

ارزیابی پاسخ فیزیولوژیکی و مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدان ارقام ذرت (*Zea mays L.*) به تنش شوری

داور ملازم*

ایران، آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آستارا، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۸

چکیده

تنش شوری یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که بسیاری از فرآیندهای رشدی، تغذیه‌ای، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بمنظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر روی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ارقام مختلف ذرت، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طراحی شد. فاکتور اول سه سطح شوری شامل صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و فاکتور دوم تعداد هفت رقم ذرت شامل Sc302, Zp684, Sc700, Sc301, Bc662, Simon, Sc704 بودند. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش سطح شوری، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ (LRWC) و محتوای کلروفیل بطور معنی‌داری کاهش و محتوای پروکلین، سدیم و فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش معنی‌داری یافت. اثر برهمکنش رقم در شوری برای غلظت سدیم، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، پروکلین و فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود. بیش‌ترین آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در Sc301 و Zp684 بترتیب با ۵/۲۲ و ۳/۶۲ واحد بر دقیقه گرم وزن تر برگ به دست آمد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین محتوای نسبی آب برگ با محتوای کلروفیل a و کلروفیل b، نسبت دو کلروفیل، محتوای سدیم برگ و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و محتوای پروکلین به دست آمد. نتایج نشان داد که ارقام مقاوم از طریق افزایش مواد اسمولیتی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش شوری القاء شده را تحمل نمودند و از میان آن‌ها رقم Zp684 مقاوم و رقم Simon حساس به شوری شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: ذرت، پروکلین، آنزیم‌های پاداکسایشی، تنش شوری

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۱۵۲۵۴۹۶، پست الکترونیکی: Davar.Molazem@iau.ac.ir

مقدمه

خاک شده است (۴۸، ۳۶). در حالی که بیش از ۹۵۰ میلیون هکتار از اراضی زراعی تحت تأثیر تنش شوری می‌باشد، روند شوری خاک در حال افزایش است (۴۷). بر اساس نظر فلاورز و همکاران (۱۹) در حدود دو میلیون کیلومترمربع از ۱۵ میلیون کیلومترمربع زمین‌های زراعی دنیا و در حدود ۳۰ تا ۵۰ درصد از زمین‌های آبی متأثر از شوری هستند. بیش از شش درصد از زمین‌های جهان تحت اثر شوری قرار دارند و سطح آن در سراسر جهان و ایران بطور مرتب افزایش می‌یابد و مورد توجه پژوهش-

تنش شوری یک عامل اصلی محدود کننده تولید کشاورزی است. تغذیه بیش از ۹/۳ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ یک چالش بزرگ خواهد بود. تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۵۰، تولید کشاورزی باید بیش از ۶۰ درصد نسبت به سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۷ افزایش یابد (۱۸). با این حال تولید کشاورزی همیشه با شرایط تنش مانند شوری تهدید می‌شود. در سال‌های اخیر، تغییرات آب‌وهوایی، جریان برگشتی آب دریا، نفوذ آب‌های زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی مانند آبیاری و مصرف کود باعث افزایش شوری

مضر ناشی از تنش شوری می‌شود (۸،۲۱،۳۳،۴۳). برای ممانعت از اکسیداسیون اجزای سلولی، نگهداری دائمی سلول‌ها در سطوح پایین رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS) به‌وسیله مکانیسم‌های متنوعی از آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی ضروری است (۲۷) قسمت عمده خشتی‌سازی مقادیر بالای ROS، در گیاهان به‌وسیله یک سیستم حفاظتی از آنزیم‌هایی همچون، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)، اسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT) صورت می‌پذیرد (۷).

