نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۷، مرداد – شهریور ۱۴۰۲، ص. ۴۶۳-۴۵۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 17, Aug.-sEP. 2023, p. 453-463

مقاله علمی-پژوهشی

اثر کم‌آبیاری بر محتوای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کربوهیدرات‌های محلول، غلظت کلروفیل و عملکرد دو رقم ذرت شیرین

امیر خشایار موسوی[۱]، محمدرضا داداشی[۲]، سید محسن نبوی کلات[۳]*، سعید خاوری خراسانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰

چکیده

به منظور مطالعه اثر کم آبیاری بر محتوی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کربوهیدرات‌های محلول، غلظت کلروفیل و عملکرد دو رقم ذرت شیرین آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد با مختصات جغرافیایی (طول جغرافیایی "۵، '۸، °۵۹ و عرض جغرافیایی "۱۶، '۳۴، °۳۶) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. عوامل آزمایش شامل کم آبیاری در سه سطح (۰ (عدم کم آبیاری) و کم آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد کمتر از نیاز آبیاری گیاه) و دو رقم ذرت شیرین (آمیلاپوپ و مریت) بود. نتایج نشان داد با افزایش کم آبیاری (افزایش تنش) محتوی آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافت. اما غلظت کلروفیل a، b و کل، عملکرد بلال با پوشش، عملکرد بلال بدون پوشش و عملکرد دانه قابل کنسرو کاهش پیدا کرد. محتوی آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز، عملکرد بلال با پوشش، عملکرد بلال بدون پوشش و عملکرد دانه قابل کنسرو در رقم آمیلاپوپ بیشتر از رقم مریت بود. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که رقم‌های مورد آزمایش دارای پایداری لازم در شرایط تنش نیستند. بنابراین به کارگیری روش کم آبیاری در مورد رقم‌های مورد مطالعه تنها در صورتی قابل توجیه خواهد بود که کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی در میزان آب مصرفی جهت این محصول دارای مزیت بیشتری نسبت به کاهش در میزان عملکرد باشد.

واژه‌های کلیدی: سوپراکسید دیسموتاز، عملکرد بلال، عملکرد دانه قابل کنسرو

مقدمه

در بین عوامل اکولوژیک مورد نیاز گیاه، آب یکی از حیاتی‌ترین عوامل محسوب می‌شود. این در حالی است که در سال‌های اخیر کمبود آب در بسیاری از کشورهای خاورمیانه به یک معضل بسیار مهم تبدیل شده است. ایران نیز به عنوان یکی از کشورهای این منطقه با متوسط بارندگی سالیانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر از معادل یک سوم میانگین نزولات سالیانه جهانی برخوردار می‌باشد و جزو مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌رود و با محدودیت منابع آبی روبرو است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

از جمله روش‌های مناسب در شرایط محدودیت منابع آبی، استفاده از شیوه کم‌آبیاری است که با هدف افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از منابع آب صورت می‌گیرد (صمصامی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). اما کم‌آبیاری ممکن است از طریق ایجاد تنش خشکی رشد و نمو گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که آثار مخرب و زیان-آوری بر مراحل مختلف رشد، ساختار و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه دارد و در نتیجه عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (پیرنجم‌الدین و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج مطالعات نشان می‌دهد که در شرایط تنش خشکی و حتی در غلظت-های بالای CO_2 محیط، فتوسنتز کاهش می‌یابد. زیرا در شرایط تنش خشکی روزنه‌های گیاه بسته شده و متعاقب آن غلظت CO_2 در بافت مزوفیل کاهش می‌یابد. با ادامه این وضعیت، واکنش‌های تثبیت کربن (واکنش‌های بی نیاز از نور فتوسنتز) مختل شده و محصولات

۱- دانشجوی دکتری گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
۲- دانشیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
۳- دانشیار گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
۴- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول (Email: sm_nabavikalat@yahoo.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1402.17.3.4.2

واکنش‌های نوری یعنی ATP و NADPH مصرف نمی‌شود (سید ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴). در این شرایط به دلیل عدم اکسید شدن مولکول NADPH مصرف $NADP^+$ جهت دریافت الکترون کاهش می‌یابد. بنابراین مولکول اکسیژن در مسیر زنجیره انتقال الکترون به عنوان پذیرنده جانشین الکترون عمل می‌کند و منجر به تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال سوپراکسید (O_2^-)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و رادیکال هیدرواکسیل (OH^-) می‌شود (پیرنجم-الدین و همکاران، ۱۳۹۴).

تجمع گونه‌های فعال اکسیژن در سلول موجب تنش اکسیداتیو و آسیب رساندن به چربی‌های غشای سلولی، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک می‌شود (Miller et al., 2010). گیاهان برای مقابله با تنش‌های اکسیداتیو ایجاد شده دارای سیستم‌های دفاعی کارآمدی هستند که می‌توانند رادیکال‌های آزاد را از بین ببرند و یا خنثی کنند و به این روش به توقف فرآیند اکسایش منجر می‌شوند. (Srivalli et al., 2003). آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شامل کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و گلوتاتیون ردوکتاز (GA) نقش مهمی در خنثی کردن فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن دارند (Alscher et al., 2002). در مطالعات متعددی اثرات مهارکنندگی آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مثل CAT، APX و POD بر فعالیت H2O2 گزارش شده اس (Anjum et al., 2015 ; Khalig et al. 2015). تنظیم اسمزی، مکانیسم مهم دیگری است که گیاهان جهت تعدیل اثرات مضر تنش‌های محیطی، مانند خشکی و شوری و خنثی کردن گونه‌های اکسیژن فعال به کار می‌گیرند. تنظیم اسمزی به کمک اسمولیت‌های سازگار و یا مواد تنظیم کننده اسمزی مثل پرولین، بتائین و قندهای محلول انجام می‌شود. این مواد علاوه بر محافظت غشاها در برابر تنش خشکی با کمک به جذب آب توسط گیاه موجب نگهداری اعمال فیزیولوژیک در حالت طبیعی می‌شوند (Ashraf and Foolad, 2007; Reddy et al., 2004). افزایش محتوی کربوهیدرات‌های محلول در اثر تنش خشکی در سورگوم دانه‌ای (آذری نصرآبادی و همکاران، ۱۳۹۶) و لوبیا (بروجردنیا و همکاران، ۱۳۹۵) گزارش شده است.

