مجله فرایند و کارکرد گیاهی

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

مهدی نقی زاده*[۱] و رزیتا کبیری[۲]

[۱] گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[۲] مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)

چکیده

در این پژوهش تاثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید (۰، 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 بر اساس طرح کاملا 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 گردید 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 آب مقطر تیمار شده بودند تحت شرایط تنش خشکی گردید. تنش خشکی اثر معنی-داری در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی (پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز) و غلظت مالون دی‌آلدهید، پراکسید هیدروژن و همچنین تجمع کربوهیدرات و پرولین در برگ گندم داشت. محلول‌پاشی براسینواستروئید در هر دو شرایط تنش و غیر تنش، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی 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 تاثیر 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 آنتی اکسیدانی گندم بوده باشد.

کلمات کلیدی: آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، پرولین، عملکرد، مالون دی‌آلدهید

مقدمه

کشور ایران به لحاظ قرار گرفتن 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

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

کشاورزی قرار دارد و یک سوم این مقدار به کشت گندم، به عنوان مهم‌ترین گیاه استراتژیک کشور، اختصاص دارد (امام، ۱۳۹۰). گندم رقم سیروان دارای عملکرد بالا و کیفیت نانوایی خوب برای جایگزینی قسمتی از سطح زیر کشت 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 می‌باشد (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 تاثیر بر فیزیولوژی، مورفولوژی و در نهایت عملکرد گیاه می‌باشد (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 تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، کمبود آب با تاثیر 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 تاثیر 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; Pireivatlou *et al.*, 2010; Shao *et al.*, 2005; Mary *et al.*, 2001).

راه‌های مختلف به‌نژادی و نیز استفاده از تنظیم کننده‌های رشد برای افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان وجود دارد. در مقایسه با روش‌های به نژادی که اغلب بلند مدت و هزینه‌بردار می‌باشند، کاربرد تنظیم کننده‌های 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 غیر زنده 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 تاثیر 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 تاثیر آن بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی گندم رقم سیروان انجام شد.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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 کاملا تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل تنش خشکی (۱۰۰ درصد (بدون تنش) و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و محلول‌پاشی براسینواستروئید (۰، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد) بودند. روش اعمال تیمار خشکی بصورت وزنی بود. ابتدا وزن گلدان، زیر گلدانی و شن ریزه کاملا شسته و خشک شده‌ای که به عنوان صافی ته گلدان استفاده می‌شد، مشخص گردید. سپس به هر گلدان وزن مشخصی از خاک مزرعه که بطور 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 گردید. 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 مهر ماه، 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 گردیدند. رطوبت گلدان‌های مربوط به تیمار شاهد، تا انتهای دوره رشد در حد ظرفیت زراعی نگه‌داری شد. در حالی‌که گلدان‌های مربوط به تنش خشکی، از مرحله گرده افشانی 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 نیمه عمر براسینواستروئید در گیاه و جهت اطمینان از جذب شدن آن، اسپری آب مقطر (به عنوان شاهد) و محلول‌پاشی براسینواستروئید (۰، ۰/۰۷۷ و ۰/۳۸۴میلی‌گرم در لیتر) بر روی برگ‌های گیاه گندم بصورت سه روز متوالی و حدود ۳۰ میلی‌لیتر بر روی هر گیاه تکرار شد. جهت اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی اکسیدانی و غلظت اسمولیت‌ها، دو هفته پس از محلول‌پاشی بوته‌ها، نمونه‌برداری از برگ‌ها انجام شد.

