

تغییرات صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو و ارتباط آن با تحمل به تنش خشکی

صادق شهراسبی^۱، رسول احمدزاده^۱ و حسن پاک‌نیت^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۴)

چکیده

به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌های خارجی و ارقام بومی جو در برابر خشکی و بررسی صفات بیوشیمیایی، هشت ژنوتیپ به همراه دو رقم زراعی جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو وضعیت آبیاری مطلوب و قطع آبیاری (تنش خشکی) در سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز بررسی شدند. فاکتور اصلی شامل تیمارهای تنش خشکی و آبیاری کامل و فاکتور فرعی شامل ژنوتیپ‌ها و ارقام جو بود. نتایج نشان داد که خشکی موجب کاهش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید در همه ژنوتیپ‌ها شد، به طوری که به ترتیب باعث کاهش ۱۸/۹، ۲۶/۲ و ۱۲/۶ درصدی در این صفات شد. نسبت کلروفیل a/b در این پژوهش در شرایط تنش خشکی افزایش یافت. کمترین کاهش در رنگدانه‌ها مربوط به رقم یوسف و ژنوتیپ‌های ۷۹ و ۱۲۰ بود که متحمل محسوب می‌شوند، همچنین فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز تحت تنش خشکی به طور معنی‌داری افزایش یافت. نتایج نشان داد که از بین مجموع آنزیم‌های مورد مطالعه، آنزیم کاتالاز فعالیت کمی داشته و لذا نقش کم‌رنگی در محافظت گیاه از تنش خشکی ایفا می‌کند، در حالی که آنزیم پراکسیداز به عنوان بهترین معیار بیوشیمیایی تحمل به خشکی شناخته شد. بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در شرایط تنش خشکی در رقم یوسف (۷۴/۴۸ درصد) و ژنوتیپ ۱۲۰ (۷۲/۶۱ درصد) و کمترین میزان آن نیز در رقم ریحان (۵۰/۷۸ درصد) نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به دست آمد. در مجموع ژنوتیپ‌های ۹۵ و ۱۲۰ به ترتیب با میانگین عملکرد دانه ۸۸۰۹/۷ و ۸۹۲۵ کیلوگرم در هکتار به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر دو شرایط مطلوب و تنش خشکی شناخته شدند. بنابراین، خشکی می‌تواند تأثیر متفاوتی بر صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های جو داشته باشد و این تفاوت احتمالاً با تحمل به تنش آنها در ارتباط است.

واژه‌های کلیدی: خشکی، فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی، محتوای رنگدانه‌ها

۱ و ۲. به ترتیب دانش‌آموختگان کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: pakniyat@shirazu.ac.ir

مقدمه

اکسندنه ناشی از تنش خشکی فعالیت کند.

شارما و دویی (۲۴) با مطالعه بر روی برنج گزارش کردند فعالیت آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز با افزایش شدت تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند، در صورتی که یانگ و همکاران (۲۶) با بررسی روی ژنوتیپ‌های جو نشان دادند که با افزایش شدت خشکی فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این اختلاف ناشی از نوع گونه گیاهی، مرحله رشد و نمو بافت گیاهی و شرایط محیطی است (۲۴). حداد و سالک جلالی (۹)، اثر تنش کمبود آب بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (کاتالاز، پراکسیداز، سوپر اکسید دیسموتاز و آسکوربیک پراکسیداز) در دوره زایشی پنج ژنوتیپ مختلف جو در شرایط مزرعه را مورد بررسی قرار دادند. آنها چنین بیان کردند که در مقایسه با کاهش پروتئین کل سلولی، در مجموع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مورد مطالعه از افزایش بیان برخوردار بودند که در بین این آنزیم‌ها دو آنزیم آسکوربیک پراکسیداز و کاتالاز به‌ویژه در دو تیمار دیم و خشکی فعالیت بیشتری از خود نشان دادند. آنها چنین نتیجه‌گیری کردند که آنزیم‌های بررسی شده، در حفاظت سلول در مقابل عوامل رادیکال‌های آزاد تولید شده بر اثر تنش خشکی در دیم‌زارها نقش اساسی دارند.

کاهش در محتوای کلروفیل در اثر خشکی، یکی از تغییرات بیوشیمیایی و از علائم تنش اکسیداتیو است که منجر به کاهش فتوسنتز و تغییر در سایر فرآیندهای فیزیولوژیک می‌شود که در گیاهان تحت تنش مشاهده می‌شود (۲۵). دلیل آن می‌تواند به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاهان تحت تنش آب بستگی داشته باشد (۵). حفظ غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی باعث پایداری فتوسنتز در این شرایط می‌شود (۱۵). واکنش متفاوت کلروفیل به خشکی در ارقام حساس و متحمل و یا عدم تأثیر تنش خشکی بر غلظت کلروفیل در گیاهان زراعی گزارش شده است (۱۰ و ۱۵) که به‌نظر می‌رسد کاهش فتوسنتز تحت تنش تا حدی به‌واسطه کاهش

خشکی از جمله پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌ها در سطح جهان به حساب می‌آید که موجب طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه از متابولیسم سلولی تا تغییرات در نرخ رشد و بازده محصول می‌شود، لذا درک واکنش‌های بیوشیمیایی و مولکولی خشکی برای یک درک جامع از مکانیسم‌های تحمل گیاه به شرایط کمبود آب ضروری است (۲۵). تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) یکی از اولین واکنش‌های بیوشیمیایی سلول‌های یوکاریوتی به تنش‌های زنده و غیر زنده است (۱۹). تصور می‌شود که در شرایط طبیعی تولید و حذف گونه‌های اکسیژن فعال در حالت تعادل هستند ولی تنش‌های محیطی موجب اختلال شده و موجب افزایش تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌شود (۸). گونه‌های اکسیژن فعال برای ارگانسیم‌ها بسیار سمی هستند و بر روی ساختار و عملکرد مولکول‌های زیستی تأثیر می‌گذارد که اثرات مضر آنها در سیستم بیولوژیکی اغلب در غیر فعال کردن آنزیم‌های حساس، تخریب کلروفیل، فعالیت پروتئین‌ها، لیپیدها، نوکلئیک اسیدها، روزنه‌ها و غشاء دیده می‌شود (۱۶ و ۲۲). تمام موجودات هوازی دارای سیستم‌های دفاعی آنزیمی و غیر آنزیمی برای خنثی کردن اثرات گونه‌های اکسیژن فعال هستند (۸). مظفری و همکاران (۱۴) با بررسی فعالیت‌های آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی پس از تنش خشکی در شش رقم ذرت و در سه سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) نشان دادند که کارایی مصرف آب (WUE) در شرایط تنش مقدار کمی کاهش یافته و فعالیت کاتالاز و آسکوربیک پراکسیداز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته، در حالی که فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز و پراکسیداز تحت تنش خشکی کاهش یافته است. امینی و همکاران (۲) در بررسی روی چهار ژنوتیپ جو در شرایط مزرعه‌ای اعلام کردند تنش کم‌آبی در تیمارهای دیم و خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد. در این بررسی مشخص شد که از بین آنزیم‌های مورد بررسی، آنزیم پراکسیداز می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین آنزیم جهت افزایش تحمل گیاه جو در مقابل تنش

