

مقاله علمی-پژوهشی

اثر تنش کم آبیاری و تراکم گیاه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار،

محتوی نسبی آب و عملکرد ذرت بچه (رقم پشن)

گلناز بذرگر^۱، سید محسن نبوی کلات^{۲*}، سعید خاوری خراسانی^۳، محسن قاسمی^۴، علیرضا کلیدری^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

چکیده

به منظور مطالعه اثر تنش کم آبیاری و تراکم گیاه بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار، محتوی نسبی آب و عملکرد ذرت بچه (رقم پشن) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش اسپلیت پلات در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد با مختصات جغرافیایی (طول جغرافیایی ۵۹° ۸' ۵" و عرض جغرافیایی ۳۴° ۳۴' ۱۶") در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. کم آبیاری در سه سطح (۰، ۲۰ و ۴۰ درصد کمتر از نیاز آبیاری گیاه) به عنوان عامل اصلی و سه تراکم گیاه (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم آبیاری بر تمام متغیرها، اثر تراکم گیاه بر محتوی نسبی آب، عملکرد بلال با پوشش، عملکرد بلال بدون پوشش و عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد و اثر متقابل بر تمام متغیرها (جز محتوی نسبی آب و فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز) معنی دار بود. نتایج نشان داد با افزایش کم آبیاری (افزایش تنش) و افزایش تراکم گیاه محتوی نسبی آب کاهش یافت. همچنین افزایش کم آبیاری موجب افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز شد. مقایسه میانگین صفات تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل نشان داد که با افزایش کم آبیاری و تراکم گیاه محتوی پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز به دلیل افزایش تنش خشکی و رقابت درون گونه‌ای افزایش یافت. کم آبیاری موجب کاهش عملکرد بلال با پوشش، بدون پوشش و بدون پوشش استاندارد شد؛ اما در همه سطوح کم آبیاری با افزایش تراکم گیاه، عملکرد بلال افزایش یافت. به طور کلی نتایج حاصل نشان داد تنش خشکی سبب افزایش محتوی اسمولیت‌های سازگار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در رقم مورد آزمایش شد اما این افزایش جهت کاهش اثرات تنش بر عملکرد کافی نبود.

واژه‌های کلیدی: پرولین، سوپر اکسید دیسموتاز، عملکرد بلال، کاتالاز

مقدمه

پروتئین، قند، مواد معدنی و ویتامین‌هایی مانند B و C است و عموماً در صنایع تبدیلی (کنسرو و ترشی) مورد استفاده قرار می‌گیرد (باوی و همکاران، ۱۳۹۵ و Dutta et al., 2015). در سال‌های اخیر تقاضا برای این محصول در ایران افزایش داشته است؛ اما مشکل عمده اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و کمبود منابع آبی است. یکی از اقدامات مناسب مدیریت زراعی در شرایط محدودیت آب، استفاده از راهکار کم آبیاری است. در این شرایط به گیاه کمتر از نیاز واقعی آب داده می‌شود؛ اما کاستن از مقدار آب اختصاص یافته جهت آبیاری باید به گونه‌ای باشد تا حتی‌الامکان کمترین تنش به گیاه وارد شود و میزان کاهش محصول در برابر سود حاصل از مقدار صرفه‌جویی آب ناچیز باشد (صابری و همکاران، ۱۳۹۹، احمد پور و همکاران، ۱۳۹۶ و Muneer et al., 2018). کرناک و همکاران معتقد هستند هدف از کم آبیاری بهینه ساختن مصرف آب و به حداکثر رساندن عملکرد به ازای هر واحد آب مصرفی است (Kirnak et al., 2010). با وجود این، کم آبیاری ممکن است از طریق ایجاد تنش خشکی رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Oneto et al., 2016). در این زمینه

ذرت شیرین (*Zea mays varsaccharata*) یکی از مهم‌ترین زیرگونه‌های ذرت است که با انجام جهش ژنتیکی حاصل شده است. این جهش باعث گردیده که آندوسپرم دانه در حدود دو برابر بیشتر از ذرت معمولی قند ذخیره کند. ذرت بچه، همان بلال ذرت شیرین است که بافتی ترد، ظریف و طعم شیرین دارد و در ابتدای کرده‌افشانی برداشت می‌شود. این محصول دارای کربوهیدرات، چربی،

۱- دانشجوی دکتری زراعت گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد ایران

۴- استادیار گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۵- دکتری تخصصی، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان امور اراضی کشور، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: sm_nabavikalat@yahoo.com)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.6.12.2

بر رشد و عملکرد گیاه مؤثر باشد انتخاب تراکم مطلوب گیاه می‌باشد که با توجه به شرایط اقلیمی، محیطی و مشخصات رقم متفاوت خواهد بود. نتایج تحقیقات متعدد نشان داده است که حداکثر عملکرد که در اثر تأمین بهینه عوامل اکولوژیک مورد نیاز گیاه و پتانسیل ژنتیکی حاصل می‌شود، تنها بعد از تنظیم تراکم و آرایش گیاهی مناسب در واحد سطح میسر خواهد بود (عزیزی و ماهرخ، ۱۳۹۱). در تراکم‌های پایین‌تر از حد مطلوب استفاده از تابش دریافتی و امکانات محیطی حداقل خواهد بود و در تراکم‌های زیاد، رقابت برای رطوبت، نور و مواد غذایی افزایش می‌یابد که در هر دو صورت رشد گیاه و تولید زیست توده تحت تأثیر منفی قرار خواهد گرفت (Shakarami and Rafiee., 2009 and Morris et al., 2000); بنابراین، با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، محدودیت منابع آبی و افزایش تقاضای صنایع تبدیلی برای محصول ذرت بچه، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات تنش کم آبیاری بر فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی-اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار و عملکرد محصول ذرت بچه و همچنین مطالعه اثرات متقابل کم آبیاری و تراکم بوته بر متغیرهای فوق انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه اثر تنش کم آبیاری و تراکم گیاه بر فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اسمولیت‌های سازگار (پروپیلین و کربوهیدرات‌های محلول) و عملکرد ذرت بچه (رقم فوق شیرین پشن) در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد (طول جغرافیایی $5^{\circ} 8' 59''$ و عرض جغرافیایی $34^{\circ} 16' 34''$) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد.

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) بر مبنای طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. کم آبیاری در سه سطح (۰ (عدم کم آبیاری)، کم آبیاری ۲۰ و ۴۰ درصد کمتر از نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم گیاه در سه سطح (۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد.

هر کرت فرعی شامل ۴ ردیف کاشت با طول ۵ متر و فاصله بین ردیف ۶۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. به‌این ترتیب ابعاد هر کرت فرعی $12 = 5 \times 2/4$ مترمربع بود. بین هر دو کرت فرعی یک ردیف نکاشت و بین کرت‌های اصلی دو ردیف نکاشت در نظر گرفته شد. فاصله بلوک‌ها (تکرارها) از یکدیگر نیز در حدود ۲ متر در نظر گرفته شد.