سنجش فعالیت آنزیمی

فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز (SOD): مخلوط واکنش نمونه‌ها برای سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید 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 تهیه شده، در دمای ۲۵ °C با روشن شدن لامپ فلورسنت آغاز شد. در لوله کنترل نیز مخلوط واکنش ذکر شده 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 می‌باشد. با استفاده از این اختلاف جذب، واحد آنزیمی و فعالیت آنزیمی محاسبه گردید.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز در ۲۴۰ نانومتر انجام شد (Dhindsa and Matowe, 1981). مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار و پراکسیدهیدروژن ۱۵ میلی‌مولار بود. با اضافه کردن ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به این مخلوط، واکنش آغاز گردید. برای صفر کردن دستگاه اسپکتروفتومتر از شاهد (شامل مخلوط واکنش اما فاقد عصاره آنزیمی) استفاده شد. تغییرات جذب، پس از شروع واکنش محاسبه گردید. فعالیت آنزیم به صورت واحد آنزیمی بر حسب مقدار پروتئین کل موجود در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، در یک دقیقه محاسبه گردید.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: به منظور سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز در ۴۷۰ نانومتر بر اساس روش Cakmak و همکاران (۱۹۹۳)، مخلوط واکنش شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، پراکسیدهیدروژن 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 اضافه نمودن عصاره آنزیمی و پس از یک دقیقه خوانده شد. فعالیت آنزیم بر حسب 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 اکسید شدن 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 بر حسب واحد آنزیم در مقدار پروتئین کل موجود در ۵۰ میکرولیتر عصاره، گزارش شد (Nakano and Asada, 1981).

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 تری‌کلرواستیک اسید سائیده و عصاره حاصل به مدت ۵ دقیقه سانتریفوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول روی حاصل از سانتریفوژ، ۴ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک اسید اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد و پس از سرد شدن، مجددا به مدت ۱۰ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. نتایج حاصل از اندازه‌گیری بر حسب نانومول بر گرم وزن‌تر محاسبه شد. برای سنجش پراکسید هیدروژن، بافت گیاهی در حمام یخ با تری کلرواستیک اسید ۰/۱٪ سائیده شد. عصاره به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ 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. جذب در طول موج ۳۹۰ نانومتر قرائت 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 ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ شد. دو میلی‌لیتر از مایع رویی با ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و نیز ۲ میلی‌لیتر استیک اسید مخلوط و در حمام آبگرم قرار گرفت و سپس۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. میزان جذب لایه فوقانی در۵۲۰ 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 گردید. به ۲ میلی‌لیتر از این عصاره، ۲ میلی‌لیتر محلول سولفات مس اضافه و ۲۰ دقیقه در حمام گرم قرار گرفت. پس از سرد شدن، دو میلی‌لیتر محلول فسفومولیبدیک اسید به محلول اضافه شد. شدت جذب محلول در طول موج ۶۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت قندهای احیاکننده محاسبه گردید (Zhang *et al.*, 2006).

در نهایت، زرد شدن میانگره آخر (پدانکل) و نیز خود سنبله شاخص زمان رسیدگی فیزیولوژیک تعیین شد، که در این زمان، هر سه گیاه در هر کلدان از ناحیه یقه از خاک جدا شدند و تعداد دانه‌های موجود در هر سنبله و وزن آن‌ها

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

محاسبه گردید. در این زمان، بوته‌ها برداشت و پارامترهای عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و زیست-توده‌گیاه 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 **زیست-توده**گندم رقم سیروان گردید. در مقابل، محلول‌پاشی براسینواستروئید تاثیر مثبت معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد داشت و به عبارتی محلول‌پاشی براسینواستروئید توانست موجب تعدیل اثرات منفی تنش خشکی بر گندم گردد. به طوریکه کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید، بدون اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر، در شرایط تنش و غیر تنش 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 **زیست-توده**گردید. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، تاثیر مثبت محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی عملکرد و اجزای آن در شرایط تنش خشکی بیشتر از شرایط نرمال و بدون تنش بود (جدول ۱).

جدول ۱- تاثیر 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 نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

خصوصیات فیزیولوژیکی:

نتایج بدست آمده حاکی از این بود که اعمال تنش خشکی باعث افزایش ۴۳/۱۲ درصدی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در برگ گندم رقم سیروان گردید. اگرچه غلظت پایین براسینواستروئید تاثیر معنی‌داری روی این آنزیم در شرایط غیر تنش نداشت، اما محلول‌پاشی براسینواستروئید ۰/۳۸۴ میلی‌گرم در لیتر افزایش معنی‌دار (۱۳٪) سوپراکسیددیسموتاز 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).