از دیگر اثرات تنش اکسیداسیونی که در شرایط تنش خشکی رخ می‌دهد کاهش غلظت کلروفیل کل است. زیرا در این شرایط سنتز کلروفیل‌ها کاهش و تجزیه آنها افزایش می‌یابد (Bacelar et al., 2006). از آنجایی که کلروفیل اساس انجام فتوسنتز می‌باشد تنش خشکی با کاهش محتوی کلروفیل در گیاهان می‌تواند منجر به کاهش کارایی فتوسنتز شود. بنابراین بررسی تغییرات محتوی کلروفیل در گیاهان به عنوان یکی از شاخص‌های بررسی فتوسنتز و مقاومت به خشکی در گیاهان در نظر گرفته می‌شود. کاهش و یا عدم تغییر در سطح کلروفیل در طی تنش خشکی در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Giancarla et al., 2013).

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه اثر تنش ناشی از کم‌آبیاری بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، غلظت کلروفیل و عملکرد دو رقم ذرت شیرین در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد (طول جغرافیایی "۵، '۸، °۵۹ و عرض جغرافیایی "۱۶، '۳۴، °۳۶) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل کم آبیاری در سه سطح (۰ (عدم کم آبیاری)، کم آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد کمتر از نیاز آبیاری گیاه) و دو رقم (آمیلاپوپ و مریت)بود. هر کرت شامل ۴ ردیف کاشت با طول ۵ متر و فاصله بین ردیف ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. به این ترتیب ابعاد هر کرت ۱۲=۲/۴×۵ متر مربع بود. بین هر دو کرت یک ردیف کاشت نشده در نظر گرفته شد. فاصله بلوک ها (تکرارها) از یکدیگر نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. کاشت در اواسط اردیبهشت ماه با دست و به صورت کپه‌ای انجام شد. در هر کپه سه بذر کشت و در مرحله ۶-۴ برگی به یک بوته تنک گردید پس از کشت بلافاصله آبیاری صورت گرفت و جهت اطمینان از سبز شدن بذور، آبیاری سه روز بعد تکرار شد. اعمال تیمارهای کم آبیاری پس از سبز شدن و استقرار کامل گیاه و از مرحله ۴ برگی به بعد صورت گرفت.

در ابتدای آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت مقدار ۲۰۰ کیلوگرم فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم پتاس در هکتار به زمین اضافه شد. همچنین ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره استفاده شد که یک سوم آن در ابتدای کاشت و مابقی آن در دو مرحله در اواسط دوره رویشی استفاده شد. همچنین کنترل علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد و به دلیل نبود آفت و بیماری از سموم خاصی استفاده نشد.

تعیین نیاز آبیاری گیاه با استفاده از نرم‌افزار Netwat انجام شد. اساس روش محاسباتی این نرم‌افزار استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث و به کارگیری داده‌های ۳۰ ساله هواشناسی مانند میانگین دمای هوا، تابش خالص، سرعت باد و همچنین جنس خاک جهت تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع می‌باشد (شرقی و همکاران، ۱۳۸۹). بر این اساس نیاز خالص آبیاری ذرت در منطقه آزمایش به تفکیک هر ماه و در مجموع به میزان ۶۷۷۰ متر مکعب تعیین شد. جهت اعمال تیمارها، نیاز آبیاری در هر ماه به تعداد دورهای آبیاری تقسیم و میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری مشخص گردید. روش آبیاری در این آزمایش، آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ با فاصله قطره چکان‌های ۳۰ سانتی‌متری بود. میزان آبیاری در هر دور با استفاده از یک کنتور حجمی محاسبه شد.

جهت اندازه‌گیری غلظت کلروفیل و استخراج عصاره آنزیمی از برگ‌های جوان بالای بوته که از دو ردیف میانی هر کرت به طور

تصادفی انتخاب شده بودند نمونه‌بردای انجام شد. نمونه‌های انتخابی برای اندازه‌گیری متغیرها در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. و به تدریج در سنجش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

کربوهیدرات‌های محلول (قندهای محلول): برای اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول بر اساس روش کوچرت (Kochert, 1978) ۰/۱ گرم از ماده خشک گیاهی برداشته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به آن اضافه شد و به‌مدت یک هفته در یخچال نگهداری گردید تا قندهای محلول آن جدا شود. پس از یک هفته، از محلول رویی نمونه‌ها یک میلی‌لیتر برداشته شد و حجم آن با آب مقطر به دو میلی‌لیتر رسانده شد. پس از اضافه کردن یک میلی‌لیتر فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر Biochrom libera-S22 در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شد. میزان قند هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گلوکز محاسبه شد.

جهت استخراج عصاره آنزیمی ۱ گرم بافت برگ با ۴ میلی‌گرم بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار با PH=7 در هاون چینی کاملاً سائیده شد و پس از عبور دادن از کاغذ صافی به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ یخچال‌دار در دمای ۴ درجه سانتیگراد با سرعت ۱۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. از فاز رویی جهت سنجش فعالیت آنزیمی استفاده شد.

آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز با استفاده از روش ابی (Aebi, 1984) انجام شد. مخلوط واکنش کاتالاز شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=7)، ۱۰۰ ماکرولیتر پراکسید هیدروژن، ۱۰ میلی‌مولار و ۵۰ ماکرولیتر عصاره آنزیمی بود. واکنش با افزودن H_2O_2 آغاز و فعالیت آنزیم از طریق تخریب H_2O_2 به‌کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر به‌مدت ۲ دقیقه تعیین شد. فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی (39.4 Mm-1cm-1) برای H_2O_2 محاسبه گردید. از بافر فسفات به‌همراه پراکسیدهیدروژن به‌عنوان بلانک (شاهد) استفاده شد.

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به روش جیانوپولوتیس و رایز (Giannopolities and Ries, 1977) اندازه‌گیری شد.۳ میلی لیتر محلول واکنش شامل ۱۳ میلی مول متیونین، ۷۵ میکرو مول نیتروبلو تترازولیوم کلراید، ۲ میکرو مول ریبوفلاوین، ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات (PH=7/8) و صفر تا ۵۰ میکرو لیتر آنزیم استخراجی بود. واکنش با روشن کردن لامپ فلورسنت شروع شد و محلول واکنش به مدت ۱۰ دقیقه زیر دو لامپ فلورسنت ۱۵ وات با ارتفاع ۲۰ سانتیمتر با شدت نور ۱۰۰۰ لوکس قرار داده شد و میزان جذب به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر Biochrom libera-S22 در طول موج ۵۶۰ نانومتر خوانده شد. یک واحد فعالیت SOD به عنوان مقدار آنزیم لازم برای ۵۰ درصد ممانعت از احیاء فتوشیمیایی نیترو بلو تترازولیوم کلراید در نظر گرفته شد و با روش آسادا و همکاران (Asada et al., 1974) محاسبه شد.

آنزیم پراکسیداز: به روش همدا و کلین (Hemeda and Kelin., 1990) انجام شد. ۳ میلی‌لیتر مخلوط واکنش شامل بافر سدیم-پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (PH=6.6)، گایاکول ۱٪، پراکسید هیدروژن ۳٪ و ۶۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت پراکسیداز بر اساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی ε= ۲۶/۶ $mM^{-1}Cm^{-1}$ تعیین شد.

کلروفیل a، b و کل: سنجش کلروفیل a، b و کل بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949) بدین ترتیب که مقدار ۰/۱ گرم از بافت برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون سرد ۸۰ درصد در داخل هاون چینی به طور کامل سائیده شد. محلول حاصل با دور پایین ۱۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس فاز محلول از فاز جامد جدا و با استون سرد ۸۰ درصد به حجم معین ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب نوری نمونه‌ها در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری با مدل Biochrom libera-S22 خوانده شد. سپس با استفاده از روابط زیر مقدار کلروفیل a، b و کل بر حسب میکروگرم در گرم محاسبه شد.

$$\text{Chl a} = [12.7(D663) - 2.69(D645)] \times V/(1000\times W)$$
$$\text{Chl b} = [22.9(D645) - 4.68(D663)] \times V/(1000\times W)$$
$$\text{ChlT}=[\ 20.2(D64) + 80.2(D663)] \times V\ /(1000\times W)$$

که در اینجا D، میزان جذب نوری خوانده شده در طول موج مربوطه، V، حجم عصاره، W، وزن نمونه تر و chl، غلظت کلروفیل می‌باشد.

برای اندازه‌گیری عملکرد بلال، در مرحله شیری شدن دانه‌ها، برداشت بلال از سه ردیف میانی هر کرت و پس از حذف نیم متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف، در سطحی معادل ۷/۲=۱/۸×۴ مترمربع انجام شد. زمان برداشت در ذرت شیرین، مرحله شیری یا ابتدای خمیری شدن دانه‌ها می باشد که بر مبنای بروز صفت در ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت تعیین و ثبت گردید.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری Mstat-c استفاده شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان

کاتالاز: اثر کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر رقم و اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و رقم در سطح احتمال ۵ درصد بر فعالیت

آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۱).

بررسی اثر متقابل کم آبیاری و رقم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد که با افزایش درصد کم آبیاری و افزایش تنش خشکی فعالیت این آنزیم در هر دو رقم مورد آزمایش به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین میزان در کم آبیاری ۴۰ درصد و رقم آمیلاپوپ مشاهده شد. افزایش آنزیم کاتالاز در این تیمار نسبت به عدم کم آبیاری و همین رقم در حدود ۵۷ درصد بود (جدول ۴).

مطالعات متعددی نشان داده است که تنش خشکی حاصل از کم آبیاری تولید گونه‌های فعال اکسیژن و در نتیجه تنش اکسیداتیو را افزایش می‌دهد. مشخص شده است که در بسیاری از گونه‌های گیاهی سلول‌ها قادرند از طریق القای سیستم دفاع آنتی اکسیدانی بر شرایط تنش اکسیداتیو ایجاد شده غلبه کنند (Tahi et al., 2008). به همین دلیل مشابه نتایج حاصل، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز به عنوان یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی اکسیدان در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Anjum et al., 2016 and Shehab et al., 2010). افزایش فعالیت کاتالاز در گیاهان تحت تنش خشکی یک ویژگی سازشی است که با کاهش میزان پراکسید هیدروژن حاصل از متابولیسم سلولی با تجزیه آن به آب و اکسیژن از آسیب رسیدن به سلولی و در نهایت بافت جلوگیری می‌کند (Gao et al., 2020 ; Gill and Tuteja., 2010).

پراکسیداز: اثر کم آبیاری و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دو عامل در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوی آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۱).