کاشت در اواسط اردیبهشت‌ماه با دست و به‌صورت کپه‌ای انجام شد. در هر کپه سه بذر کشت و در مرحله ۶-۴ برگی به یک بوته تنک گردید. برای رسیدن به تراکم‌های مورد نظر از تغییر فاصله روی

جلیلیان و همکاران (۱۳۹۳) مشاهده کردند که کاهش آبیاری از ۱۰۰ به ۶۰ درصد نیاز آبی منجر به کاهش ۲۶ درصدی ردیف دانه در بلال شد. قاضیان تفرشی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه اثر سه سطح ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در سه رقم ذرت شیرین دریافتند که کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار کلبه صفات به‌جز شاخص برداشت در اثر تنش خشکی اعمال شده گردید. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که سبب ایجاد تغییرات چشم‌گیر فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در اغلب گیاهان می‌شود. یکی از پاسخ‌های اولیه گیاهان به تنش کم‌آبی تشکیل گونه‌های اکسیژن فعال مانند پر اکسید هیدروژن (H_2O_2)، سوپر اکسید (O_2^-) و رادیکال‌های هیدروکسیل (OH) می‌باشد (Gao et al., 2020 and Anjum et al., 2015). گونه‌های اکسیژن فعال پتانسیل واکنش با بسیاری از ترکیبات سلولی را دارند و سبب خسارت به غشای سلول و سایر ماکرو مولکول‌های ضروری از قبیل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می‌شوند (Blokina et al., 2003). گیاهان برای کاهش دادن اثر مخرب گونه‌های اکسیژن فعال مکانیسم‌های متفاوتی دارند. از جمله این مکانیسم‌ها می‌توان به سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی اشاره کرد (Verma and Dubey., 2003). آنتی‌اکسیدان‌ها مولکولی‌هایی هستند که مانع عملکرد رادیکال‌های آزاد شده و از تخریب سلول‌ها جلوگیری می‌کنند. این مواد می‌توانند با دادن الکترون به رادیکال‌های آزاد آن‌ها را به شکل پایدار خود تبدیل کنند و مانع اثرات مخرب آن‌ها شوند (Demiral and Turkan., 2004). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POD) و آسکوربات پراکسیداز (APX) در پاک‌سازی رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول نقش دارند (Agarwal and Pandey., 2004). گزارش‌های متعددی در مورد نقش آنتی-اکسیدان‌های مختلف در کاهش اثرات تنش‌های محیطی وجود دارد. به‌طور مثال: اثرات مهارکننده CAT و APX بر فعالیت H_2O_2 گزارش شده است (Anjum et al., 2015 and Khalig et al., 2015). تنظیم اسمزی، مکانیسم مهم دیگری است که گیاهان جهت تعدیل اثرات مضر تنش‌های محیطی، مانند خشکی و سوری و خنثی کردن گونه‌های اکسیژن فعال به کار می‌گیرند. تنظیم اسمزی به کمک اسمولیت‌های سازگار و یا مواد تنظیم‌کننده اسمزی مثل پروپیلین، 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 and 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 عوامل مهم در مدیریت زراعی که به‌ویژه در شرایط تنش می‌تواند با تأثیر بر میزان رقابت درون‌گونه‌ای

قطعات برگ به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی-گراد قرار گرفتند و وزن خشک (DW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت محتوی آب نسبی با استفاده از رابطه زیر به دست آمد.

$$RWC(\%) = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

برای استخراج و سنجش پرولین از روش باتس و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. برای این منظور ۵۰۰ میلی‌گرم از بافت برگ در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک آبدار ۳ درصد کاملاً سائیده شد تا محلول همگن ایجاد شود. دو میلی‌لیتر از محلول حاصل با دو میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال در یک لوله آزمایش مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در حمام آب گرم (بن ماری) ۱۰۰ درجه قرار گرفتند. به محتویات لوله ۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت به هم زده شد. این عمل موجب دو فاز شدن محتویات لوله می‌شود. پس از مدت ۲۰ دقیقه جذب نوری محلول در ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و با استفاده منحنی استاندارد حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، بر حسب میکروگرم پرولین در گرم برگ تازه محاسبه شد.

کربوهیدرات‌های محلول (قندهای محلول) بر اساس روش ایریگون و همکاران (Irrigoyen et al., 1992) اندازه‌گیری شد. مقدار ۰/۲ گرم بافت برگ گیاه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در لوله آزمایش در بسته قرار گرفت و به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن ۱ میلی‌لیتر از نمونه‌ها به همراه ۱ میلی‌لیتر فنل ۰/۵ درصد و ۵ میلی-لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد ترکیب شد. در نهایت با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۳ نانومتر مقدار جذب خوانده و میزان کربوهیدرات استخراجی بر اساس میکرو مول گلوکز بر گرم وزن تر محاسبه شد.

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

آنزیم کاتالاز: با روش بییر و سایزر (Berr and Sizer., 1992) اندازه‌گیری شد. ابتدا مقدار ۱۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی در ۲۸ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ریخته و ۳۰ میکرو لیتر H_2O_2 به آن اضافه شد. در طول موج ۲۴۰ نانومتر بافر فسفات پتاسیم صفر شد و ۳۰ ثانیه پس از قرائت جذب نوری اول مجدداً جذب نوری دوم نمونه-ها قرائت شد.

فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز: مطابق روش لاسپینا و همکاران (Lspina et al., 2005) مورد سنجش قرار گرفت. در نهایت اعداد جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر ثبت شد. قابل ذکر است

ردیف استفاده شد. 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 صورت گرفت.

برای تغذیه معدنی، بر اساس آزمون خاک و توصیه انجام شده، فسفات آمونیم و سولفات پتاسیم هر یک به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. فسفات آمونیم، سولفات پتاسیم و ۵۰ درصد کود اوره هم‌زمان با آماده‌سازی زمین کاشت و ۵۰ درصد مابقی کود اوره در مرحله ۱۲-۱۰ برگی به صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت.

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 مترمکعب 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 قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متری بود. میزان آب مصرفی در تیمارهای تعیین شده با قرار دادن یک ظرف در زیر یکی از نازل‌ها و محاسبه میزان آب خروجی در واحد زمان و تعداد نازل موجود در هر کرت آزمایشی مورد محاسبه قرار گرفت. در طول رشد گیاه عملیات زراعی از قبیل وجین علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌های احتمالی مطابق روش‌های معمول انجام شد.

جهت اندازه‌گیری محتوی آب نسبی، تنظیم‌کننده‌های اسمری و استخراج عصاره آنزیمی از برگ‌های جوان بالای بوته که از دو ردیف میانی هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب شده بودند نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های انتخابی برای اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برای جلوگیری از تلفات رطوبتی در درون کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفت و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌های انتخابی برای اندازه-گیری سایر متغیرها در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند؛ و به تدریج در سنجش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب (RWC)، بر اساس روش ریچی و همکاران (Ritche et al., 1990) تعداد ۵ نمونه از آخرین برگ توسعه‌یافته گیاه در هر کرت نمونه‌برداری شد. قطعات یک سانتی‌متر مربعی از برگ تهیه و وزن تازه آن‌ها (FW) با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در پتری دیش-های حاوی آب مقطر در سردخانه و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن آماس یافته (TW) آن‌ها اندازه‌گیری شد. سپس

روزنه‌ها، فتوستتوز و در نهایت تولید زیست‌توده و عملکرد وجود دارد. به همین دلیل محتوی آب نسبی به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی ارقام مقاوم به خشکی ارزیابی شده است (Graça et al., 2010). مقایسه میانگین محتوی نسبی آب گیاه در تراکم‌های مختلف نشان داد که با افزایش تراکم گیاه در واحد سطح محتوی آب نسبی کاهش یافت. کمترین محتوی نسبی آب گیاه در تراکم ۲۰۰ هزار بوته در واحد سطح مشاهده شد که تفاوت آن فقط با تراکم ۱۰۰ هزار بوته در هکتار از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش رقابت درون‌گونه‌ای، می‌تواند مهم‌ترین دلیل کاهش محتوی نسبی آب گیاه در نتیجه افزایش تراکم گیاه بوته باشد.