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

تحت تاثیر تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز به صورت معنی‌دار افزایش یافت. علاوه بر این در شرایط تنش خشکی، برگ‌پاشی براسینواستروئید نیز افزایش معنی‌دار این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

جدول ۲- تاثیر محلول‌پاشی براسینواستروئید بر روی سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پرکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، مالون دی آلدهید و پراکسید هیدروژن برگ گندم رقم سیروان تحت شرایط تنش خشکی.

آبیاری (F.C.)	براسینواستروئید (mg L^{-1})	سوپراکسیددیسموتاز (U mg^{-1} protein)	کاتالاز (U mg^{-1} protein)	پراکسیداز (U mg^{-1} protein)	آسکوربات پراکسیداز (U mg^{-1} protein)	مالون دی‌آلدهید (nmol g^{-1} FW)	پراکسید هیدروژن (µmol g^{-1} FW)
۱۰۰٪	۰	۴/۳۲^{e}	۴/۰۲^{c}	۴۰/۰۲^{d}	۱/۵۰^{d}	۶/۸۴^{d}	۱۲/۴۲^{d}
	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}
۵۰٪	۰	۷/۴۲^{c}	۸/۱۱^{ab}	۶۸/۵۶^{c}	۳/۵۷^{b}	۱۳/۷۶^{a}	۳۵/۳۲^{a}
	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 نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

آنزیم آنتی اکسیدانی پراکسیداز در برگ‌های گندم تنش دیده 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 گردید (جدول ۲). نتایج همچنین بیانگر این بود که فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در شرایط تنش در مقایسه با شرایط نرمال به طور معنی‌دار افزایش یافت. به علاوه، برگ‌پاشی براسینواستروئید نیز تاثیر مثبت بر این افزایش داشت. به طوریکه در شرایط تنش، برگ‌پاشی 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 میلی‌گرم در لیتر افزایش ۲۰/۲۱ درصدی این آنزیم را به همراه داشت (جدول ۲).

غلظت مالون دی‌آلدهید در برگ گیاهان تنش دیده در مقایسه با شاهد، ۵۰/۳ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، محلول‌پاشی براسینواستروئید اگرچه در شرایط نرمال، تاثیر معنی‌داری در کاهش مالون دی آلدهید 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 دی آلدهید 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 گردید (جدول ۲). نتایج حاصل از اندازه‌گیری غلظت پرولین نشان داد که میزان این اسمولیت در برگ گیاهان تنش دیده به طور معنی‌دار بیشتر از گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال بود. همچنین کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید باعث افزایش معنی‌دار پرولین در شرایط تنش گردید (جدول ۳). برگ‌پاشی گیاهان رشد یافته در شرایط نرمال با براسینواستروئید غلظت ۰/۳۸۴

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

میلی‌گرم در لیتر، باعث افزایش ۱۳/۹۸ درصدی پروتئین در برگ این گیاهان شد. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش ۳۱/۹۳ درصدی پروتئین در برگ گندم رقم سیروان شد، اما در همین شرایط کاربرد هر دو غلظت براسینواستروئید افزایش ۲۰ درصدی پروتئین را به همراه داشت (جدول ۳). بر اساس نتایج مشخص گردید که مقدار کربوهیدرات در برگ گیاهان تنش دیده در مقایسه با شاهد، ۲۲/۰۵ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، برگ‌پاشی گیاهان با هردو غلظت براسینواستروئید به طور میانگین افزایش ۲۵ درصدی کربوهیدرات برگ گیاهان تنش دیده را به همراه داشت (جدول ۳).

