yu, J. Q., Huang, L. F., Hu, W. H., Zhou, Y. H., Mao, W. H., Ye, S. F., & Nogue, S. (2004). A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. *Journal of Experimental of Botany*, 55(399), 1135-43. [https://doi: 10.1093/jxb/erh124](https://doi.org/10.1093/jxb/erh124)
- Zaharah, S. S., Singh, Z., Symons, G. M., & Reid, J. B. (2012). Role of brassinosteroids, ethylene, abscisic acid, and indole-3-acetic acid in mango fruit ripening. *Plant Growth Regulation*, 31(3), 363-372. [https://doi:10.1007/s00344-011-9245-5](https://doi.org/10.1007/s00344-011-9245-5)
- Zhang, Z. J., Li, H. Z., Zhou, W. J., Takeuchi, Y., & Yoneyama, K. (2006). Effect of 5-aminolevulinic acid on development and salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers in vitro. *Plant Growth Regulation*, 49(1), 27-34. [https://doi:10.1007/s10725-006-0011-9](https://doi.org/10.1007/s10725-006-0011-9)

Effect of brassinosteroid foliar application on yield improvement, yield components and some biochemical characteristics of wheat (Sirvan number) under drought stress

Mahdi Naghizadeh^{1*} and Rozita Kabiri²

¹ Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

² Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

(Received: 2019/01/01, Accepted: 2024/01/22)

Abstract

In this research, the effect of foliar spraying of brassinosteroid (0, 0.077 and 0.384 mg/liter) on grain yield and some physiological characteristics of wheat (Sirvan cultivar) under drought stress conditions (100% control) and 50% F.C.) was investigated in a factorial arrangement based on a randomized complete design with four replications at the research greenhouse of the Agriculture faculty, Shahid Bahonar University of Kerman on 2016. The results showed that drought stress caused a significant reduction in the biomass, yield and yield components of wheat and the decrease of these traits compared to the control was 31.7%, 29.6% and 20.3% respectively. On the other hand, brassinosteroid foliar spraying caused a significant increment of biomass, yield and yield components by approximately 22.7%, 22.4% and 12.5%, respectively, compared to the plants which were treated with distilled water under stress conditions. Drought stress had a significant effect on increasing of antioxidant enzymes activity (peroxidase, ascorbate peroxidase, catalase and superoxide dismutase) and the concentration of malondialdehyde, hydrogen peroxide, as well as the accumulation of carbohydrates and proline in wheat leaves. Spraying of brassinosteroid in both stress and non-stress conditions increased the activity of antioxidant enzymes and osmolytes accumulation (protein, carbohydrate and proline) and conversely reduced the amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde, and this effect was more noticeable under drought stress condition. It seems that the effect of brassinosteroid application on modulating drought stress and improving wheat yield can be related to enhancement of osmotic regulation (through the accumulation of osmolytes) and increasing the activity of the antioxidant defense system mechanism in wheat.

Keywords: Antioxidant enzymes, Proline, Yield, Malondialdehyde

Corresponding author, Email: naghizadeh@uk.ac.ir