پرویلین

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کم آبیاری و اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه بر محتوی پرویلین در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود؛ اما تراکم گیاه فاقد اثر معنی‌دار بر این صفت بود (جدول ۱).

بررسی اثر متقابل دو عامل بر محتوی پرویلین نشان داد که با افزایش هر دو عامل تنش کم آبیاری و تراکم گیاه غلظت پرویلین افزایش یافت. به طوری که بالاترین میزان پرویلین در سطح ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار حاصل شد که تفاوت آن با دیگر تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). مطابق نتایج این پژوهش، میری و ضمانی مقدم (۱۳۹۳) در ذرت، انجم و همکاران (Anjum et al., 2016) در ارقام مختلف ذرت و سکمن و همکاران (Sekmen et al., 2014) در ارقام پنبه افزایش غلظت پرویلین در شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. پرویلین از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی تحت تنش‌های محیطی است که در تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی همبستگی بالایی با تحمل به تنش را نشان می‌دهد (Azarpanah et al., 2010). تجمع پرویلین در گیاهان تحت تنش به واسطه ساخت پرویلین و غیرفعال شدن تخریب آن است؛ اما بررسی‌های مختلف نشان داده است که پرویلین نقش فراتری از یک تنظیم‌کننده اسمزی ساده در افزایش تحمل به خشکی در گیاهان دارد (Szabados and Savoure., 2009). شواهد مختلف نشان می‌دهد که افزایش محتوی پرویلین در شرایط تنش باعث محافظت غشای سلولی، پایداری پروتئین‌ها و آنزیم‌های سیتوپلاسمی، مهار گونه‌های فعال اکسیژن و حذف رادیکال‌های آزاد می‌شود (Liang et al., 2013). به همین دلیل گونه‌ها و ارقامی که در شرایط تنش قادر به تولید و تجمع پرویلین بالاتری در سلول باشند، تحمل بهتری نسب به شرایط تنش خواهند داشت.

کربوهیدرات‌های محلول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کم آبیاری در سطح احتمال

که یک واحد از فعالیت آنزیمی به‌عنوان میزانی از آنزیم است که موجب می‌گردد مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ذکر شده به میزان ۵۰٪ در مقایسه با شاهد کاهش یابد.

اندازه‌گیری 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٪، پر اکسید هیدروژن ۳٪ و ۶۰۰ میکرو لیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت پراکسیداز بر اساس میزان اکسید شدن گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی $\epsilon = 26/6 \text{ mM}^{-1}\text{Cm}^{-1}$ تعیین شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد بلال، چند روز پس از آغاز گرده‌افشانی، برداشت بلال از سه ردیف میانی هر کرت و پس از حذف نیم متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف، در سطحی معادل $4 \times 1/8 = 7/2$ مترمربع انجام شد. بلال‌هایی به‌عنوان بلال بدون پوشش استاندارد در نظر گرفته شدند که طول و قطر آن‌ها به ترتیب ۱۲-۱۰ و ۲-۱ سانتیمتر بود (باوی و همکاران، ۱۳۹۵). 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

محتوی نسبی آب

اثر کم آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد و اثر تراکم بوته در سطح احتمال ۵ درصد بر محتوی نسبی آب گیاه معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل دو عامل فاقد اثر معنی‌دار بر این صفت بود (جدول ۱).

بررسی اثر کم آبیاری بر محتوی نسبی آب گیاه نشان داد، با افزایش درصد کم آبیاری تا سطح ۲۰ درصد و در نتیجه افزایش شدت تنش خشکی محتوی نسبی آب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که محتوی نسبی آب گیاه در سطح ۲۰ درصد کم آبیاری در مقایسه با عدم تنش در حدود ۱۹ درصد کاهش داشت؛ اما تفاوت میانگین محتوی نسبی آب گیاه در ۲۰ و ۴۰ درصد کم آبیاری از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج این پژوهش تنش حاصل از ۲۰ درصد کم آبیاری سبب کاهش محتوی نسبی آب گیاه شد. کاهش جذب آب توسط ریشه‌ها دلیل اصلی کاهش محتوی آب نسبی گیاه در شرایط تنش کمبود آب عنوان شده است (ولی زاده قلعه بیگ و همکاران، ۱۳۹۴). کاهش محتوی آب نسبی گیاه در اثر تنش کم آبیاری توسط شامند و افکاری (۱۳۹۷) در لوبیا، پازکی (۱۳۹۴) در کلزا و فاضلی رستم پور و همکاران (۱۳۸۹) در ذرت گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. رابطه نزدیکی بین محتوی آب نسبی برگ، پتانسیل آب گیاه، بازنگه‌داشتن

۵ درصد و اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوی کربوهیدرات‌های محلول معنی‌دار بود؛ اما تراکم گیاه فاقد اثر معنی‌دار آماری بر این صفت بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین محتوی کربوهیدرات‌های محلول تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه نشان داد که با افزایش سطوح هر دو عامل محتوی کربوهیدرات‌های محلول افزایش یافته است. بیشترین میانگین کربوهیدرات‌های محلول در ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار و کمترین محتوی کربوهیدرات‌های محلول نیز در تیمار عدم کم آبیاری و تراکم ۱۰۰ هزار گیاه در مترمربع حاصل شد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان کربوهیدرات‌های محلول در حدود ۶۱ درصد بود (جدول ۴).

نتایج این مطالعه نشان داد که تنش خشکی حاصل از کم آبیاری و افزایش رقابت درون‌گونه‌ای ناشی از افزایش تراکم گیاه، سبب افزایش محتوی کربوهیدرات‌های محلول شده است. افزایش کربوهیدرات‌های محلول، احتمالاً ناشی از کاهش نیاز به مواد فتوسنتزی به دلیل کاهش رشد و همچنین تخریب کربوهیدرات‌های نامحلول مانند نشاسته در پاسخ به شرایط تنش می‌باشد (Ehdaie et al., 2006).

کربوهیدرات‌های محلول به‌عنوان یکی دیگر از تنظیم‌کننده‌های اسمزی نقش مهمی در متابولیسم گیاهان در شرایط تنش‌های غیر زیستی دارند. به همین دلیل افزایش محتوی کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی در اغلب گیاهان، به‌خصوص گونه‌ها و ارقام متحمل‌تر گزارش شده است (Claudia et al., 2012).