جدول ۳- تاثیر 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 ($mg\ g^{-1}\ DW$)
۱۰۰٪	۰	۵/۴۴^{d}	۱۳/۸۴^{b}	۴۹/۱۲^{c}
	۰/۰۷۷	۵/۴۲^{d}	۱۳/۴۵^{b}	۴۹/۳۲^{c}
	۰/۳۸۴	۵/۶۲^{d}	۱۶/۰۹^{a}	۵۱/۰۰^{c}
۵۰٪	۰	۱۵/۴۵^{c}	۹/۴۲^{d}	۶۳/۰۲^{b}
	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 نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵٪ بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

واکنش گیاه به تنش خشکی شامل تغییرات مولکولی و گسترش آن به فعالیت‌های متابولیسمی گیاه و تاثیر بر خصوصیات فیزیولوژیکی و در نهایت عملکرد گیاه می‌باشد (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 گردید 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 کم آبی 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). اگرچه پتانسیل تعداد دانه در سنبله گندم، قبل از گلدهی گیاه تعیین می‌شود، با این حال دستیابی به حداکثر تعداد دانه در سنبله متاثر از شرایط محیطی پس از گلدهی است. یکی از حساس‌ترین مراحل

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

فنولوژی گندم به تنش‌های محیطی از جمله خشکی، مرحله گلدهی 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 سلول-های آندوسپرم دانه در قاعده و راس سنبله شده، همچنین تنش خشکی در این مرحله، با کوتاه کردن طول دوره پر شدن 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 پر شدن 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 گردید به طوریکه 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 گردید (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). تاثیر 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 طویل شدن سلولی) که فرایند نموی مهمی برای رشد گیاه محسوب می-شود 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 زیست‌توده‌گیاهچه‌های کلزا و گوجه فرنگی گردید. در تحقیق حاضر نیز، افزایش ماده خشک کل گندم به دنبال برگ‌پاشی براسینواستروئید مشاهده شد (جدول ۱). اگرچه گزارش شده است که براسینواستروئیدها مستقل از سایر هورمون‌های رشد، موجب تحریک تقسیم سلولی می-شوند. 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 می‌گردند (Shahid *et al.*, 2011).

مواجهه گیاهان با تنش‌های غیر زنده از جمله خشکی موجب تولید گونه اکسیژن فعال از جمله پراکسیدهیدروژن، 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 دی اکسیدکربن 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

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد کاربرد خارجی براسینواستروئیدها، فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مقابله کننده 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 معنی-دار آنزیم‌های آنتی اکسیدانی 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 تنظیم کننده فعالیت آنتی اکسیدان را افزایش داده و در نتیجه نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش مقاومت به تنش‌ها در گیاهان ایفا نمایند (Vardhini and Anjum, 2015; Ashraf *et al*, 2010).

یکی از راه های مقابله با تنش‌های محیطی نظیر خشکی، سنتز ترکیبات اسمزا و افزایش توانایی تنظیم اسمزی گیاه می‌باشد. از جمله اسمولیت‌ها می‌توان پرولین، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها را نام برد. پرولین علاوه براین که یک ماده اسمزا و محافظ اسمزی می‌باشد در حفظ تعادل آب، حفظ ثبات پروتئین ها، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، غشاها تثبیت و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد وگونه‌های فعال اکسیژن نقش به سزایی دارد (Matysik *et al.*, 2002; Bandurska, 2000; Rai, 2002;). در پژوهش حاضر، مقدار اسمولیت‌ها در برگ گیاهان تنش دیده 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 به طور قابل ملاحظه موجب افزایش غلظت اسمولیت‌ها در برگ گندم در شرایط تنش خشکی گردید (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 موثر آسیمیلات‌ها از محل تولید به مصرف است (Vardhini and Anjum, 2015). در واقع، براسینواستروئیدها موجب فعال شدن 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

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

کربوهیدرات‌ها را کدگذاری می‌کنند و همچنین کنترل انتقال این ترکیبات به مراکز مصرف، نقش قابل ملاحظه‌ای 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 سوخت و ساز 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 را افزایش داده که این امر منجر به افزایش ساخت پروتئین، رشد و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