نهایت احداث مرز و نهر است. هر کرت فرعی شامل چهار پشته به طول سه متر است. فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر و فاصله گیاهان روی ردیف دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت به وسیله یک ردیف کشت نشده از کرت بعدی جدا شد. بلوک‌ها با فاصله ۲۰ متر زمین نکاشت از هم جدا شدند. با توجه به نتایج آزمون خاک و مشخص شدن عدم احتیاج به عناصری از قبیل پتاسیم و فسفر تنها کود مورد استفاده میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در دو نوبت (نیمی در زمان کاشت و نیمی در زمان طویل شدن ساقه) به کرت‌ها داده شد. در تیمار آبیاری مطلوب، گیاهان تا پایان مرحله رشد به اندازه ظرفیت مزرعه آبیاری شدند، درحالی‌که در تیمار تنش خشکی، گیاهان تا مرحله گل‌دهی به اندازه ظرفیت مزرعه آبیاری شدند و سپس تنش خشکی به صورت قطع آبیاری اعمال شد. میزان آب در هر نوبت آبیاری برای هر کرت آزمایشی با استفاده از دبی جریان آب اندازه‌گیری شد. دبی آب برحسب لیتر در دقیقه محاسبه و با اندازه‌گیری زمان آبیاری، آب مصرفی برای هر کرت تعیین شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری از درصد رطوبت وزنی خاک استفاده شد. برای انجام این کار ۲۴ ساعت قبل از هر آبیاری از دو عمق خاک مزرعه (۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری) نمونه برداری و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و میزان رطوبت وزنی خاک تعیین شد. در زمان گل‌دهی، نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه‌ها از برگ پرچم ساقه اصلی صورت گرفت. برای این کار برگ پرچم پنبه‌بوته جو در هر کرت برداشت شده و در ازت مایع فریز شده و به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور ارزیابی فعالیت‌های آنزیمی ابتدا برای تهیه ۵۰ میلی‌لیتر بافر استخراج، ۰/۶۰۷ گرم تریس را با ۰/۰۵ گرم PVP در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خوبی حل کرده و سپس با اسیدکلریدریک، pH محلول را به هشت رسانده و بعد از آن محلول را به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسانده می‌شود و از این بافر برای عصاره‌گیری پروتئین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی استفاده می‌شود

غلظت کلروفیل است. دهشیری و پاک‌نیت (۶) با بررسی میزان کلروفیل و کاروتنوئید در ۹ ژنوتیپ پاییزه کلزا، مشاهده کردند که تنش خشکی باعث افزایش محتوای کلروفیل و کاروتنوئید می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش بیشتر شدت تنش بر گیاه و کاهش سطح برگ می‌شود. به طور کلی یک ارتباط قوی بین تحمل به تنش‌های اکسیداتیو که به دلیل تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و تغییر در صفات بیوشیمیایی در گیاهان فتوسنتز کننده وجود دارد (۱۶ و ۲۰).

اگرچه تأثیر تنش خشکی بر تغییر در صفات بیوشیمیایی به خوبی در پژوهش‌ها بررسی شده است، ولی تفاوت در پاسخ ارقام و ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی از این نظر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین این مطالعه مزرعه‌ای با هدف بررسی تغییرات صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های جو و ارتباط آن با تحمل به تنش خشکی ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به صورت دو آزمایش جداگانه با آبیاری مطلوب و تنش خشکی با نقشه‌های مشابه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، واقع در منطقه باجگاه شیراز (طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۵ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۰ دقیقه و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا) صورت گرفت. در این پژوهش مواد گیاهی مورد استفاده شامل هشت ژنوتیپ غیر بومی (خارجی) جو دو و شش ردیفه که از مرکز تحقیقات فیرنولا در ایتالیا تهیه شده بود (جدول ۱) به همراه دو رقم زراعی ایرانی (رقم متحمل یوسف و رقم حساس ریحان ۰۳) به عنوان ارقام شاهد منطقه بررسی شدند.

پژوهش در قالب دو طرح بلوک‌های کامل تصادفی تحت شرایط تنش و بدون تنش با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل تیمارهای تنش خشکی و آبیاری کامل و فاکتور فرعی شامل ژنوتیپ‌ها و ارقام جو بود. عملیات زراعی شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دو بار دیسک عمود برهم و لولر و در

جدول ۱. فهرست و شجره ژنوتیپ‌های مورد استفاده

ژنوتیپ	ردیف	شجره
۲۱	۶	۷۵ x (بروینا x اکسپرس)
۲۸	۲	ریکا x (بالدر x (بایندر x اوپال))
۷۹	۶	انگلیس ۵۰ x کانادا
۸۷	۲	آسترید x لا با
۹۵	۶	محلی
۹۷	۲	سانریس x لا با
۱۲۰	۶	-
۱۲۵	۲	تریا x مالتا