به‌طور مثال، افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در شرایط تنش خشکی، توسط بروجردینا و همکاران (۱۳۹۵) در لوبیا، میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) در کلزا و اجیت‌کوماران و پانرسلوم (Ajithkumaran and Panneerselvam., 2013) در ارزن ایتالیایی گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. افزایش کربوهیدرات‌های محلول باعث جلوگیری از پسابیدگی سلول و در نتیجه حفظ تورم سلولی، حفاظت غشای سلول و بازداری از تخریب پروتئین‌ها در گیاهان تحت تنش می‌شود. علاوه بر آن از طریق تأمین انرژی موردنیاز گیاه به بقای آن در شرایط تنش کمک می‌کند (Xue et al., 2008).

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

کاتالاز: اثر کم آبیاری و اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه بر فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود؛ اما تراکم گیاه فاقد اثر معنی‌دار بر این صفت بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه نشان داد که با افزایش کم آبیاری و تراکم گیاه و در نتیجه افزایش تنش خشکی و رقابت درون‌گونه‌ای، فعالیت این آنزیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است. بیشترین

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار و کمترین آن در عدم کم آبیاری و تراکم ۱۰۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز در بالاترین سطح کم آبیاری و تراکم نسبت به عدم کم آبیاری و پایین‌ترین سطح تراکم گیاه بیش از ۳/۵ برابر افزایش داشت (جدول ۴). همانند نتایج حاصل، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش خشکی در مطالعات بسیاری مشاهده شده است. انجم و همکاران (Anjum et al., 2016) در دو رقم ذرت و شهاب و همکاران (Shehab et al., 2010) در برنج، افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. کاتالاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی است که افزایش فعالیت آن در شرایط تنش‌های محیطی با کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن به تحمل بهتر شرایط تنش کمک می‌کند. به‌طور مثال، این آنزیم پر اکسید هیدروژن را که برای سلول سمی است به آب و اکسیژن تجزیه می‌نماید و به‌این ترتیب سبب کاهش صدمات وارده به سلول می‌شود (Gao et al., 2020 and Simova-Stiolova et al., 2008).

پراکسیداز: اثر کم آبیاری و اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود؛ اما تراکم گیاه فاقد اثر معنی‌دار بر این صفت بود (جدول ۱).

بررسی اثر کم آبیاری و تراکم گیاه بر میانگین فعالیت پراکسیداز نشان داد که با افزایش سطح کم آبیاری و تراکم گیاه میزان فعالیت این آنزیم آنتی‌اکسیدانت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کمترین میزان فعالیت پراکسیداز در تیمار عدم کم آبیاری و تراکم ۱۰۰ هزار گیاه در هکتار و بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز در سطح ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد. تفاوت میانگین فعالیت پراکسیداز در سطح ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه با سطح ۲۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۱۵۰ هزار گیاه در هکتار از نظر آماری فاقد تفاوت معنی‌دار بود اما با سایر تیمارها تفاوت آماری معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴). مطابق نتایج حاصل، رحیمی و همکاران (۱۳۹۸) افزایش فعالیت پراکسیداز در ارقام حساس و متحمل گندم در شرایط تنش خشکی را مشاهده کردند. با این تفاوت که میزان افزایش فعالیت پراکسیداز در رقم متحمل به تنش بیشتر بود. همچنین نصر اصفهانی (۱۳۹۲) افزایش فعالیت پراکسیداز در سه رقم نخود در شرایط تنش خشکی را گزارش کرد. نتایج اغلب مطالعات نشان داده است که افزایش فعالیت پراکسیداز به بقای سلول در شرایط تنش کمک می‌کند؛ زیرا این آنزیم نقش مهمی در تجزیه پراکسید هیدروژن و خنثی کردن اثرات تخریبی این‌گونه فعال اکسیژن دارد (Toscano et al., 2016). علاوه بر آن پراکسیداز با حذف مالون‌دی‌آلدئید که عامل پر اکسیداسیون لیپیدهای غشا است،

موجب حفظ ثبات و پایداری غشای سلولی می‌شود (Hojati et al., 2011).

سوپر اکسید دیسموتاز: اثر کم آبیاری بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر تراکم گیاه و اثر متقابل دو عامل فاقد اثر معنی‌دار بر این صفت بود. اثر بلوک بر فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود و نشان داد که به دلیل غیریکنواختی در ماده آزمایشی بلوک‌بندی به‌درستی انجام شده است (جدول ۱). کم آبیاری موجب افزایش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز شد به‌طوری که میانگین فعالیت این آنزیم در سطح کم آبیاری با تیمار عدم آبیاری دارای تفاوت معنی‌دار بود؛ اما میانگین فعالیت این آنزیم در سطوح ۲۰ و ۴۰ درصد کم آبیاری فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز در شرایط

تنش خشکی در مطالعات ابریشم‌چی و همکاران (۱۳۹۱) در ارقام نخود و سکمن و همکاران (Sekmen et al., 2014) در پنبه گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. سوپر اکسید دیسموتاز یک آنزیم آنتی‌اکسیدان کلیدی است که اولین خط دفاعی را بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهد (O_2^-). این آنزیم رادیکال سوپر اکسید (Alscher et al., 2002) را که سبب آسیب به غشای کلروپلاست، اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها می‌شود را خنثی و به اکسیژن مولکولی و پر اکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. پر اکسید هیدروژن حاصل در مرحله به‌وسیله سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاک-سازی می‌شود (Zeid and Shedeed, 2006).

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده (میانگین مربعات)

منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	پروکلین	کربوهیدرات های محلول	کاتالاز	پراکسیداز	سوپر اکسید دیسموتاز	عملکرد بلال با پوشش	عملکرد بلال بدون پوشش	عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد
بلوک	۲	۴۷/۲ ns	۷۶۷/۳ ns	۱۲/۳ ns	۰/۱۱۱ ns	۲۴/۷ ns	۱/۲۵*	۶۷۹۸۴۷/۶*	۲۶۹۳۸۰/۳ ns	۲۲۳۶/۴ ns
کم آبیاری (A)	۲	۷۷۶/۲**	۱۸۹۲۶/۴**	۸۷/۴ *	۸/۷**	۴۶۱۸۲/۱**	۲/۵۹*	۱۳۹۳۲۱۸۵/۱**	۶۴۴۰۰۰۹/۹**	۸۵۸۶۷/۲*
خطا (a)	۴	۵۹/۵	۲۵۷	۱۱/۹	۰/۲۲۲	۲۵۸/۲	۰/۱۴۹	۱۰۳۰۲۶/۵	۶۶۴۵۷/۱	۷۹۳۴/۲
تراکم گیاه (B)	۲	۸۶/۲*	۱۷۹۸/۷ ns	۰/۱۱۱ ns	۰/۱۱۱ ns	۴۹/۳ ns	۰/۱۲۸ ns	۷۳۹۱۵۰/۰۴**	۳۵۰۹۰۹/۶*	۱۶۴۹۳/۴**
A × B	۴	۴۰/۱ ns	۳۰۴۶/۶**	۲۲۲/۴**	۲/۷ **	۶۶۶۳/۲**	۰/۶۶ ns	۷۶۷۲۱۰/۴**	۴۴۲۴۸۹/۸**	۱۹۳۱۸۹/۶**
خطا (b)	۱۲	۲۵/۲	۵۹۳/۲	۹/۷۹۶	۰/۳۵۲	۱۱۰/۵	۰/۳۸۲	۱۰۷۵۳۴/۷	۶۴۴۹۶/۰۵	۹۴۷۸/۹
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۸	۱۶/۶	۱۸/۷	۱۹/۷	۵/۴	۴	۹/۱	۱۰/۵	۲۱