بررسی اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و رقم بر محتوی پراکسیداز نشان داد که بیشترین میزان پراکسیداز در کم آبیاری ۴۰ درصد و رقم آمیلاپوپ مشاهده شد که دارای تفاوت آماری معنی‌داری با سایر تیمارها بود. کم‌ترین محتوی این آنزیم نیز در عدم کم آبیاری و رقم مریت به دست آمد (جدول ۴). در این مطالعه افزایش در محتوی آنزیم پراکسیداز با افزایش میزان کم آبیاری و در نتیجه افزایش شدت تنش خشکی مشاهده گردید. پاسخ دو رقم مورد مطالعه نیز به افزایش تنش متفاوت بود و محتوی بالاتر آنزیم در رقم آمیلاپوپ حاصل شد. مشابه این نتایج، سید ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) مشاهده کردند که در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در کلزا افزایش یافت که میزان افزایش در رقم مقاوم بیشتر بود. همچنین افزایش محتوی آنزیم پراکسیداز در ذرت بچه (بذرگر و همکاران، ۱۴۰۰) و علف گندمی (Tatari et al., 2012) و گلرنگ (Hojati et al., 2011) نیز گزارش شده است. افزایش میزان آنزیم پراکسیداز می‌تواند در افزایش مقاومت به تنش خشکی موثر باشد زیرا، این آنزیم در سم-زدایی پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدئید که باعث پراکسیداسیون غشا و ناپایداری دیواره سلولی می‌شود نقش بسیار مهمی دارد (Hojati et al., 2011).

سوپراکسید دیسموتاز: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بود. اما رقم و اثر متقابل دو عامل بر این صفت فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین صفات تحت تاثیر کم آبیاری نشان داد با افزایش تنش خشکی اعمال شده محتوی آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین میزان این آنزیم در کم آبیاری ۴۰ درصد مشاهده شد که تفاوت میانگین آن فقط با میانگین محتوی این آنزیم در تیمار عدم کم آبیاری معنی‌دار بود (جدول ۲). سوپراکسید دیسموتاز نقش حفاظتی مهمی را در گیاهان تحت تنش بر عهده دارد. این آنزیم، یک آنتی اکسیدانت قوی است که اولین ماده تولید شده از احیای یک ظرفیتی اکسیژن یعنی سوپراکسید را از بین می‌برد و تبدیل به پراکسید هیدروزن و اکسیژن می‌کند. در نتیجه باعث پایداری غشای سلولی و غشای اندامک‌های سلولی در گیاهان تحت تنش خشکی می‌شود (Alscher et al., 2002). پراکسید هیدروژن حاصل در این مرحله، به وسیله سایر آنزیم‌های آنتی اکسیدانت مانند کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز خنثی می‌شود (Zeid and Shedeed, 2006). به دلیل نقش این آنزیم آنتی اکسیدانت در کاهش اثرات گونه‌های فعال اکسیژن، افزایش فعالیت آن در شرایط تنش در مطالعات متعددی از جمله سید ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۴) در کلزا، حسن‌پور و نیکنام (۱۳۹۳) در پونه و بیوک و همکاران (۱۳۹۲) در گشنیز گزارش شده است.

کربوهیدرات‌های محلول: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم آبیاری و رقم بر میزان کربوهیدرات‌های محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل دو عامل فاقد تفاوت معنی‌دار بر این صفت بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین میزان کربوهیدرات‌های محلول تحت تاثیر کم آبیاری نشان داد که بیشترین میزان در کم آبیاری ۴۰ درصد مشاهده شد. تفاوت میانگین کربوهیدارت‌های محلول در این سطح از کم آبیاری با دیگر سطوح از نظر آماری معنی‌دار بود. اما میانگین میزان کربوهیدارت‌های محلول در تیمار عدم کم آبیاری و کم آبیاری ۲۰ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۲).

بررسی اثر رقم بر میزان کربوهیدارت‌های محلول، تفاوت آماری این صفت در دو رقم تحت آزمایش را نشان داد. میزان کربوهیدارت-های محلول در رقم آمیلاپوپ به طور معنی‌داری از رقم مریت بیشتر بود (جدول ۳).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده (میانگین مربعات)

منابع تغییرات	درجه آزادی	کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	کربوهیدرات های محلول	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	عملکرد بلال با پوشش	عملکرد بلال بدون پوشش	عملکرد دانه قابل کنسرو
بلوک	۲	ns۰/۰۵۶	ns۳۱/۲۵	ns۳۱/۲۹	ns۰/۰۰۳	ns۱۱۷۷/۵	ns۳۹/۶۱	*۱۳۸۰/۴	ns۶۴۳۹۸۱/۳	ns۶۵۸۸۸۹/۹	ns۳۰۰۸۱۱/۷
کم آبیاری (A)	۲	**۴/۳۴۱	**۱۱۰۸۰/۲	**۲۲۵/۲۲	**۰/۴۸۳	**۲۳۵۱۰/۳	**۱۱۲۰۴/۴	**۶۳۵۸۶/۹	**۱۵۱۰۳۷۸/۳	**۹۵۴۳۳۹۴/۷	**۴۸۸۹۰۸۹/۸
رقم (B)	۱	*۰/۲۳۳	*۳۰۳/۸	nsA۹/۰۸۹	**۰/۲۰۴	ns۴۷/۲۸	ns۰/۱۲۸	ns۵۵۴۸/۱	**۲۴۵۹۱۸۶۵/۲	**۸۲۸۹۰۶۳/۶	**۳۷۰۹۰۴۷/۲
A× B	۲	*۰/۳۲۴	**۳۶۶/۸	ns۴۵/۸۴	ns۰/۰۰۵	ns۱۳۵/۲۶	ns۰/۶۶	ns۷۶۷۲۱۰/۴	**۲۵۹۶۱۰۷/۱	*۸۰۶۴۰۲/۲	ns۴۹۸۳۹۵/۱
خطا	۱۰	۰/۰۵۳	۴۰/۲۲	۴۲/۰۰۹	۰/۰۰۳	۹۵۱/۲۶	۰/۳۸۲	۱۰۷۵۳۴/۷	۳۹۹۷۷۴/۰۹	۲۱۲۴۰۴/۲	۱۱۵۷۶۳/۲۰۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۲	۵/۷	۹/۷	۹/۷	۳/۵	۴	۹/۱	۷/۸	۸/۱	۸/۷

ns غیر معنی‌دار، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲ – مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در سطوح مختلف کم‌آبیاری