شود. در انتها به روشی که ذکر شد میزان فعالیت ویژه آنزیم محاسبه شد. تعیین میزان فعالیت کاتالاز از روش تغییر یافته چانس و ماهلی (۴) و براساس سرعت تخریب H_2O_2 توسط آنزیم انجام شد. در این روش، ابتدا یک میلی لیتر بافر استات پتاسیم (pH=۶/۷) را در کووت ریخته و به آن به نسبت مساوی پراکسید هیدروژن ۰/۰۳ مولار و عصاره گیاه به میزان ۱۷/۶ میکرولیتر اضافه شد. محلول حاصله را به هم زده و میزان جذب نوری آن در طول موج ۲۶۰ نانومتر به مدت چهار دقیقه و به فواصل ۱۵ ثانیه قرائت شد. برای اعداد قرائت شده منحنی فعالیت رسم شد تا از خطی بودن فعالیت آنزیم اطمینان حاصل شود و از روی میزان جذب نوری نمونه میزان فعالیت آنزیم تعیین شد. جهت تعیین واحد فعالیت آنزیم، مقدار آنزیمی که در مدت زمان یک دقیقه یک میکرومول سوبسترا (H_2O_2) را به محصول تبدیل می‌کند، محاسبه و داده‌های به دست آمده از طریق محاسبه نسبت واحد فعالیت آنزیمی به میلی گرم پروتئین کل استاندارد شد. برای اندازه گیری غلظت آنزیم پراکسیداز نیز از روش تغییر یافته چانس و ماهلی (۴) استفاده شد. مبنای آن اندازه گیری اکسیدشدن گوایکول توسط آنزیم است. ابتدا دو میلی لیتر بافر فسفات-سیترات (مخلوط ۲۱ میلی لیتر اسید سیتریک با ۲۹ میلی لیتر فسفات سدیم که pH آن با استفاده از اسید سولفوریک به ۵/۵ رسانده شد) را در کووت ریخته و ۳۵/۲ میلی لیتر گوایکول ۰/۲ مولار به آن اضافه شد. پس از آن

(این محلول باید در یخچال نگهداری شود). جهت عصاره‌گیری ابتدا ۰/۵ گرم برگ در ازت مایع کاملاً خرد شود، سپس دو میلی لیتر بافر فوق به آن اضافه و در داخل هاون چینی کاملاً هم‌وزنیزه شد. مخلوط حاصل را در تیوب و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد و پس از آن فاز بالای جهت قرائت میزان پروتئین و فعالیت آنزیم‌ها توسط پیپت جدا شد و در یخچال نگهداری شد (۲۰). سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به روش بیچامپ و فریدوویچ (۳) صورت گرفت. این روش براساس اندازه‌گیری توانایی آنزیم SOD در متوقف کردن احیا فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم (NBT) توسط رادیکال‌های سوپر اکسید در حضور ریپوفلاوین در نور است. در این روش ۳۳ میکرومول NBT، ۱۰ میلی متری بر لیتر ال-متیونین، ۰/۶۶ میلی مول EDTA و ۳/۳ میکرومول ریپوفلاوین در ۵۰ میلی مول بافر فسفات با pH ۸/۷ مخلوط شد. سپس عصاره استخراج شده به این مخلوط افزوده شد و ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نور قرار داده شد. بعد از آن، محلول حاصله را در دستگاه اسپکتروفتومتر (JENWAY-7315, UK) قرار داده شد و میزان جذب نوری آن در طول موج ۵۶۰ نانومتر به مدت پنج دقیقه و به فواصل ۱۵ ثانیه قرائت شد. برای اعداد قرائت شده، منحنی فعالیت رسم شد تا از خطی بودن فعالیت آنزیم مطمئن شویم و از روی میزان جذب نوری میزان فعالیت آنزیم تعیین

ژنوتیپ ۹۵ و در شرایط تنش خشکی برابر ۸۴۸۸ کیلوگرم در هکتار، برای ژنوتیپ ۱۲۰ مشاهده شد (جدول ۳). درحالی‌که کمترین میزان عملکرد دانه در هر دو شرایط آبیاری مطلوب (۳۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) و تنش خشکی (۲۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به ژنوتیپ ۲۱ بود. میزان عملکرد ژنوتیپ‌های جو در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط مطلوب کاهش معنی‌داری را نشان داد و پاسخ ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. به‌طور میانگین، عملکرد دانه همه ژنوتیپ‌ها و ارقام جو در شرایط آبیاری مطلوب ۲۶/۵ درصد بیشتر از شرایط تنش خشکی مشاهده شد (جدول ۳). نوروزی و همکاران (۱۷) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو شد که این کاهش به‌طور میانگین در بین هشتاد ژنوتیپ و رقم جو مورد مطالعه ۵۱/۳ درصد بود. کمترین کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی در ژنوتیپ‌های ۱۲۰ (۹/۳۴ درصد) و ۲۸ (۹/۴۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۳). ژنوتیپ‌های ۲۱ و ۷۹ به‌ترتیب با ۳۸/۴ و ۳۰/۴ درصد کاهش در عملکرد دانه بیشترین پاسخ را به تنش خشکی از خود نشان دادند. کیوان (۱۰) بیان کرد که تسریع روند پیری برگ‌ها، کاهش فتوسنتز جاری گیاه و کوتاه شدن مدت زمان مراحل نمو گیاه در اثر تنش خشکی باعث کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شوند.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

اثر تنش خشکی، ژنوتیپ و برهمکنش آنها بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد در هر دو شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۴) و تنش خشکی (جدول ۵) معنی‌دار بود. تنش خشکی موجب افزایش معنی‌دار در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز شد که این افزایش به‌طور میانگین در بین ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد مطالعه به‌میزان ۸۷/۱۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری مطلوب بود (جدول ۶). آنتی‌اکسیدانت‌ها مهم‌ترین سیستم آنزیمی و دفاعی گیاهان در مقابله با تنش خشکی را تشکیل می‌دهند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کاتالاز (CAT) اشاره کرد (۱۹).

۱۶/۸ میلی‌لیتر عصاره استخراج شده به آن اضافه و مقدار جذب نوری محلول حاصل در طول موج ۴۳۶ نانومتر به مدت دو دقیقه و به فواصل ۱۰ ثانیه قرائت شد. برای مطمئن شدن از صحت اعداد قرائت شده منحنی فعالیت آنزیم رسم شد. سپس از روی میزان جذب نوری میزان فعالیت آنزیم تعیین شد. جهت تعیین واحد فعالیت آنزیم، مقدار آنزیمی که در مدت زمان یک دقیقه یک میکرومول سوبسترا (گوایکول) را به محصول تبدیل کرد محاسبه و سپس میزان فعالیت ویژه آنزیم محاسبه شد. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید از روش لیکنن تالر (۱۳) استفاده شد. طبق این روش ۰/۲۵ گرم برگ در هاون چینی حاوی پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد، به‌طور کامل هم‌وزن‌نیزه شد. سپس محلول حاصل را داخل کووت ریخته و با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ قرائت می‌شود. با استفاده از روابط (۱) تا (۴) میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

$$\text{Chl a} = (12.25 \text{ A663} - 2.79 \text{ A646}) \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = (21.21 \text{ A646} - 5.1 \text{ A663}) \quad (2)$$

$$\text{Ch II} = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad (3)$$

$$\text{Car} = (1000 \text{ A470} - 1.8 \text{ Chl a} - 85.02 \text{ Chl b})/198 \quad (4)$$

