فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۳، شماره ۶۰، خرداد و تیرماه ۱۴۰۳ صفحه: ۳۲۷-۳۳۸
https://doi.org/10.22034/13.60.327

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی 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 محلول‌پاشی 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، محلول‌پاشی 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. محلول‌پاشی 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. به‌نظر 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

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، 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

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: naghizadeh@uk.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

گیاه استراتژیک کشور، اختصاص دارد (امام، ۱۳۹۰). گندم رقم سیروان دارای عملکرد بالا و کیفیت نانوایی 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. علاوه‌براین، 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 تنظیم کننده‌های 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 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). علاوه‌براین، براسینواستروئیدها ساختمان ماکرومولکول‌ها و غشا سلولی را نیز محافظت کرده و در نهایت سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش می‌گردند. از این‌رو براسینواستروئیدها منجر به محافظت گیاه و افزایش مقاومت آن به تنش می‌شوند (Xi *et al.*, 2013). با توجه به مطالب ذکرشده 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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 (نوربخش 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 جذب‌شدن آن، اسپری آب‌مقطر (به عنوان شاهد) و محلول‌پاشی براسینواستروئید (صفر، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴میلی‌گرم 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 تتراگایاکول در۴۷۰ 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، H_2O_2 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 طول‌موج 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).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

غلظت مالون دی‌آلدهید: برای سنجش مقدار پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، غلظت مالون دی‌آلدهید 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 سردشدن، مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شد. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج 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 تری کلرواستیک 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 طول‌موج 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 سانتریفوژ 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 آب‌مقطر 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 شد. شدت جذب محلول در طول‌موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیاکننده محاسبه شد (Zhang *et al.*, 2006).

در نهایت، زردشدن میانگره 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

جدول ۱- تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی عملکرد و اجزای آن و زیست‌توده گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی.

آبیاری (F.C.)	براسینواستروئید ($mg\ L^{-1}$)	وزن هزار دانه (g)	تعداد دانه در سنبله	عملکرد دانه ($g\ plant^{-1}$)	زیست‌توده ($g\ plant^{-1}$)
	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 نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن است.

شد. اگر چه غلظت پایین براسینواستروئید تأثیر معنی‌داری روی این آنزیم در شرایط غیرتنش نداشت، اما محلول‌پاشی براسینواستروئید ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌دار (۱۳٪) سوپراکسید دیسموتاز را به همراه داشت. علاوه‌براین، در شرایط تنش خشکی، کاربرد غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم 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 معنی‌دار افزایش یافت. علاوه‌براین در شرایط تنش خشکی، برگ‌پاشی براسینواستروئید نیز افزایش معنی‌دار این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز در برگ‌های گندم تنش‌دیده در مقایسه با گیاهان نرمال، ۴۱/۶ درصد افزایش یافت. همچنین در شرایط تنش خشکی، محلول‌پاشی براسینواستروئید ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم 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 به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. به‌علاوه، برگ‌پاشی براسینواستروئید نیز تأثیر مثبت بر این افزایش داشت. به‌طوری‌که در شرایط تنش، برگ‌پاشی هر دو غلظت براسینواستروئید به‌طور میانگین موجب افزایش ۲۸/۴ درصدی آنزیم آسکوربات پراکسیداز شد. در رابطه با گیاهان رشدیافته در شرایط نرمال نیز کاربرد براسینواستروئید ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر افزایش ۲۰/۲۱ درصدی این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

غلظت مالون دی‌آلدهید در برگ گیاهان تنش‌دیده در مقایسه با شاهد، ۵۰/۳ درصد افزایش یافت. علاوه‌براین، محلول‌پاشی براسینواستروئید اگر چه در شرایط نرمال، تأثیر معنی‌داری در کاهش مالون دی‌آلدهید نداشت، اما در شرایط تنش خشکی غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر براسینواستروئید، به ترتیب باعث کاهش ۲۲/۷ و ۴۳/۲ درصدی مالون دی‌آلدهید گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که اعمال تنش خشکی افزایش ۶۴/۸ درصدی پراکسیداز هیدروژن را به همراه داشت. در مقابل، برگ‌پاشی براسینواستروئید غلظت ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر، در شرایط تنش خشکی به ترتیب موجب کاهش ۲۶/۱۰ و ۴۹/۰۳ درصدی پراکسیداز هیدروژن شد (جدول ۲). نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت پرولین نشان داد که میزان این اسمولیت در برگ گیاهان تنش‌دیده به طور معنی‌دار بیشتر از گیاهان رشدیافته در شرایط نرمال بود. همچنین کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید باعث افزایش معنی‌دار پرولین در شرایط تنش شد (جدول ۳). برگ‌پاشی گیاهان رشدیافته در شرایط نرمال با براسینواستروئید غلظت ۰/۳۸۴ میلی‌گرم 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

جدول ۲- تأثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پرکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، مالون دی‌آلدهید و پراکسید هیدروژن برگ گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی

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

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن است.

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

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

در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون دانکن است.

افزایش ۲۰ درصدی پروتئین را به همراه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مشخص شد مقدار کربوهیدرات در برگ گیاهان تنش‌دیده در مقایسه با شاهد، ۲۲/۰۵ درصد افزایش یافت. علاوه‌براین، برگ‌پاشی گیاهان با هر دو غلظت براسینواستروئید به‌طور میانگین افزایش ۲۵ درصدی کربوهیدرات برگ گیاهان تنش‌دیده را به همراه داشت (جدول ۳).