کم آبیاری (درصد)	کاتالاز ($u.mg^{-1}fw$)	پراکسیداز ($u.mg^{-1}fw$)	سوپراکسید دیسموتاز ($u.mg^{-1}fw$)	کربوهیدرات‌های محلول ($mg.g^{-1}.fw$)	کلروفیل a ($\mu g.g^{-1}.fw$)	کلروفیل b ($\mu g.g^{-1}.fw$)	کلروفیل کل ($\mu g.g^{-1}.fw$)	عملکرد بلال با پوشش (Kg/ha)	عملکرد بلال بدون پوشش (Kg/ha)	عملکرد دانه قابل کنسرو (Kg/ha)
۰	۱/۰۱۵ c	۶۰/۰۹ b	۶۷/۶ b	۰/۵۴۷ b	۹۳۰/۱ a	۵۳۱/۳ a	۱۴۶۱ a	۹۸۷۸ a	۷۰۵۶ a	۴۸۹۱ a
۲۰	۲/۷۰۵ b	۱۳۵/۷ a	۷۳/۵۶ ab	۰/۵۱۲ b	۸۴۷/۶ b	۵۱۰/۴ a	۱۳۵۸ b	۷۵۴۴ b	۵۳۱۱ b	۳۶۷۶ b
۴۰	۳/۰۳ a	۱۳۳/۳ a	۷۹/۸۵ a	۱/۰۲ a	۸۰۷/۳ c	۴۴۸/۲ b	۱۲۵۶ c	۶۸۴۹ b	۴۶۰۶ c	۳۱۲۷ c

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۵ درصد هستند

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در رقم‌های آزمایش

رقم	کاتالاز ($u.mg^{-1}fw$)	پراکسیداز ($u.mg^{-1}fw$)	کربوهیدرات‌های محلول ($(mg.g^{-1}.fw)$)	عملکرد بلال با پوشش (Kg/ha)	عملکرد بلال بدون پوشش (Kg/ha)	عملکرد دانه قابل کنسرو (Kg/ha)
آمیلاپوپ	۲/۰۳ a	۶۰/۰۹ a	۰/۷۹۹ a	۹۲۵۹/۱۸ a	۶۳۴۰/۱۴ a	۴۳۵۲/۱۴ a
مریت	۱/۸۰۳ b	۱۳۵/۷ b	۰/۵۸۷ b	۶۹۲۱/۴۸ b	۴۹۷۴/۷۷ b	۳۴۴۴/۲۶ b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ درصد هستند.

جدول ٤ – مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (اثر متقابل کم‌آبیاری و رقم)

کم آبیاری (درصد)	رقم)	کاتالاز ($u.mg^{-1}fw$)	پراکسیداز ($u.mg^{-1}fw$)	عملکرد بلال با پوشش (Kg/ha)	عملکرد بلال بدون پوشش (Kg/ha)
۰	آمیلاپوپ	۱/۰۱۵ c	۷۱/۶۳ c	۱۱۷۳۰a	۸۱۴۲ a
	مریت	۱/۰۱۴ c	۴۸/۵۶ d	۸۰۲۲ b	۵۹۶۹ b
۲۰	آمیلاپوپ	۲/۱۳ b	۱۰۱/۵ b	۸۰۸۹ b	۵۶۸۲ bc
	مریت	۲/۰۳ b	۱۱۴/۴ b	۷۰۰۰ b	۴۹۴۰ c
۴۰	آمیلاپوپ	۳/۰۴۶ a	۱۴۰/۵ a	۷۹۵۶ b	۵۱۹۶ bc
	مریت	۲/۳۶۴ b	۱۱۵/۲ b	۵۷۴۲ c	۴۰۱۶ d

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ درصد هستند.

کربوهیدارت‌های محلول از تنظیم کننده‌های اسمزی مهم هستند که نقش کلیدی در افزایش میزان مقاومت در گیاهان تحت تنش‌های خشکی، شوری و سرما دارند. به همین دلیل گزارش‌های متعددی در خصوص افزایش میزان این ترکیبات در شرایط تنش خشکی به ویژه در گونه‌ها و ارقام مقاوم‌تر وجود دارد (Claudia Castaneda-Saucedo et al., 2012). به طور مثال، افزایش کربوهیدارت‌های محلول در نتیجه تنش خشکی توسط جوهری پیرواتلو (Johari-Pireivatlu., 2010) در گندم، مستاجریان و رحیمی ایچی (Mostajerian and Rahimi-Echi., 2009) در برنج و میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) در کلزا گزارش شده است. افزایش کربوهیدرات‌های محلول در سلول‌های گیاهان تحت تنش می‌تواند ناشی از کاهش تقاضای مقصدهای فیزیولوژیک و تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول مانند نشاسته باشد. کربوهیدرات‌های محلول به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی باعث جلوگیری از پسابیدگی سلول و در نتیجه حفظ تورم سلولی، حفاظت غشاهای سلولی و جلوگیری از تخریب پروتئین-ها در گیاهان تنش می‌شود (Xue et al., 2008 and Ehdaie et al., 2006).