داده‌های جمع‌آوری شده پس از تست نرمال بودن، توسط نرم‌افزار SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

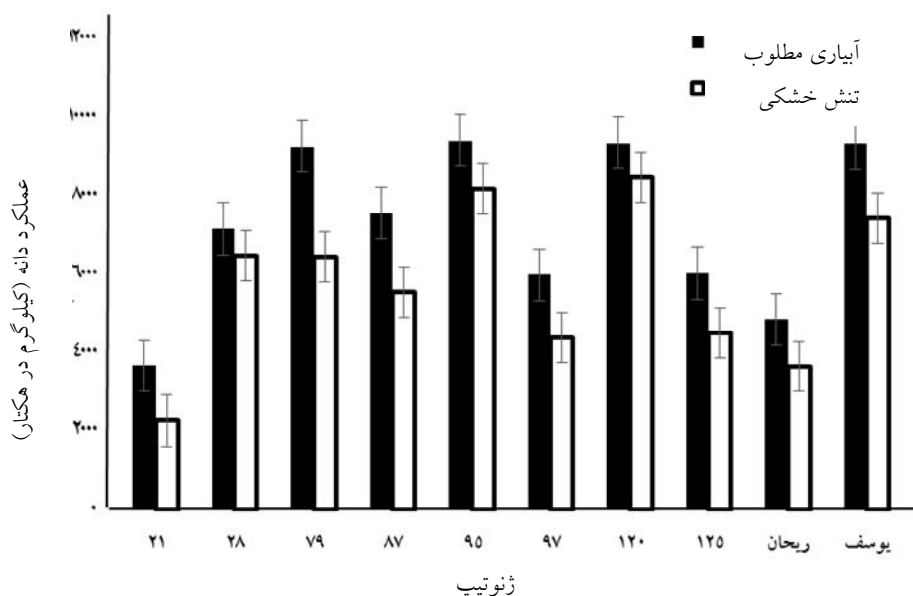
عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌های عملکرد دانه در شرایط مطلوب و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری را در بین ده رقم و ژنوتیپ جو در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۲). تحت شرایط تنش خشکی، عملکرد دانه در همه ژنوتیپ‌ها و ارقام جو به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). بیشترین میزان عملکرد در شرایط آبیاری مطلوب برابر ۹۴۴۲ کیلوگرم در هکتار برای

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه ارقام جو در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
تنش خشکی	آبیاری مطلوب		
۲۷۵۲۲/۹۸	۵۲۴۵/۱۵	۲	بلوک
۹۳۷۵۸۹/۵۸**	۱۳۰۴۳۹/۲۰**	۹	رقم
۵۵۵۰۶/۷۳	۶۰۲۰/۷۵	۱۸	خطا
۱۳/۱۳	۱۰/۶۶		ضریب تغییرات (%)

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد



شکل ۱. عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها و ارقام جو تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی
ستون‌های با هم پوشانی یکسان براساس خطای استاندارد تفاوت معنی دار ندارند.

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ارقام جو در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

ارقام	آبیاری مطلوب	تنش خشکی
۲۱	۳۶۸۵/۰ ^e	۲۲۷۰/۰ ^f
۲۸	۷۱۸۰/۰ ^{bc}	۶۵۰۱/۳ ^{bc}
۷۹	۹۲۷۴/۷ ^a	۶۴۶۰/۷ ^{bc}
۸۷	۷۵۷۳/۳ ^b	۵۵۷۹/۳ ^{cd}
۹۵	۹۴۴۲/۰ ^a	۸۱۹۷/۷ ^a
۹۷	۶۰۱۱/۳ ^{cd}	۴۴۰۹/۰ ^{de}
۱۲۰	۹۳۶۲/۳ ^a	۸۴۸۸/۰ ^a
۱۲۵	۶۰۴۳/۰ ^{cd}	۴۵۲۹/۹ ^{de}
ریحان	۴۸۷۸/۳ ^{de}	۳۶۵۲/۷ ^e
یوسف	۹۳۵۳/۷ ^a	۷۴۵۱/۷ ^{ab}

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط آبیاری مطلوب

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز
کاتالاز			
بلوک	۲	۰/۴۰	۰/۲۰
ذنوتیپ	۹	۳/۰۵**	۱۵/۴۷**
خطا	۱۸	۰/۱۰	۰/۳۰
ضریب تغییرات (%)		۳/۴۷	۶/۰۶

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز
کاتالاز			
بلوک	۲	۷/۰۴	۶۲/۳
ذنوتیپ	۹	۷۷/۵۱**	۲۴۹/۲۶**
خطا	۱۸	۶/۲۳	۴۵/۶
ضریب تغییرات (%)		۸/۶۲	۷/۴۰

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

ذنوتیپ	آبیاری مطلوب			تنش خشکی		
	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز
	(U/g FW)			(U/g FW)		
۲۱	۷/۶۷ ^f	۴/۵۸ ^f	۰/۹۵ ^{de}	۲۲/۶۷ ^d	۵۱/۵۹ ^e	۱۴/۵۰ ^e
۲۸	۹/۶۷ ^{bc}	۹/۲۲ ^d	۲/۱۷ ^b	۲۸/۸۳ ^{bc}	۶۴/۰۷ ^c	۱۶/۸۰ ^{cd}
۷۹	۸/۱۷ ^{ef}	۹/۹۴ ^c	۱/۹۱ ^{bc}	۳۴/۴۵ ^a	۶۹/۱۵ ^b	۱۷/۶۴ ^{bc}
۸۷	۸/۶۷ ^{de}	۹/۶۳ ^d	۱/۲۲ ^d	۳۳/۸۰ ^a	۶۰/۳۶ ^{cd}	۱۶/۹۳ ^{cd}
۹۵	۱۰/۵۰ ^a	۱۱/۱۰ ^b	۳/۰۳ ^a	۳۲/۴۳ ^{ab}	۷۰/۰۷ ^{ab}	۱۹/۲۰ ^{ab}
۹۷	۹/۵۰ ^c	۷/۴۰ ^e	۱/۰۹ ^{de}	۲۴/۱۷ ^d	۵۱/۳۰ ^e	۱۶/۰۲ ^{cde}
۱۲۰	۱۰/۱۷ ^{ab}	۱۲/۴۱ ^a	۳/۴۷ ^a	۳۶/۱۸ ^a	۷۲/۶۱ ^{ab}	۲۰/۲۷ ^a
۱۲۵	۹/۱۷ ^{cd}	۹/۱۳ ^d	۱/۴۶ ^{cd}	۲۴/۶۷ ^{cd}	۵۹/۰۸ ^d	۱۵/۱۱ ^{de}
ریحان	۸/۰۰ ^f	۶/۹۶ ^e	۰/۶۴ ^e	۲۳/۱۷ ^d	۵۰/۷۸ ^e	۱۴/۷۲ ^e
یوسف	۱۰/۲۳ ^{ab}	۱۰/۶۹ ^{bc}	۱/۳۸ ^{cd}	۲۹/۳۰ ^b	۷۴/۴۸ ^a	۱۸/۹۹ ^{ab}
میانگین کل	۹/۱۷	۹/۱۱	۱/۷۳	۲۸/۹۷	۶۲/۳۵	۱۷/۰۲

برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.
 (Ug⁻¹ FW): واحد فعالیت آنزیمی میلی‌گرم بر گرم وزن تر

تنش خشکی (جدول ۵) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. آنزیم پراکسیداز از دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مهم دخیل در تنش خشکی است. آنزیم پراکسیداز گیاهی به‌علت نقشی که در فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی مانند کنترل رشد توسط چوبی شدن، پیوستن پکتین‌ها و پروتئین‌های ساختاری در دیواره سلولی و کاتابولیسم اکسین دارد، به‌عنوان نشانگری بیوشیمیایی برای انواع مختلف تنش‌های زنده و غیرزنده استفاده می‌شود (۲۵). در مطالعه چانس و ماهلی (۴) مشخص شد که آنزیم آنتی‌اکسیدانی پراکسیداز از آنزیم‌هایی است که بیشترین سهم برای تحمل به تنش خشکی در اثر حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان را بر عهده دارد. در این پژوهش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی به‌طور میانگین مقدار ۵۸ درصد نسبت به آبیاری مطلوب افزایش یافت. نتایج به‌دست آمده با بررسی عابدی و پاک‌نیت (۱) روی کلزا و امینی و همکاران (۲) روی جو مطابقت داشت. آنها گزارش کردند که اعمال تیمار خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌ترتیب در ژنوتیپ‌های ۱۲۰ (۱۲/۴۱ درصد) و ۲۱ (۴/۵۸ درصد) مشاهده شد. همچنین در شرایط خشکی بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در رقم یوسف (۷۴/۴۸ درصد) و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز در رقم ریحان (۵۰/۷۸ درصد) مشاهده شد (جدول ۶).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های جو از نظر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در هر دو شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۴) و تنش خشکی (جدول ۵) در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری دارند. بسیاری از پژوهشگران سوپراکسید دیسموتاز را قوی‌ترین آنتی‌اکسیدانت شناخته شده می‌دانند که می‌تواند بسیاری از گیاهان را در مقابل حمله رادیکال‌های آزاد اکسیژن ایمن نگه دارد و سبب پایداری گیاه در برابر بسیاری از تنش‌های محیطی شود (۳، ۲۰ و ۲۶).

کاتالاز از مهم‌ترین مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی برای تحمل به تنش خشکی است که در اثر تنش خشکی، میزان تولید آن افزایش می‌یابد (۲۳). کاتالاز از گروه آنزیم‌های اکسیدو ردوکتاز و از دسته پروتئین‌های آهن‌دار محسوب می‌شود که می‌تواند به‌طور مستقیم پراکسید هیدروژن را به آب و اکسیژن تبدیل کند و سمیت این رادیکال آزاد اکسیژن را به‌طور کامل حذف کند (۲۲). در این پژوهش تنش خشکی موجب افزایش مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در همه ژنوتیپ‌ها و ارقام مورد مطالعه شد (جدول ۶). بیشترین مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط آبیاری مطلوب در ژنوتیپ‌های ۹۵ و ۱۲۰ و در تنش خشکی در ژنوتیپ‌های ۹۵، ۱۲۰ و رقم یوسف مشاهده شد. کمترین این مقدار نیز در هر دو شرایط در رقم ریحان به‌دست آمد (جدول ۶). در پژوهش دیگری اثر خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر چند ژنوتیپ جو در شرایط مزرعه بررسی شد، نتایج این پژوهش نشان داد که آنزیم کاتالاز بیشترین افزایش را در اثر خشکی در بین ژنوتیپ‌ها و ارقام از خود نشان داد (۹). آنها چنین نتیجه‌گیری کردند که آنزیم‌های مورد بررسی در حفاظت سلول در مقابل عوامل رادیکال‌های آزاد تولید شده بر اثر خشکی در دیم‌زارها نقش اساسی دارند.

در این پژوهش، بیشترین و کمترین درصد افزایش در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌ترتیب در ژنوتیپ ۱۲۰ و رقم ریحان مشاهده شد (جدول ۶). افزایش تولید کاتالاز در اثر اعمال خشکی به‌صورت معنی‌داری در ارقام متحمل به خشکی بیشتر از ارقام حساس به خشکی است (۲۲). نتایج به‌دست آمده با بررسی سالک جلالی و همکاران (۲۱) و رادی و همکاران (۱۸) در افزایش معنی‌دار فعالیت کاتالاز در اثر تنش کم‌آبی در جو مطابقت داشت. امینی و همکاران (۲) در بررسی اثر تنش کم‌آبی بر نحوه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در جو گزارش کردند که اعمال تیمارهای دیم و خشکی باعث افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم کاتالاز شد.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر ژنوتیپ بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در هر دو شرایط آبیاری مطلوب (جدول ۴) و