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

عملکرد بلال

بلال با پوشش: اثر کم آبیاری، تراکم گیاه و اثر متقابل دو عامل بر عملکرد بلال با پوشش در سطح احتمال آماری ۱ درصد و اثر بلوک بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر بلوک بر عملکرد بلال با پوشش نشان داد که ماده آزمایشی دارای غیریکنواختی بوده و بلوک‌بندی جهت خارج کردن اثرات بلوک از اثر تیمار به‌درستی انجام شده است.

مقایسه میانگین عملکرد بلال با پوشش تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه نشان داد که با افزایش سطوح کم آبیاری عملکرد بلال با پوشش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما در همه سطوح کم آبیاری با افزایش تراکم گیاه در واحد سطح این صفت افزایش معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد بلال با پوشش در تیمار عدم کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد که تفاوت آن با سایر تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود. کمترین میانگین این صفت نیز در تیمار ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۱۰۰ هزار گیاه در هکتار به

دست آمد. اختلاف میانگین عملکرد بلال با پوشش در این دو تیمار در حدود ۶۸ درصد بود (جدول ۴).

عملکرد بلال

بلال با پوشش: اثر کم آبیاری، تراکم گیاه و اثر متقابل دو عامل بر عملکرد بلال با پوشش در سطح احتمال آماری ۱ درصد و اثر بلوک بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). معنی‌دار بودن اثر بلوک بر عملکرد بلال با پوشش نشان داد که ماده آزمایشی دارای غیریکنواختی بوده و بلوک‌بندی جهت خارج کردن اثرات بلوک از اثر تیمار به‌درستی انجام شده است.

مقایسه میانگین عملکرد بلال با پوشش تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه نشان داد که با افزایش سطوح کم آبیاری عملکرد بلال با پوشش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما در همه سطوح کم آبیاری با افزایش تراکم گیاه در واحد سطح این صفت افزایش معنی‌دار داشت. بیشترین عملکرد بلال با پوشش در تیمار عدم

دست آمد. اختلاف میانگین عملکرد بلال با پوشش در این دو تیمار در حدود ۶۸ درصد بود (جدول ۴).

کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد که تفاوت آن با سایر تیمارها از نظر آماری معنی دار بود. کمترین میانگین این صفت نیز در تیمار ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم ۱۰۰ هزار گیاه در هکتار به

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف کم آبیاری

عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد (Kg/ha)	عملکرد بلال بدون پوشش (Kg/ha)	عملکرد بلال با پوشش (Kg/ha)	سوپر اکسید دیسموتاز (u.mg ⁻¹ fw)	پراکسیداز (u.mg ⁻¹ fw)	کاتالاز (u.mg ⁻¹ fw)	کربوهیدرات-های محلول (mg.g ⁻¹ fw)	پروکلین (µg.g ⁻¹ fw)	محتوی آب نسبی (درصد)	کم آبیاری (درصد)
۵۴۷/۵ a	۳۱۹۶ a	۴۸۰۹ a	۱۴/۷۱ b	۱۱۷/۲ c	۱/۸۸ b	۱۳/۶۷ b	۱۰۰/۱ c	۸۳/۸۸ a	۰
۴۸۶/۱ a	۲۵۰۵ b	۳۶۸۳ b	۱۵/۶۲ a	۲۰۵/۳ b	۳/۳۳ a	۱۶/۴۴ ab	۱۴۵/۸ b	۶۸/۱۸ b	۲۰
۳۶۵/۳ b	۱۵۱۳ c	۲۳۲۴ c	۱۵/۶۷ a	۲۵۹/۱ a	۳/۷۷ a	۱۹/۸۹ a	۱۹۱/۸ a	۶۷/۴۴ b	۴۰

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

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در تراکم‌های مختلف

عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد (Kg/ha)	عملکرد بلال بدون پوشش (Kg/ha)	عملکرد بلال با پوشش (Kg/ha)	محتوی آب نسبی (درصد)	تراکم گیاه (هزار گیاه در هکتار)
۳۰۷ b	۲۲۵۴ b	۳۲۹۸ b	۷۵/۵ a	۱۰۰
۵۳۴ a	۲۳۳۱ b	۳۶۵۳ a	۷۴/۲ ab	۱۵۰
۵۴۷ a	۲۶۲۸ a	۴۳۲۴ a	۶۹/۶ b	۲۰۰

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

معنی دار بود (جدول ۱).

مقایسه میانگین عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد تحت تأثیر اثر متقابل کم آبیاری و تراکم گیاه نشان داد که بیشترین میزان در تیمار عدم کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه به دست آمد که تفاوت آن با سایر تیمارها معنی دار بود. در مرحله بعدی بالاترین عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد در تیمارهای عدم کم آبیاری و تراکم ۱۵۰ هزار گیاه در هکتار و کم آبیاری ۲۰ درصد و تراکم ۱۵۰ و ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد. میانگین این صفت در این دو تیمار نیز فاقد تفاوت آماری معنی دار بود. با افزایش میزان کم آبیاری و تراکم‌های پایین گیاه عملکرد بلال بدون پوشش به‌طور معنی‌داری کاهش داشت (جدول ۴).

در پژوهش حاضر کم آبیاری تا سطح ۴۰ درصد موجب کاهش معنی‌دار عملکرد بلال شد. چنین نتایجی در مطالعات متعددی گزارش شده است. قاضیان تفرشی و همکاران (۱۳۹۲) مشاهده کردند که کم آبیاری تا سطح ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ارقام مختلف ذرت شیرین شد. همچنین فریدونی و فرجی (۱۳۹۶) گزارش کردند که کم آبیاری تا سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کنسروی ذرت شیرین شد. کاهش عملکرد محصول در اثر تنش خشکی حاصل از کم آبیاری می‌تواند به دلیل اثرات تنش بر رشد سلول، تسریع پیری برگ‌ها و

بلال بدون پوشش: اثر کم آبیاری و اثر متقابل دو عامل کم

آبیاری و تراکم گیاه بر عملکرد بلال بدون پوشش در سطح احتمال آماری ۱ درصد و اثر تراکم گیاه بر این صفت در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

بررسی اثر دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه بر عملکرد بلال بدون پوشش نشان داد که با افزایش کم آبیاری عملکرد بلال بدون پوشش به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ اما در هر سه سطح کم آبیاری افزایش تراکم گیاه موجب افزایش عملکرد بلال بدون پوشش شد. بیشترین عملکرد بلال بدون پوشش در تیمار عدم کم آبیاری و تراکم ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار به دست آمد که تفاوت آن با سایر تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود. در مرحله بعد بیشترین میانگین عملکرد بلال بدون پوشش در تیمارهای عدم کم آبیاری و تراکم‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار قرار داشت. میانگین عملکرد بلال بدون پوشش در این سه تیمار فاقد تفاوت آماری معنی‌دار بود. کمترین میانگین این صفت نیز در تیمار ۴۰ درصد کم آبیاری و تراکم‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ هزار گیاه در هکتار مشاهده شد (جدول ۴).