کلروفیل: اثر کم آبیاری بر کلروفیل a، b و کل در سطح احتمال آماری ۱ درصد معنی‌دار بود. اما رقم و اثر متقابل دو عامل فاقد اثر معنی‌دار آماری بر این صفات بود (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که که با افزایش کم آبیاری و در نتیجه تنش خشکی، غلظت کلروفیل a، b و کل به طور معنی‌دار کاهش یافت. کم‌ترین میزان در کم آبیاری ۴۰ درصد حاصل شد که تفاوت آماری معنی‌داری با میزان کلروفیل در سایر سطوح کم آبیاری داشت. میزان کلروفیل کل در کم آبیاری ۴۰ درصد در حدود ۱۴ درصد و در کم آبیاری ۲۰ درصد حدود ۹ درصد کمتر از تیمار عدم کم آبیاری و شرایط بدون تنش بود. البته تفاوت غلظت کلروفیل b در تیمارهای عدم کم آبیاری و کم آبیاری ۲۰ درصد فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). مشابه این نتایج کاهش در غلظت رنگدانه-های فتوسنتزی در نتیجه تنش خشکی در مطالعات حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2015) در نخود، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2008) در سویا، محمدی و همکاران (۱۳۹۸) در لوبیا و نصرالهزاده اصل و همکاران (۱۳۹۵) در ذرت گزارش شده است. کاهش محتوی کلروفیل در شرایط تنش خشکی به دلیل تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. از آنجایی که حفظ محتوی رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a وb در شرایط تنش خشکی به ثبات فتوسنتز کمک می‌کند محققین بر این اعتقاد هستند که پایداری کلروفیل در شرایط تنش می‌تواند به عنوان شاخص مهمی جهت انتخاب ارقام متحمل به خشکی باشد (Armand et al., 2016).

عملکرد بلال

بلال با پوشش: اثر کم آبیاری، رقم و اثر متقابل دو عامل بر عملکرد بلال با پوشش در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

بررسی اثر کم آبیاری و رقم بر عملکرد بلال با پوشش نشان داد که کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بلال با پوشش در هر دو رقم مورد آزمایش شد. بیشترین عملکرد بلال با پوشش در تیمار عدم کم آبیاری و رقم آمیلاپوپ به میزان ۱۱۷۳۰ کیلو گرم در هکتار حاصل شد که دارای تفاوت آماری معنی‌داری با میانگین عملکرد با پوشش در سایر تیمارها بود. کمترین عملکرد بلال با پوشش نیز در کم آبیاری ۴۰ درصد و رقم مریت به میزان ۵۷۴۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴).

بلال بدون پوشش: اثر کم آبیاری و رقم در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل دو عامل در سطح احتمال ۵ درصد بر عملکرد بلال بدون پوشش معنی‌دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین عملکرد بلال بدون پوشش تحت تاثیر اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و رقم نشان داد که افزایش کم آبیاری تا سطح ۴۰ درصد موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بلال بدون پوشش در هر دو رقم مورد آزمایش شد. بیشترین کاهش در رقم مریت مشاهده شد که دارای تفاوت معنی‌داری با میانگین عملکرد بدون پوشش در رقم آمیلاپوپ در همین سطح از کم آبیاری داشت. بالاترین میزان عملکرد بلال بدون پوشش نیز در تیمار عدم کم آبیاری و رقم آمیلاپوپ مشاهده شد (جدول ۴).

عملکرد دانه قابل کنسرو: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم آبیاری و رقم بر عملکرد دانه قابل کنسرو در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل دو عامل فاقد اثر معنی‌دار آماری بر این صفت بود (جدول ۱).

بررسی میانگین عملکرد دانه قابل کنسرو تحت تاثیر تیمار کم آبیاری نشان داد که تنش خشکی حاصل از کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه قابل کنسرو شد. میزان عملکرد دانه قابل کنسرو در همه سطوح دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود. کاهش عملکرد دانه قابل کنسرو در کم آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد نسبت به تیمار عدم کم آبیاری به ترتیب در حدود ۲۴ و ۳۶ درصد بود (جدول ۲).

میانگین عملکرد دانه قابل کنسرو در دو رقم مورد آزمایش نیز دارای تفاوت آماری معنی‌دار بود. رقم آمیلاپوپ به طور معنی‌داری دارای عملکرد دانه قابل کنسرو بیشتری نسبت به رقم مریت بود (جدول ۳).

عملکرد بلال و عملکرد دانه قابل کنسرو به عنوان هدف نهایی تولید ذرت شیرین با اعمال کم آبیاری تا سطح ۴۰ درصد کاهش معنی‌داری نشان داد. مطابق این نتایج فرید و همکاران (۱۳۹۸) مشاهده کردند که کاهش ۴۰ درصد در آب آبیاری موجب کاهش ۴۰/۳ درصدی عملکرد ذرت شیرین شد. قاضیان تفرشی و همکاران (۱۳۹۲) و دهقانی و همکاران (۱۳۹۷) نیز چنین نتایجی را گزارش کردند. از آنجایی که آب ماده خام فتوسنتزی است و بسیاری از اعمال حیاتی و واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط کمبود آب دچار اختلال می‌شود، کاهش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی ناشی از تنش خشکی حاصل از کم آبیاری به خصوص در مرحله زایشی گیاه می‌تواند از دلایل عمده کاهش عملکرد دانه باشد. علاوه بر این تنش خشکی با تاثیر منفی بر رشد سلول، تسریع پیری برگ‌ها، کوتاه شدن دروه گلدهی و گرده افشانی و کوتاه‌تر کردن دوره پر شدن دانه‌ها در کاهش میزان عملکرد موثر است (Azizian and Sepaskhah, 2014; Wiatrak et al., 2004).