بیشترین کلروفیل a (۱۸/۲ میلی گرم در گرم) و کلروفیل b (۱۳ میلی گرم در گرم) مربوط به رقم ریحان بود، در حالی که ژنوتیپ‌های ۸۷ (۱۳/۹ میلی گرم در گرم) و ۲۱ (۹/۵ میلی گرم در گرم) دارای کمترین کلروفیل a و b در این شرایط بودند (جدول ۷). در شرایط تنش خشکی بیشترین کلروفیل a و b مربوط به رقم یوسف و ژنوتیپ ۷۹ با عددی برابر با ۱۶/۲۳ و ۹/۹۵ میلی گرم در گرم بودند (جدول ۷). در این شرایط کمترین کلروفیل a و b در ژنوتیپ ۲۱ به دست آمد. نیکولایاوا و همکاران (۱۵) گزارش کردند که ارقام گندم متحمل با لوله کردن برگ‌ها و کاهش کمتر کلروفیل در شرایط تنش خشکی، تلفات آب را کاهش دادند. واکنش‌های متفاوت کلروفیل به تنش خشکی در بین ارقام متحمل و حساس در سایر گیاهان زراعی نیز گزارش شده است (۱۱ و ۱۰). کمترین درصد کاهش کلروفیل a در اثر تنش خشکی در رقم یوسف ژنوتیپ ۱۲۰ به ترتیب با ۴/۲ و ۷/۹ درصد کاهش و کمترین درصد کاهش کلروفیل b در اثر تنش در رقم یوسف و ژنوتیپ ۸۷ با کاهشی معادل ۱۵/۱ و ۱۶/۸ درصد مشاهده شد (جدول ۷). علی‌رغم اینکه کلروفیل a و b تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافتند، ولی تنش خشکی موجب افزایش نسبت کلروفیل a/b شد (جدول ۸). به‌طور میانگین تنش خشکی با افزایش ۱۰/۶ درصدی در نسبت کلروفیل a/b همراه بود. سالک جلالی و همکاران (۲۱) گزارش کردند که تنش خشکی باعث پژمردگی معمولی و کاهش فتوسنتز خالص در جو می‌شود و نسبت کلروفیل a/b را افزایش می‌دهد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین نسبت کلروفیل a/b در رقم یوسف (۱/۷۰) و کمترین آن در ژنوتیپ ۷۹ (۱/۲۸) به دست آمد (جدول ۸). ژنوتیپ ۷۹ در شرایط تنش خشکی نیز کمترین نسبت کلروفیل a/b را داشت (۱/۴۱)، ولی در این شرایط بیشترین نسبت در ژنوتیپ ۱۲۰ (۲/۰۰) به دست آمد (جدول ۸).

لی و همکاران (۱۲) دریافته‌اند، با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل a و b برگ کاهش می‌یابد، ولی نسبت کلروفیل a/b افزایش می‌یابد. قابل ذکر است که برخی محققان افزایش

در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ژنوتیپ ۹۵ (۱۰/۵ درصد) و رقم یوسف (۱۰/۲۳ درصد) و کمترین آن در ژنوتیپ ۲۱ (۷/۶۷ درصد) و رقم ریحان (۸/۰۰ درصد) مشاهده شد. همچنین در شرایط اعمال تنش خشکی، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در ژنوتیپ‌های ۱۲۰ (۳۶/۱۸ درصد) و ۷۹ (۳۴/۴۵ درصد) و ۸۷ (۳۳/۸۰ درصد) و کمترین آن در رقم ریحان (۲۳/۱۷ درصد) و ژنوتیپ ۹۷ (۲۴/۱۷ درصد) به دست آمد (جدول ۶). شائو و همکاران (۲۳) گزارش کردند که تنش خشکی در ارقام مختلف گندم سبب افزایش بیشتر سوپر اکسید دیسموتاز نسبت به سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود که نقش این آنزیم در حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، نسبت به دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز را دلیل این افزایش بیشتر دانستند. رادی و همکاران (۱۸) نیز در پژوهشی که بر روی بهبود افزایش عملکرد جو تحت شرایط تنش کمبود آب انجام دادند، گزارش کردند که با اعمال خشکی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش معنی‌داری از خود نشان می‌دهند که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر، مطابقت دارد.

محتوای رنگدانه‌ها

تنش خشکی تأثیری منفی بر محتوای کلروفیل a و b داشت، به طوری که بوته‌های جو تحت شرایط تنش خشکی دارای محتوای کلروفیل کمتری بودند. به‌طور میانگین برای همه ژنوتیپ‌ها و ارقام، تنش خشکی به ترتیب موجب کاهش ۱۸/۹ و ۲۶/۲ درصد در محتوای کلروفیل a و b شد (جدول ۷). تنش خشکی با کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان همراه است که منجر به کاهش قابل توجه فتوسنتز و در نتیجه تولید مواد پرورده می‌شود (۲۵). گزارش شده است که کاهش غلظت کلروفیل در گیاهان به دلیل القای تنش اکسیداتیو در نتیجه تنش خشکی و در نتیجه تأثیر گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) بر ساختمان کلروفیل است (۱۰ و ۱۲). در شرایط آبیاری مطلوب

جدول ۷. تغییرات در محتوای کلروفیل‌های a و b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

کلروفیل b		کلروفیل a		ژنوتیپ
تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	
۵/۷۷ ^f	۹/۵۵ ^d	۱۰/۳۲ ^f	۱۵/۲۱ ^d	۲۱
۷/۰۷ ^e	۱۰/۵۱ ^b	۱۲/۰۴ ^e	۱۵/۵۹ ^{cd}	۲۸
۹/۵۸ ^a	۱۲/۹۶ ^a	۱۳/۵۳ ^c	۱۶/۶۹ ^b	۷۹
۸/۰۲ ^{cd}	۹/۶۴ ^{cd}	۱۲/۴۳ ^{de}	۱۳/۹۳ ^e	۸۷
۷/۶۵ ^{de}	۱۰/۳۵ ^{bc}	۱۲/۲۵ ^{de}	۱۵/۴۴ ^{cd}	۹۵
۷/۷۶ ^{de}	۱۰/۰۳ ^{b-d}	۱۲/۵۲ ^d	۱۵/۶۶ ^{cd}	۹۷
۷/۹۲ ^{cd}	۱۰/۴۸ ^b	۱۵/۹۰ ^b	۱۷/۲۷ ^a	۱۲۰
۸/۰۳ ^{cd}	۱۰/۶۸ ^b	۱۲/۹۴ ^{cd}	۱۶/۲۶ ^{bc}	۱۲۵
۸/۹۸ ^{ab}	۱۲/۹۸ ^a	۱۲/۸۱ ^{cd}	۱۸/۲۵ ^a	ریحان
۸/۴۵ ^{bc}	۹/۹۵ ^{b-d}	۱۶/۲۳ ^a	۱۶/۹۴ ^b	یوسف
۷/۹۲	۱۰/۷۱	۱۳/۰۹	۱۶/۱۲	میانگین کل

برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

شرایط کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به‌حساب آید. طبق نظر بعضی از محققین یکی از دلایل این کاهش، افزایش میزان فعالیت آنزیم تخریب‌کننده کلروفیل (کلروفیلاز) است که البته تحت شرایط تنش، بیان این آنزیم القا می‌شود (۱۵).