طبق نتایج پژوهش حاضر، در مجموع می‌توان بیان داشت کاربرد غلظت مناسب براسینواستروئید، در مرحله رشدی مناسب گیاه، می‌تواند نقش بسزایی در تعدیل تنش خشکی داشته باشد. محلول‌پاشی براسینواستروئید با اثر بر تجمع اسمولیت‌ها و فعال کردن توانایی تنظیم اسمزی و همچنین با فعال کردن سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی گیاه باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی گردیده و در نهایت استفاده از این ترکیب بصورت 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، ملیحی پور، علی، احمدی، غلامحسین، نیکوسرشت، رضا، کفاشی، امیر کیوان، امین، حسین، ذاکری، عبدالکریم، نیکزاد، احمدرضا، جعفرنژاد، احمد، افیونی، داوود، حسن پور، جواد، محمدی، علی‌رضا، عطاحسینی، 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 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.

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.

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, 9-20.

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, 153-157.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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, 162-190.

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, 409-415

Bates, L. S., Waldran, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. *Plant Soil*, 39, 205-208.

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.

Cakmak, I., Strbac, D., & Marschner, H. (1993). Activities of hydrogen peroxide-scavenging enzymes in germinating wheat seeds. *Journal of Experimental Botany*, 44, 127-132.

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, 333-342.

Dhindsa, R. S., & Matow, W. (1981). Drought tolerance in two mosses: correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation. *Journal of Experimental Botany*, 32, 79-91.

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, 926-942.

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, 262-269.

Heath, R. L., & packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.

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.

Kang, Y. Y., & Guo, S. R. (2011). Role of brassinosteroids on horticultural crops. Pp: 269-288. In: Hayat, S. and Ahmad, A. (Ed.), Brassinosteroids: A class of Plant Hormone. *Springer Netherlands*.

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, 327-335.

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, 525-532

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867-880.

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, 49-57.

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, 619-627

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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.

Rai, V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum*, 45, 481-487.

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, 173-181.

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, 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, 500-510.

Shao, H. B., Liang, Z. S., Shao, M. A., & Wang, B. C. (2005). Changes of some physiological and biochemical indices for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. Colloids and Surfaces B: *Biointerfaces*, 42, 107-113.

Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Si effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology*, 167, 1248-1252.

Sinclair, T. R. (2011). Challenges in breeding for yield increase for drought. *Trends in Plant Science*, 16, 289-293.

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, 1-4.

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, 223-231.

Vardhini, B. V., & Anjum, N. A. (2015). Brassinosteroids make plant life easier under abiotic stresses mainly by modulating major components of antioxidant defense system. *Environmental Science*, 2, 1-16.

Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. *Plant Science*, 151, 59-66.

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, 10: 1-8.

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, 3056-3065.

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, 1185-1196.

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, 467-478.

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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, 185-195.

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, 1135-1143.

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, 363-372.

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, 27-34.

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

(naghizadeh@uk.ac.ir)

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

(Kabiri@areeo.ac.ir)

Abstract

In this research, the effect of foliar spraying of brassinosteroid (0.077 and 0.384 mg/liter) on grain yield and some physiological characteristics of wheat (Sirvan number) under drought stress conditions (100% and 50% F.C.) was investigated in a factorial arrangement based on randomized complete block design with four replications at the research greenhouse of 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 that were treated with distilled water under stress condition. Drought stress had a significant effect on increasing the activity of antioxidant enzymes (peroxidase, ascorbate peroxidase, catalase and superoxide dismutase) and the concentration of

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.

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 the accumulation of osmolytes (protein, carbohydrate and proline) and conversely decreased the amount of hydrogen peroxide and malondialdehyde and this effect was more noticeable under drought stress conditions. It seems that the effect of brassinosteroid application in modulating drought stress and improving wheat yield can be related to enhancement osmotic regulation (through the accumulation of osmolytes) and increasing the activity of the antioxidant defense system mechanism of wheat.

Keywords: Antioxidant enzymes, proline, yield, malondialdehyde.

پیش انتشار

این مقاله نهایی نیست و پس از انتشار تغییراتی خواهد داشت.