نتیجه‌گیری

استفاده از روش کم آبیاری یکی از راهکارهای مدیریت زراعی است که به دلیل محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح می‌گردد. اما در بسیاری از موارد تنش خشکی حاصل از کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بسیاری از محصولات زراعی می‌گردد. از مهم‌ترین مکانیسم‌های گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی، شوری و سرما جهت مقابله با اثرات تنش استفاده از سیستم آنتی‌اکسیدانی، افزایش اسمولیت‌های سازگار و پایداری رنگیزه‌های فتوسنتزی است. در پژوهش حاضر اعمال کم آبیاری تا سطح ۴۰ درصد و تنش خشکی حاصل از آن فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کربوهیدارت‌های محلول را افزایش داد. اما با این وجود عملکرد بلال در هر دو رقم آزمایش به طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم کم آبیاری کاهش یافت. کاهش غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل نیز نشان داد که رقم‌های مورد آزمایش دارای پایداری لازم در شرایط تنش نیستند. بنابراین به کارگیری روش کم آبیاری در مورد رقم‌های مورد مطالعه تنها در صورتی قابل توجیه خواهد بود که کاهش ۲۰ و ۴۰ درصدی در میزان آب مصرفی یعنی به ترتیب حدود ۱۳۵۴ و ۲۷۰۸ متر مکعب کاهش در مصرف آب جهت این محصول از مزیت بیشتری نسبت به کاهش در میزان عملکرد برخوردار باشد. در بین رقم‌های مورد آزمایش نیز رقم آمیلاپوپ عملکرد بلال بالاتری نسبت به رقم مزیت داشت.

منابع

آذری نصرآبادی، ع.، موسوی نیک، س. م.، گلوی، م.، بهشتی، س. ع. ر. و سیروس مهر، ع. ر. ۱۳۹۶. بررسی اثر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه، تجمع اسمولیت‌ها و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۳(۱۵): ۶۹۰-۶۷۶.

بذرگر، گ.، نبوی کلات، س. م.، خاوری خراسانی، س.، قاسمی، م. و

کلیدری، ع. ۱۴۰۰. اثر تنش کم آبیاری و تراکم گیاه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار، محتوی نسبی آب و عملکرد ذرت بچه (رقم پشن). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۶(۱۵): ۱۳۸۱- ۱۳۷۰.

بروجردنیا، م.، بی همتا، م. ر.، عالمی سعید، خ. و عبدوسی، و. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشت الکترولیت‌ها و محتوی آب نسبی (*Phaseolus vulgaris* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۲۹). ۴۱-۲۳.

بیوک، ز.، حسن‌پور درویشی، ح.، مظفری، ح. و حبیبی، د. ۱۳۹۲. بررسی اثر محلول پاشی سلنیوم بر میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و مالون دی آلدئید در گیاه دارویی گشنیز () تحت شرایط تنش خشکی. مجله پژوهش‌های به زراعی. ۵(۱): ۴۸-۳۵.

پیرنجم‌الدین، ف.، مجیدی، م. م.، قیصری، م. و رادان، ز. ۱۳۹۴. گزینش برای تحمل به تنش خشکی بر اساس سیستم ریشه‌ای و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در فسیکوی بلند. علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۶(۱). ۱۶۸-۱۵۷.

حسن‌پور، ح. و نیکنام، و. ۱۳۹۳. بررسی اثر تنش خشکی بر رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان گیاه پونه معطر (*Mentha pulegium* L.) در مرحله گلدهی. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۳(۸): ۳۵-۲۵.

سید ابراهیمی، ف، س.، حسنی کومله، ح.، اعلمی، ع. و رضادوست، م. ح. ۱۳۹۴. تاثیر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان دو رقم کلزا (*Brassica napus*). فرآیند و کارکرد گیاهی. ۴(۱۴). ۹۱-۷۷.

شرقی، ط .، بری ابرقویی، ح.، اسدی، م. ح. و کوثری، م. ر. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیث و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی-پژوهشی خشک بوم. ۱(۱): ۳۳-۲۵.

صمصامی‌پور، م.، امداد، م. ر.، افراسیاب، پ.، دلبری، **م.** ۱۳۹۵. بررسی اثر کم‌آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب در مراحل مختلف رشد ذرت. مجله مهندسی منابع آب. ۹: ۶۶-۵۷.

محمدی، س. ع.، خزاعی، ح. ر. و نظامی. ا. ۱۳۹۶. اثر مدیریت کود سرک نیتروژن توسط کلروفیل‌متر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط کم آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۵(۱): ۷۳-۶۱.

محمدی، م.، توکلی، ا.، پویوسف،م. و محسنی‌فرد، ا. ۱۳۹۸. بهبود فتوسنتز، تبادلات گازی و محتوی کلروفیل لوبیا با کاربرد اپی براسینولید در شرایط تنش خشکی. علو گیاهان زراعی ایران. ۵۰(۱): ۸۳-۷۱.

میرزایی، م.، معینی، ا. و قناتی، ف. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول گیاهچه‌های کلزا (*Brassica napus*). مجله زیست شناسی ایران. ۲۶(۱). ۹۸-۹۰.

نصراله‌زاده اصل، و.، شیری، م. ر.، محرم‌نژاد، س.، یوسفی، م.و باغبان، ف. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر خصوصیات زراعی و بیوشیمیایی سه هیبرید ذرت (*Zea mays* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۳۲). ۶۰-۴۵.

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. Methods Enzymology. 105: 121–126. https://doi.org/ 10.1016/ S0076-6879(84)05016-3.

Alscher, R. G., Erturk, N. and Heath, L. S. 2002. Role of superoxide dismutases (SOD) in controlling oxidative stress in plant. Journal of Experimental Botany. 53(372): 1331-1341.

Anjum, S. A., Tanveer, M., Ashraf, U., Hussain, S., Shahzad, B., Khan, I. and Wang, L. 2016. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. Environmental Science and Pollution Research. 23: 17132-17141. Asada, K., Takahashi, M. and Nagate, M. 1974. Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. Agricultural and Biological Chemistry. 38: 471-473.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59 (2):206–216.