کم‌آبی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به‌حساب آید. طبق نظر بعضی از محققین یکی از دلایل این کاهش، افزایش میزان فعالیت آنزیم تخریب‌کننده کلروفیل (کلروفیلاز) است که البته تحت شرایط تنش بیان این آنزیم القا می‌شود (۱۵).

کاروتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۸). این کاهش برای میانگین ژنوتیپ‌های جو برابر با ۱۴/۴ درصد بود. در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی، بیشترین محتوای کاروتنوئید در رقم یوسف (به‌ترتیب ۵/۴۸ و ۴/۸۱ میلی‌گرم در گرم) و کمترین آن در رقم ریحان (به‌ترتیب ۳/۱۵، ۲/۴۹ میلی‌گرم در گرم) بود (جدول ۸).

نسبت کلروفیل a/b را موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر می‌دانند (۶ و ۷). ژنوتیپ ۱۲۰ و رقم یوسف به‌عنوان ژنوتیپ و رقم متحمل دارای میزان بالاتری از نسبت کلروفیل a/b بودند (جدول ۸) که نشان‌دهنده رابطه بین این نسبت با تحمل به خشکی است. کمترین درصد افزایش (۱/۴ درصد) این نسبت در اثر تنش خشکی در رقم ریحان مشاهده شد که رقمی حساس است. به‌طورکلی میزان کلروفیل به‌عنوان یک معیار بسیار مفید همواره برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژیک گیاه، مورد توجه قرار می‌گیرد (۶). سالک جلالی و همکاران (۲۱) محتوای کلروفیل در گیاهان زنده را یک عامل مهم جهت تعیین ظرفیت فتوسنتزی دانسته‌اند. آنها بیان داشتند که در گیاهان، علائم بروز تنش‌های اکسیداتیو شامل کاهش محتوای کلروفیل و نفوذپذیری غشا است که منجر به کاهش فتوسنتز و در نتیجه رشد گیاه می‌شود. تنش خشکی باعث کاهش کلروفیل a و b شد و کاهش کلروفیل منجر به کاهش فتوسنتز شد و در نتیجه رشد گیاه جو و متعاقب آن عملکرد محصول کاهش می‌یابد. کاهش غلظت کلروفیل در

جدول ۸. تغییرات نسبت کلروفیل a/b و محتوای کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی

کاروتنوئید		نسبت کلروفیل a/b		ژنوتیپ
تنش خشکی	آبیاری مطلوب	تنش خشکی	آبیاری مطلوب	
۳/۵۳ ^e	۳/۸۵ ^d	۱/۷۸۸ ^{bc}	۱/۵۹۳ ^{a-c}	۲۱
۴/۲۲ ^{b-d}	۴/۷۹ ^{bc}	۱/۷۰۲ ^{cd}	۱/۴۸۳ ^{bc}	۲۸
۳/۷۴ ^{de}	۳/۹۸ ^d	۱/۴۱۲ ^f	۱/۲۸۸ ^d	۷۹
۲/۷۵ ^f	۳/۷۲ ^{de}	۱/۵۴۹ ^{d-f}	۱/۴۴۵ ^{cd}	۸۷
۴/۱۷ ^{cd}	۴/۷۱ ^c	۱/۶۰۱ ^{c-f}	۱/۴۹۲ ^{bc}	۹۵
۴/۲۲ ^{bc}	۴/۸۰ ^{bc}	۱/۶۱۳ ^{c-e}	۱/۵۶۱ ^{a-c}	۹۷
۴/۶۸ ^{ab}	۵/۲۵ ^{ab}	۲/۰۰۷ ^a	۱/۶۴۸ ^{ab}	۱۲۰
۴/۳۱ ^{bc}	۴/۶۷ ^c	۱/۶۱۱ ^{c-f}	۱/۵۲۳ ^{a-c}	۱۲۵
۲/۴۹ ^f	۳/۱۵ ^e	۱/۴۲۶ ^{ef}	۱/۴۰۶ ^{cd}	ریحان
۴/۸۱ ^a	۵/۴۸ ^a	۱/۹۲۰ ^{ab}	۱/۷۰۳ ^a	یوسف
۳/۸۹	۴/۴۴	۱/۶۶۳	۱/۵۱۴	میانگین کل

برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

دو شرایط مطلوب و تنش خشکی شناخته شدند. به نظر می‌رسد توانایی بیشتر این ژنوتیپ‌ها در حفظ فعالیت آنزیم پراکسیداز در زمان تنش خشکی و افزایش سن گیاه در بیشتر بودن عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها تأثیر دارد. به هر حال با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت که نسبت کلروفیل a به b بالاتر تحت شرایط تنش خشکی و میزان بالاتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ممکن است شاخص‌های مناسبی جهت سلکسیون ارقام و ژنوتیپ‌های جو در جهت تحمل به خشکی باشند. استفاده از ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش در آزمایش‌های تکمیلی برای کشت در مناطق دارای خشکی آخر فصل و یا در برنامه‌های اصلاحی در جهت بهبود تحمل به خشکی ارقام جو پاییزه ایرانی نویدبخش است.