واکنش گیاه به تنش خشکی شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت‌های متابولیسمی 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 معنی‌دار تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه شد که به موجب آن افت شدید 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 کم‌آبی در مرحله گرده‌افشانی موجب کاهش تعداد سنبلک بارور در گندم می‌شود. 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 می‌شود، با این حال دستیابی به حداکثر تعداد دانه در سنبله متأثر از شرایط محیطی پس از گلدهی است. یکی از حساس‌ترین مراحل فنولوژی گندم به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، مرحله گلدهی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

می‌باشد. کم آبی در این مرحله فنولوژی، باعث عدم‌تلقیح و ناباروری گلچه‌ها و نیز سقط‌شدن تعدادی از تخمک‌های تلقیح‌شده می‌شود که در نهایت تعداد دانه در سنبله کاهش می‌یابد (Yang *et al.*, 2003). علاوه‌براین، 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 کوتاه‌کردن طول دوره پرشدن دانه، باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Dolferus, 2010). در مواجهه با کم آبی، با بسته‌شدن 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 محلول‌پاشی گیاهان با براسینواستروئید موجب کاهش اثرات سوء تنش خشکی شد به‌طوری‌که 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 و 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 آسیمیلات‌ها را در گیاه افزایش داده و در نهایت منجر به افزایش وزن‌هزار 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 رشد طولی بافت‌های جوان (از طریق تقسیم و طویل‌شدن سلولی) که فرایند نموی مهمی برای رشد گیاه محسوب می‌شود را القا می‌کنند. در همین راستا Dhaubhadel و همکاران (۱۹۹۹) گزارش داده‌اند که محلول‌پاشی براسینواستروئید از طریق افزایش بیوسنتز اکسین و جیبرلین، باعث افزایش ارتفاع بوته و زیست‌توده 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 بین‌بردن گونه‌های فعال اکسیژن در گیاه می‌شود (Soltan Shahattary and Mansourifar, 2017). از طرف دیگر، به دنبال تنش خشکی، بسته‌شدن 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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). در پژوهش حاضر نیز برگ‌پاشی براسینواستروئید افزایش معنی‌دار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در شرایط تنش خشکی، در گندم به همراه داشت (جدول ۲). در این رابطه Ogweno 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 قابل ملاحظه‌ای 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 اسمزا 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 اسمزا و محافظ اسمزی است، در حفظ تعادل آب، حفظ ثبات پروتئین-ها، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، غشاها تثبیت و جاروب‌کردن رادیکال‌های آزاد وگونه‌های فعال اکسیژن نقش به‌سزایی دارد (Matysik *et al.*, 2002; Bandurska, 2000; 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 آسیمیلات‌ها 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.*, 2013; 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). Asha و Lingakumar (۲۰۱۵) گزارش دادند که کاربرد براسینواستروئیدها علاوه بر اثر بر فعالیت‌های متابولیکی مختلف، جذب آب و عناصر غذایی به ویژه نیتروژن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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

نتیجه‌گیری

طبق نتایج پژوهش حاضر، در مجموع می‌توان بیان داشت کاربرد غلظت مناسب براسینواستروئید، در مرحله رشدی مناسب گیاه، می‌تواند نقش به‌سزایی در تعدیل تنش خشکی داشته باشد. محلول‌پاشی براسینواستروئید با اثر بر تجمع اسمولیت‌ها و فعال‌کردن توانایی تنظیم اسمزی و همچنین با فعال‌کردن سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی گردیده و در نهایت استفاده از این ترکیب به‌صورت برون‌زا منجر به بهبود عملکرد گندم در مناطق کم‌آب می‌شود.

منابع

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

نجفیان، گودرز، خدارحمی، منوچهر، امینی، اشکبوس، افشاری، فرزاد، ملیحی‌پور، علی، احمدی، غلامحسین، نیکوسرشت، رضا، کفاشی، امیر کیوان، امین، حسین، ذاکری، عبدالکریم، نیکزاد، احمدرضا، جعفرنژاد، احمد، افیونی، داوود، حسن‌پور، جواد، محمدی، علی‌رضا، عطاحسینی، سید محمود، ناظری، علی، میرزایی، امان الله، شورابی، علی اصغر، شادمهری، احمد، بدری، علی‌رضا، مومن، علی، و صادقی، نوروز (۱۳۹۱). سیروان، رقم جدید گندم نان متحمل به خشکی آخر فصل و با کیفیت نانوایی خوب برای کشت در مزارع آبی مناطق معتدل ایران. *مجله علمی-ترویجی یافته های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*، ۱ (۱)، ۱-۱۰. 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)، ۱-۸.

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 -epibrassinollide 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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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

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

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

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

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

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

Ogweno, J. O., Song, X. S., Shi, K., Hu, W. H., Mao, W. H., Zhou, Y. H., & Nogues, 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

Parida, A. K., Dagaonkav, V. S., Phalak, M. S., & Aurangabadkar, L. P. (2008). Differential responses of the enzymes involved in praline 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

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

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

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

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

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, 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

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

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

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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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

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

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

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

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

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

Yu, J. Q., Huang, L. F., Hu, W. H., Zhou, Y. H., Mao, W. H., Ye, S. F., & Nogues, 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

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

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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]

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 Kabiri[2]

[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

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-09]