Bacelar, E. A., Santos, D. L., Moutinho-Pereira, J. M., Goncalves, B. C., Ferreira, H. F. and Correia, C. M. 2006. Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: changes on structures and chemical composition of foliage and oxidative damage. Plant Science. 170: 596-605.

Beers, S. and Sizer, I. W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. Biology Chemical. 195: 133-140.

Caludia Castaneda-Saucedo, M., Delgado Alvaredo, D., Cordova Tellez, L., Gonzalez Hernandez, V., Tapia Campos, E. and Santacruz Varela, A. 2012. Changes in carbohydrate concentration in leaves, pods and seeds of dry bean plants under drought stress. Interciencia. 37(3): 168-175.

Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waine, J. G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I postanthesis changes in Internode dry matter. Crop Science. 46: 735-746.

drought stress on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and accumulation of proline and soluble sugars in sheath and blades of their different ages leaves. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 5: 264-272.

Shehab, G.G., Ahmed, O. K. and El-Beltagi, H. S. 2010. Effects of various chemical agents for alleviation of drought stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napocoa. 38 (1): 139-148.

Srivalli, B., Sharma, G. and Khannachopra, R. 2003. Ant oxidative defense system in an upland rice cultivar subjective to increasing intensity of water stress followed by recovery. Plant Physiology. 119: 503-512.

Tahi, H., Wahbi, S., Modafar, C. E., Aganchich, A. and Serraj, R. 2008. Changes in antioxidant activities and phenol content in tomato plants subjected to partial root drying and regulated deficit irrigation. Plant Biosystems. 142: 550-562.

Tatari, M., Futouhi, R., Etemadi, N., Ahadi, A. M. and Mousavi, A. 2012. Analysis of antioxidant enzyme activity, lipid peroxidation and prolin content of *Agropyron desertorum* under drought stress. Horticulture Biology and Environment. 3: 9-24.

Xue, G. P., McIntyre, C. L., Glassop, D. and Shorter, R. 2008. Use of expression analysis to dissect alteration in carbohydrate metabolism in wheat leaves during stress. Plant Molecular Biology. 67: 197-214.

Zeid, I. M. and Shedeed, Z. A. 2006.Response of alfalfa to putrescence treatment under drought stress.BiologiaPlantarum. 50 (4): 635-640.

Zhang, M., Zhai, Z., Tian, X., Duan, L. & Li, Z. 2008. Brassinolide alleviated the adverse effect of water deficits on photosynthesis and the antioxidant of soybean (*Glycine max* L.). Plant Growth Regulation. 56: 257-264.

Giannopolities, C. N. and Ries, S. K. 1977. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. Plant Physiol. 59: 309–314.

Gill, S. S. and Tuteja, N. 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry. 48: 909-930.

Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetables extracts. Journal of Food Science. 55: 184-185,192.

Hojati, M., Modarres Sanavy, S. M. A., Karimi, M. and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum.33: 105-112.

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H. and Ismaili, A. 2015. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica. 54(1): 87-92.

Johari-Pireivatlou, M. 2010. Effect of soil water stress on yeild and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology. 9: 36-40.

Khaliq, A., Aslam, F., Matloob, A., Hussain, S., Geng, M., Wahid, A. and Rehman, H. 2015. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. Biological Trace Element Research. 166: 236–244.

Kochert, G. 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method, In Helebust, J. A., Craig, J. S (ed). Handbook physiological methods, Cambridge University. Press. Cambridge: 96-97.

Miller, G. A. D., Suzuki, N., Ciftci-Yilmaz, S. and Mittler, R. O. N.2010. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stress. Plant of Cell and Environment. 33(4): 453-467.

Mostajeran, A. and Rahimi-Eichi, V. 2009. Effects of

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.3, Vol. 17, Aug.-sEP. 2023, p. 453-463

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۷، مرداد - شهریور ۱۴۰۲، ص. ۴۶۳-۴۵۳

Effect of Deficit Irrigation on Antioxidant Enzymes Content, Soluble Carbohydrates, Chlorophyll Concentration and Yield of Two Sweet Corn Cultivars

A. Kh.Mosavi[1], M. R. Dadashi[2], S. M. Nabavi Kalat[3*], S. Khavari[4]

Recived: Sep.18, 2022 Accepted: Feb.19, 2023

Abstract

In order to study the effect of deficit irrigation on antioxidant enzymes content, soluble carbohydrates, chlorophyll concentration and yield of two sweet corn cultivars a field experiment based on randomized complete block design (RCBD) arranged in factorial with three replications was conducted at the Education-Research Farm (With geographical position: 37°33' north, 59°11' east), Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran, during in cropping season 2018-2019. The experimental factors were included at three levels (0 (Full irrigation), 20 and 40% less than the irrigation requirement) and two sweet corn cultivars (Amylapop and Merit). The results showed that with increasing of deficit irrigation (increasing stress) content of catalase, peroxidase, superoxide dismutase enzymes and soluble carbohydrates increased. However, concentration of chlorophyll a, b and total, husked cob yield, dehusked cob yield and conservable grain yield decreased. The content of catalase, peroxidase, superoxide dismutase, husked cob yield, dehusked cob yield and conservable grain yield were higher in Amylapop cultivar than Merit. In general, the results of this research showed that the tested cultivars do not have the necessary stability under these conditions. Therefore, applying the method of deficit irrigation in the studied cultivars will be justified only if a 20 and 40 percent reduction in the amount of water used for this product is more beneficial than the reduction in yield.

Keywords: Catalase, Cob yield, Conservable grain yield, Superoxide dismutase

1- PhD student, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
3- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
4- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, ARREO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: sm_nabavikalat@yahoo.com)