بلال بدون پوشش استاندارد: اثر کم آبیاری بر عملکرد

بلال بدون پوشش استاندارد در سطح احتمال ۵ درصد و اثر تراکم گیاه و اثر متقابل دو عامل بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد

بلال با پوشش، بدون پوشش و بدون پوشش استاندارد در بالاترین سطح تراکم یعنی ۱۳ گیاه در مترمربع حاصل شد. نکته قابل ملاحظه در نتایج حاصل این بود که بالاترین میزان عملکرد در بالاترین سطح تراکم مورد مطالعه یعنی ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار به دست آمد و این تصور وجود دارد که جهت دست یافتن به تراکم مطلوب، انتخاب تراکم‌های بالاتر می‌توانست مورد توجه قرار گیرد. همچنین، با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل دو عامل کم آبیاری و تراکم گیاه مشاهده گردید که در هر سه سطح کم آبیاری، با وجود کاهش عملکرد در نتیجه افزایش تنش خشکی حاصل از کم آبیاری بیشترین میزان عملکرد در بالاترین سطح تراکم گیاه دیده شد. در حالی که تصور بر این بود که در سطوح بالای کم آبیاری با افزایش تراکم گیاه و در نتیجه افزایش رقابت درون‌گونه‌ای و تشدید اثرات تنش عملکرد کاهش یابد. دلیل چنین نتیجه‌ای می‌تواند عدم انتخاب تراکم‌هایی باشد که می‌توانست اثرات تنش را افزایش دهد.

همچنین اثرات منفی تنش خشکی بر فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تولید مواد پرورده باشد. در چنین شرایطی با کاهش تولید بیوماس، عملکرد محصول کاهش خواهد یافت (Azizian and Sepaskhah., 2014). عملکرد محصول به‌عنوان هدف نهایی در کشت محصولات زراعی می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر تراکم گیاه در واحد سطح قرار گیرد و معمولاً تا رسیدن به تراکم مطلوب افزایش نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر، عملکرد بلال با پوشش، بدون پوشش و عملکرد بلال بدون پوشش استاندارد تحت تأثیر تراکم گیاه قرار گرفت و با افزایش تراکم تا سطح ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. چنین نتیجه‌ای در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است. رحمانی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه اثر سه تراکم ۶۵، ۸۵ و ۱۰۵ هزار گیاه در هکتار بالاترین عملکرد بلال بدون پوشش و بدون پوشش استاندارد را در تراکم ۱۰۵ هزار گیاه در هکتار گزارش کردند. باوی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در بررسی اثر چهار تراکم ۹، ۱۱ و ۱۳ گیاه در مترمربع مشاهده کردند که بالاترین عملکرد

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده (اثر متقابل کم آبیاری و تراکم)

کم آبیاری (درصد)	تراکم گیاه (هزار بوته در هکتار)	پروپیلین ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fw}$)	کربوهیدرات‌های محلول ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{fw}$)	کاتالاز ($\text{u} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{fw}$)	پراکسیداز ($\text{u} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{fw}$)	عملکرد بلال (Kg/ha)	
						بلال بدون پوشش استاندارد	بلال با پوشش
۰	۱۰۰	۹۳/۷۸ e	۹ c	۱/۳۳۳ d	۱۰/۱۳ f	۲۸۳۱ b	۲۴۳ d
۰	۱۵۰	۱۰۰/۶ de	۱۴/۳۳ bc	۲/۰۰۰ d	۱۲۰/۰ e	۲۹۷۹ b	۵۷۳ b
۰	۲۰۰	۱۰۵/۹ de	۱۷/۶۷ ab	۲/۳۳۳ cd	۱۳۰/۳ e	۳۷۷۸ a	۸۲۶ a
۲۰	۱۰۰	۱۲۴/۲ cde	۱۴/۶۷ bc	۲/۳۳۳ cd	۱۸۴/۳ d	۲۱۸۸ cd	۲۹۴/۴ d
۲۰	۱۵۰	۱۵۳/۲ bc	۱۶/۶۷ b	۳/۳۳۳ bc	۱۷۶/۷ d	۲۶۰۴ bc	۴۸۶/۱ b
۲۰	۲۰۰	۱۶۰/۱ bc	۱۸/۰۰ ab	۴/۳۳۳ ab	۲۵۵/۰ b	۲۷۲۲ b	۶۲۷/۸ b
۴۰	۱۰۰	۱۴۵/۲ bcd	۱۷/۳۳ ab	۳/۳۳۳ bc	۲۳۰/۷ c	۱۱۲۹ f	۲۹۱/۶ d
۴۰	۱۵۰	۱۹۰/۶ b	۱۹/۰۰ ab	۳/۳۳۳ bc	۲۷۸/۳ a	۱۳۸۵ ef	۲۹۱ d
۴۰	۲۰۰	۲۳۹/۷ a	۲۳/۳۳ a	۴/۶۶۷ a	۲۹۵/۳ a	۱۸۲۵ de	۳۸۶ c

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

نتیجه‌گیری

می‌رسد این افزایش جهت تعدیل اثرات منفی تنش خشکی بر عملکرد بلال کافی نبود زیرا عملکرد بلال با پوشش، بدون پوشش و بدون پوشش استاندارد در کم آبیاری ۲۰ درصد به ترتیب در حدود ۲۳/۵، ۲۲ و ۱۱ درصد و در کم آبیاری ۴۰ درصد به ترتیب ۵۲، ۵۳ و ۳۳ درصد نسبت به تیمار عدم کم آبیاری کاهش داشت. همچنین محتوی نسبی آب به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم گزینش ارقام مقاوم به خشکی به‌طور معنی‌دار کاهش داشت؛ بنابراین کم آبیاری در مورد رقم ذرت شیرین مورد مطالعه جهت تولید ذرت بیجه در منطقه مورد آزمایش توصیه نمی‌شود. مگر این‌که مزیت صرفه‌جویی ۲۰ و ۴۰ درصدی در میزان آب مصرفی بیش از کاهش در میزان عملکرد محصول باشد. نکته دیگر این‌که در هر سه سطح کم آبیاری، افزایش

در مناطقی که کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده تولید محصولات زراعی است کم آبیاری می‌تواند یک راهکار مهم جهت صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی باشد. به شرطی که اثرات تنش خشکی حاصل از کم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار عملکرد محصول به‌عنوان مهم‌ترین هدف تولید نگردد. در پژوهش حاضر محتوی اسمولیت‌های سازگار پروپیلین، کربوهیدرات‌های محلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز، پراکسیداز و سوپر اکسید دیسموتاز که از مهم‌ترین مکانیسم‌های گیاهان جهت کاهش اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن تولیدشده در شرایط تنش می‌باشد افزایش یافت؛ اما به نظر

مجله به زراعی نهال و بذر. ۲-۲۵(۴): ۴۶۳-۴۴۹.
 رحیمی، ز.، حسین پناهی، ف. و سی‌وسه مرده، ع. ۱۳۹۸. بررسی اثرات سطوح تنش خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و برخی صفات فیزیولوژیکی در ارقام حساس و مقاوم به خشکی (*Triticumaestivum*L.). نشریه پژوهش‌های گندم. ۲(۱): ۸۶-۶۹

شادمند، ح. و افکاری، ا. ۱۳۹۷. اثر کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر برخی صفات بیوشیمیایی و محتوی نسبی آب ارقام لوبیا تحت تنش خشکی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۱۰(۳۹): ۶۱-۷۷.