با توجه به صفات بررسی شده، در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی، ژنوتیپ ۱۲۰ در کنار رقم زراعی یوسف دارای محتوای بالاتری از رنگدانه‌ها بودند و نسبت به تنش خشکی تحمل بیشتری نشان دادند که این موضوع بیانگر ارتباط بین تحمل ژنوتیپ‌ها با محتوای رنگدانه‌ها و درصد کاهش آنها در شرایط تنش خشکی است. در بین آنزیم‌های مورد مطالعه، آنزیم پراکسیداز درصد افزایش فعالیت بیشتری در شرایط تنش خشکی از خود نشان داد، لذا این آنزیم، ممکن است نقش ویژه‌ای در القا تحمل گیاه جو در شرایط تنش یاد شده بر عهده داشته است. انجام مطالعات بیشتر، ضمن بررسی جنبه‌های فیزیولوژیکی و کمی، این نظریه را صریح‌تر می‌کند. ژنوتیپ‌های ۹۵ و ۱۲۰ به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در هر

منابع مورد استفاده

1. Abedi, T. and H. Pakniyat. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 46: 27-34
2. Amini, Z., R. Hadad and F. Moradi. 2009. The effect of water deficit stress on antioxidant enzymes during

- generative growth stages in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Water and Soil Science* 46: 65-74. (In Farsi).
3. Beauchamp, C. and I. Fridovich. 1971. Superoxide dismutase: improved assays and an assay predictable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44: 276-287.
 4. Chance, B. and A. C. Maehly. 1955. Assay of catalase and peroxidases. *Methods in Enzymology* 2: 764-765.
 5. Clavel, D., O. Diouf, J. L. Khalfauoui and S. Braconier. 2006. Genotypes variations parameters among closely related groundnut (*Arachis hypogea* L.) lines and their potential for drought screening programs. *Field Crop Research* 96: 296-306
 6. Dehshiri, O. and H. Paknyat. 2014. Evaluation of oilseed rape genotypes (*Brassica napus* L.) based on chlorophyll and carotenoids contents and antioxidant enzymes under drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing* 10: 69-77. (In Farsi).
 7. Estill, K., R. H. Delany, W. K. Smith and R. L. Ditterline. 1991. Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. *Crop Science* 31: 1229-1233.
 8. Gill, S. S. and N. Tuteja. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 909-930.
 9. Hadad, R. and M. Salek-jalali. 2009. Effects of water deficit stress on the activity of antioxidant enzymes in the generation stages of barley (*Hordeum vulgare* L.) in field condition. *Journal of Modern Genetics* 4: 71-81. (In Farsi).
 10. Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. *Journal of Animal and Plant Sciences* 8: 1051-1060.
 11. Kulshreshtha, S., D. Mishra and R. Gupta. 1987. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplasts and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotypes of wheat. *Photosynthetica* 21: 65-70.
 12. Li, R. H., P. G. Guo, B. Michael, G. Stefania and C. Salvatore. 2006. Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Sciences in China* 10: 751-757.
 13. Lichtenthaler, H. and A. R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and chlorophyll b leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions* 603: 591-592.
 14. Mozaffari, V., H. Pakniyat, H. Hasheminasab and H. Pirasteh-Anosheh. 2013. Differential antioxidative response to drought stress and relationship with water use efficiency in maize hybrids, International. *Journal of Farming and Allied Sciences* 11: 277-281
 15. Nikolaeva, M. K., S. N. Maevskaya, A. G. Shugaev and N. G. Bukhov. 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology* 57: 87-95.
 16. Noctor, G. and CH. Foyer. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 249-279.
 17. Nowruzzi, O., E. Tavakol and S. A. R. Kazemeini. 2017. Identification of drought tolerant barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using drought tolerance indices. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 10: 55-66
 18. Rady, M. M. and M. S. Gaballah. 2012. Improving barley yield grown under water stress conditions. *Research Journal of Recent Sciences* 1: 1-6.
 19. Renu, K. C. and S. Devarshi. 2007. Acclimation to drought stress generates oxidative stress tolerance in drought-resistant than susceptible wheat cultivar under field conditions. *Environmental and Experimental Botany* 60: 276-283
 20. Sairam, R. and G. Srivastava. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science* 162: 897-904.
 21. Salekjalali, M., R. Haddad and B. Jafari. 2012. Effects of soil water shortages on the activity of antioxidant enzymes and the contents of chlorophylls and proteins in barley. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 12: 57-63.
 22. Sarvajeet, S. G. and T. Narendra. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in a biotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 3: 1-22.
 23. Shao, H. B., L. Y. Chu, G. Wu, J. H. Zhang, Z. H. Lu and Y. CH. Hu. 2007. Changes of some physiological and biochemical indices for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 54: 143-149.
 24. Sharma, P. and R. S. Dubey. 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. *Plant Growth Regulation* 46: 209-221.
 25. Tambussi, E., C. Bartoli, J. Beltrano, J. Guiamet and J. Araus. 2000. Oxidative damage to thylakoid protein in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biology* 108: 398-404.
 26. Yong, T., L. Zongsuo, S. Hongbo and D. Feng. 2006. Effect of water deficits on the activity of anti-oxidative enzymes and osmoregulation among three different genotypes of *Radix astragali* at seedling stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 49: 60-65.

Changes in the Biochemical Traits and the Grain Yield of Barley Genotypes and their Relation with Drought Tolerance

S. Shahrasbi¹, R. Ahmadzadeh¹ and H. Pakniyat^{2*}

(Received: December 22-2016; Accepted: January 24-2018)

Abstract

In order to evaluate the reaction of foreign genotypes and the indigenous cultivars of barley against drought and study their biochemical traits, eight genotypes with two barley cultivars were surveyed in a randomized complete block design with three replications in two states of sufficient irrigation and non-sufficient irrigation regimes (drought) at the Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran in the cropping year 2013-2014. The main factor included drought stress and complete irrigation treatments; the sub-factors included genotypes and barley cultivars. The results showed that drought reduced the content of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids in all genotypes, causing 18.9, 26.2 and 12.6% reduction in these traits, respectively. The chlorophyll a/b ratio in this study was increased under drought stress conditions. The least reduction in the concentration of pigments was related to Youssef genotype and genotypes 79 and 120, which were considered tolerant. The activity of superoxide dismutase, catalase and peroxidase enzymes was also increased significantly under drought stress. The results also showed that the catalase enzyme had a low activity among the enzymes examined in the study; therefore, it played a role in the plant protection against drought stress, while the peroxidase enzyme was recognized as the best biochemical criterion for drought tolerance. The highest activity of this enzyme in the drought stress conditions was obtained in Yousef (74.44%) and the genotype 120 (72.61%); on the other hand, the lowest activity in the stressed plants was found to be in Basil (50.78%). In general, the genotypes 95 and 120, with the mean grain yield of 8809.7 and 8925 kg ha⁻¹, were recognized as the best genotypes in both non-stress and drought stress conditions. Therefore, drought could have a different effect on the biochemical traits of barley genotypes, and this difference was probably related to their stress tolerance.

Keywords: Drought, Antioxidant activity, Pigment content

1. MSc. Graduate and Associate Professor, Respectively, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

*: Corresponding Author, Email: pakniyat@shirazu.ac.ir