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- ماتیت و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی- پژوهشی خشک بوم. ۱(۱): ۳۳-۲۵.

صابری، ح.، نبوی کلات، س. م. و صدراآبادی حقیقی، ر. ۱۳۹۹. اثر کم آبیاری و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glycinmax* L.) در استان هرات افغانستان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۲): ۵۲۱-۵۱۱.

عزیزی، ف. و ماهرخ، ع. ۱۳۹۱. تأثیر تراکم بوته در تاریخ‌های مختلف کاشت بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین رقم KSC403su. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰(۴): ۷۷۳-۷۶۴.

فاضلی رستم پور، م.، تقه‌الاسلامی، م. ج. و موسوی، س. غ. ر. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر تنش خشکی و سوپر جاذب بر محتوی نسبی آب و شاخص کلروفیل برگ و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه ذرت. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۲(۱): ۳۱-۱۹.

فریدونی، م. ج. و فرجی، ه. ۱۳۹۶. تأثیر سطوح مختلف آبیاری و روش‌های کشت بر بهره‌وری مصرف آب و عملکرد کمی و کیفی ذرت شیرین (*Zea mays varsaccharata*). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۴): ۱۰۱۴-۱۰۰۱.

قاضیان تفرشی، ش.، آینه بند، ا.، توکلی، ح.، خاوری خراسانی، س. و جلینی، م. ۱۳۹۲. تأثیر کم آبیاری و روش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت شیرین (*Zea mays varsaccharata*). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۱(۱): ۱۷۸-۱۷۱.

میرزایی، م.، معینی، ا. و قناتی، ف. ۱۳۹۲. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین و قندهای محلول گیاهچه‌های کلزا

تراکم گیاه تا سطح ۲۰۰ هزار گیاه در هکتار سبب افزایش عملکرد بلال شد. لذا به نظر می‌رسد جهت تعیین تراکم مطلوب در شرایط تنش لازم بوده است که تراکم‌های بالاتری در نظر گرفته شود.

منابع

ابریشم‌چی، پ.، گنجعلی، ع. و ساکنی، ه. ۱۳۹۱. بررسی صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ژنو تیپ‌های نخود (*Cicerarietinum*L.) در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش‌های حیوانات ایران. ۳(۲): ۳۰-۱۷.

احمدپور، ع.، فرهادی بانسوله، ب. و قبادی، م. ۱۳۹۶. بررسی اثرات کم آبیاری بر روند رشد و خصوصیات کمی و کیفی ذرت دانه‌ای در کرمانشاه. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۶(۳): ۹۹-۱۱۱.

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 رنگ-دانه‌های فتوسنتزی در ژنو تیپ‌های سورگوم دانه‌ای (*Sorghumbicolor*L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۳(۱۵): ۶۹۰-۶۷۶.

باوی، ه.، مرادی تلاوت، م. ر.، سیادت، س. ع. و کوچک زاده، ا. ۱۳۹۵. اثر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین و ذرت بچه KSC403. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۱): ۱۰۸-۱۰۰.

بروجرد نیا، م.، بی‌همتا، م. ر.، عالمی سعید، خ. و عبدوسی، و. ۱۳۹۵. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، نشیت الکترولیت‌ها و محتوی آب نسبی (*Phaseolusvulgaris*L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۸(۲۹): ۴۱-۲۳.

پازکی، ع. ر. ۱۳۹۴. اثر مصرف ژنولیت بر میزان بیومارکرهای تخریب، محتوی نسبی آب برگ، نشیت الکترولیت‌ها و کلروفیل کلزا تحت شرایط تنش کم‌آبی. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۸): ۴۴-۳۳.

جلیلیان، ع.، قبادی، ر.، شیرخانی، ع. و فرنی، ا. ۱۳۹۳. بررسی اثرات نیتروژن و تنش خشکی بر اجزای عملکرد، عملکرد و کیفیت دانه ذرت سینگل کراس ۷۰۴. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۱۰۲: ۱۶۰-۱۵۱.

رحمانی، ا.، خاوری خراسانی، س. و نبوی کلات، س. م. ۱۳۸۸. بررسی اثر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات زراعی ذرت سالادی رقم KSC403su.

- Bates L.S., Waldran, R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. *Plant Soil*. 39: 205-207.
- Beers, S. and Sizer, I. W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Biology Chemical*. 195: 133-140.
- Blokhina, O., Virolainen, E. and Fagerstedt, K. V. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91(2): 179-194.
- 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.
- Demiral T. and Turkan, I. 2004. Does exogenous glycine betaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment? *Journal of Plant Physiology*. 161: 1089-1100.
- Dutta, D., DuttaMudi, D. and Thentu, T. L. 2015. Effect of irrigation levels and planting geometry on growth, cob yield and water use efficiency of baby corn (*Zea mays* L.). *Journal of Crop and Weed*. 11(2): 105-110.
- Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. and Waive, J. G. 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I postanthesis changes in Internode dry matter. *Crop Science*. 46: 735-746.
- Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W. and He, X. 2020. Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two Adonis species in Northeast China. *Scientia Horticulture*. 259: 108795.
- Graça, J. P. D., Rodrigues, F. A., Farias, J. R. B., Oliveira, M. C. N. D., C.B. Hoffmann-Campo and, C. B. and Zingaretti, S. M. 2010. Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. *Brazilian Journal of Plant*. 22(3): 189-197.
- Grieve, C. M. and Grattan, S. R. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*. 70: 303-307.
- Heath, R. L. and Packer, L. 1968. Photo peroxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 125: 189-198.
- Hemeda, H. M. and Kelin, B. P. 1990. Effects of naturally occurring antioxidants on peroxidase activity of vegetable extracts. *Journal of Food Science*. 55 (1): 184-185.
- Hojati, M., Modarres-Sanavy, A. M. M., Karimi, M. and Ghanati, F. 2011. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologia Plantarum*. 39: 90.
- (*Brassic napus* L.). *مجله زیست‌شناسی ایران*. ۲۶(۱): ۹۸-۹۰.
- میری، ح. ر. و زمانی مقدم، ع. ۱۳۹۳. کاربرد خارجی گلايسين بتائين به منظور کاهش اثرات تنش خشکی در ذرت (*Zea mays* L.). *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۲(۴): ۷۱۷-۷۰۴.
- نصر اصفهانی، م. ۱۳۹۲. تأثیر تنش خشکی بر رشد و سیستم آنتی‌اکسیدان در سه رقم نخود. *نشریه زیست‌شناسی گیاهی*. ۱۵(۱): ۱۲۴-۱۱۱.
- ولی زاده قلعه‌بیگ، ا.، نعمتی، س. ح.، تهرانی فر، ع. و امامی، ح. ۱۳۹۴. تأثیر سوپر جاذب A200، بنتونیت و تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و ویتامین‌ها در شرایط کشت گلخانه‌ای. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*. ۶(۳۱): ۱۶۷-۱۵۷.
- Agarwal, S. and Pandey, V. 2004. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. *Journal of Biology Plant*. 48: 555-560.
- Ajithkumar, P. and Panneerselvam, R. 2013. Osmolyte accumulation, photosynthetic pigment and growth of *Setaria italica* under drought stress. *Asian Pacific Journal*. 2: 220-224.
- Alscher, R. G., Erturk, N. and Heath, L. S. 2002. Role of superoxide dismutase (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *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.
- Anjum, S. A., Tanveer, M., Hussain, S., Bao, M., Wang, L. C., Khan, I., Ullah, E., Tung, S. A., Samad, R. A. and Shahzad, B. 2015. Cadmium toxicity in Maize (*Zeamays* L.): consequences on antioxidative systems, reactive oxygen species and cadmium accumulation. *Environmental Science and Pollution Research*. 22: 17022-17030.
- 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.
- Azarpanah, A., Alizadeh, O. and Dehghanzadeh, H. 2013. Investigation on proline and carbohydrates accumulation in *zeamays* L. under water stress condition. *Extreme life, Biospeology and Asterobiology, International Journal of the Bioflux Society*. 5(1): 42-54.
- Azizian, A. and Sepaskhah, A. R. 2014. Maize response to different water, salinity and nitrogen levels agronomic behavior. *International Journal of Plant Production*. 8(1): 107-130.

- Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*. 30: 105-111.
- Sekmen, A. H., Ozgur, R., Uzilday, B. and Turkman, I. 2014. Reactive oxygen species scavenging capacities of cotton (*Gossypiumhirsutum*) cultivars under combined drought and heat induced oxidative stress. *Environmental and Experimental Botany*. 99: 141-149.
- Shakarami, G. and Rafiee, M. 2009. Response of corn (*Zea mays* L.) to plant pattern and density in Iran. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 5(1): 69-73.
- 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 (*Oryzasativa* L.). *NotulaeBotanicaeHortiAgrobotaniciCluj-Napocoa*. 38 (1): 139-148.
- Simova-Stoilova, L., Demirevska, K., Petrova, T., Tsenov, N. and Feller, U .2008. Antioxidative protection in wheat varieties under severe recoverable drought at seedling stage. *Plant Soil and Environment*. 54(12): 529-536.
- Szabados, L. and Savoure, A. 2009. Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*. 2: 89-97.
- Toscano, T., Farieri, E., Ferrante, A. and Romano, D. 2016. Physiological and biochemical responses in two ornamental shrubs to drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1-12.
- Verma, S. and Dubey, R. S. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*. 164: 645-655.
- 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 putrescine treatment under drought stress. *BiologiaPlantarum*. 50 (4): 635-640.
- 33(1): 105-112.
- Irigoyen, J. H., Emerich, D.W. and Sanchez Diaz, M. 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*medicago sativa*) plants. *PhysiologiaPlantarum*. 84: 55-66.
- 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.
- Kirnak, H., Dogan, E and Turkoglu. 2010. Effect of drip irrigation intensity on soybean seed yield and quality in the semi-arid Haran Plain, Turkey. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8(4): 1208-1217.
- Laspina, N. V., Groppa, M. D., Tamaro, M. L. and Benavides, M. P. 2005. Nitric oxide protects sunflower leaves against Cd-induced oxidative stress. *Plant Science*. 169: 323-330.
- Liang, X., Zhang, L., Natrajan, S. K. and Beker, D. F. 2013. Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid Redox Signal* 20. 19(9): 998-1011.
- Morris, T., Hamilton, G. and Harney, S. 2000. Optimum plant population for fresh market sweet corn in the Northeastern United States. *Horticulture and Technology*. 10: 331-333.
- Muneer, S., Xia, W.Y., Ming, Y.J., AbrarFaiz, M., Hao, J., Michael, I. T., Yi, Zh., Chen, R. and Xiang, H. J. 2018. Regulated deficit irrigation impact at various growth stages and productivity of soybean. *Journal of Natural Sciences*. 8(12): 18-28.
- Oneto, C. D., Otegui, M. E., Baroli, I., Benzec, A., Faccio, P., Bossio, E., Blumwald, E, and Lewi, D. 2016. Water deficit stress tolerance in maize conferred by expression of an isopentenyltransferase (IPT) gene driven by a stress and maturation-induced promoter. *Journal of Biotechnology*. 220: 66-77.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161(11): 1189-1202.
- Ritchie, S.W., Nguyen, H.T. and Halody, A.S. 1990.

Effect of Deficit Irrigation Stress and Plant Density on Antioxidant Enzymes Activity, Compatible Osmolytes, Relative Water Content and Yield of Baby Corn (Pashan Cultivar)

Bazrgar, G¹, S. M. Nabavi Kalat^{2*}, S. Khavari³, M. Ghasemi⁴, A. R. Kelidari⁵

Received: Aug. 26, 2021

Accepted: Sep. 15, 2021

Abstract

In order to study the effect of deficit irrigation and plant density on antioxidant enzymes activity, compatible Osmolytes, relative water content and yield of baby corn (Pashan cultivar) a field experiment based on randomized complete block design (RCBD) arranged in split-plot 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. Irrigation deficit at three levels (0 (Full irrigation), 20 and 40% less than the irrigation requirement) was considered as the main plots and plant density at three levels (100, 150 and 200 thousand plants/ha) were considered at the sub plots. Analysis of variance showed that the effect of deficit irrigation on all variables, effect of plant density on relative water content, husked cob yield, dehusked cob yield and dehusked standard cob yield and interaction between of two factors on all variables (Expect: relative water content and superoxide dismutase activity) were significant. The results showed that with increasing deficit irrigation (increasing stress) and increasing plant density, the relative water content decreased. Also, with increasing deficit irrigation, superoxide dismutase activity increased. Mean comparison of traits under influence of two factors showed that with increase of deficit irrigation and plant density proline content, soluble carbohydrates and the activity of catalase and peroxidase enzymes increased due to increased drought stress and intraspecific competition. Husked cob yield, dehusked cob yield and dehusked standard cob yield decreased due to of deficit irrigation. But at all levels of deficit irrigation, cob yield increased with increasing plant density. In general, the results showed that drought stress increased the content of compatible osmolytes and the activity of antioxidant enzymes in the tested cultivar, but this increase was not sufficient to reduce the effects of stress on yield.

keywords: Catalase, Cob yield, Proline, Superoxide dismutase

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agricultural Sciences, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

3- Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Center of Khorasan Razavi, Mashhad, Iran

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Sciences, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

5- Ph.D. Ministry Of Agriculture-Jahad, Land Affairs Organization of Iran, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: sm_nabavikalat@yahoo.com)