شکیب‌آیلار و همکاران (۴۱) در مطالعه اثر تنش شوری بر صفات فیزیولوژیک ارقام ذرت، نشان‌دادند که اکثر صفات از جمله، وزن‌تر، پرولین، کارتنوئید و محتوای کلروفیل تحت تأثیر شوری اختلاف معنی‌داری دارند. هافمن و همکاران (۲۳) پایداری تحمل ذرت به شوری را در ایالت کالیفرنیا آمریکا بررسی نمودند و گزارش کردند که میانگین شوری محلول خاک در محدوده ریشه در طول فصل رشد تا ۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش عملکرد نشد، ولی به‌زای هر واحد افزایش بیشتر شوری عملکرد دانه به‌میزان ۱۴٪ کاهش می‌یابد. این کاهش ناشی از تراکم بوته و جرم دانه بود.

ذرت (*Zea mays L.*)، گیاهی از خانواده غلات با دوره رشد نسبتاً کوتاه و عملکرد مناسب است که در سطح جهانی از نظر سطح کشت پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد (۱۶). با توجه به نیاز کشور برای تولید ذرت دانه‌ای و افزایش روزافزون خاک‌های شور مطالعه مقاومت واریته‌های مختلف ضروری است. از اهداف این تحقیق اندازه‌گیری خصوصیات مهم فیزیولوژیکی تحمل در برابر شوری از جمله فعالیت پرولین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و مقایسه آن‌ها در ارقام مختلف ذرت جهت شناسایی پاسخ ژنوتیپ‌ها و استفاده از آن‌ها در برنامه‌های اصلاحی می‌باشد.

های داخلی قرار گرفته است (۳۵). ایران با ۲۷ میلیون هکتار اراضی شور در مقام اول کشورهای این ناحیه قرار دارد و پس از آن هند و پاکستان بترتیب با ۲۳/۸ و ۱۰/۵ میلیون هکتار مقام دوم و سوم را دارند (۳۴). شوری خاک از رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصول می‌کاهد (۴۶) و باعث بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان می‌شود (۱۲). عمده‌ترین اثر تنش شوری بر گیاهان، جلوگیری از رشد می‌باشد که ممکن است بدلیل کاهش تقسیم سلولی، عدم تعادل یونی، کاهش جذب آب، اختلال در جذب عناصر، اثرات یون-های سمی به‌ویژه سدیم، اختلال در جذب، احیاء و متابولیسم نیترژن و پروتئین، بسته شدن جزئی یا کلی روزه‌ها و کاهش کارایی فتوسنتز باشد (۲۴). بنابراین انتخاب و شناسایی خصوصیات گیاهان متحمل به تنش شوری برای افزایش تولید گیاهان زراعی در مناطق شور بسیار حائز اهمیت می‌باشد (۸). وجود یون‌های سدیم و کلر به‌صورت محلول در خاک شور، علاوه بر بروز سمیت در گیاه، با سایر عناصر غذایی برای جذب توسط گیاه رقابت کرده و موجب کاهش عملکرد محصول می‌گردند (۳۰). نقش مثبت پرولین در تعدیل فشار اسمزی نسبت به شوری و خشکی توسط محققین در گیاهان مختلف مانند ذرت (۳۷) یونجه (۲۲) و آرابیدوپسیس (۲۵) گزارش شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، گیاهان هالوفیت بواسطه انتقال مناسب یون‌های سمی مانند سدیم و کلر به‌درون فضای واکوئلی خود قادر به تحمل شرایط تنش می‌شوند (۴۴) و تنظیم اسمزی در سطح سیتوپلاسم نیز با تولید حل‌شونده‌های سازگار و تجمع آن‌ها در سیتوپلاسم میسر می‌شود. تنش شوری بطور معنی‌دار سبب کاهش بیوماس، LRWC و غلظت رنگدانه‌های کلروفیل در گیاه ذرت شد (۸،۵،۲۴،۳۳). گزارش متعددی مبنی بر افزایش میزان غلظت سدیم در گیاه ذرت تحت تنش شوری شده است (۴،۳۲). افزایش میزان پرولین و گلاسیسین بتائین در گیاه ذرت یک واکنش در برابر تنش شوری است که سبب کاهش اثرات

مواد و روشها

به شوری‌ها محاسبه و در تیمارهای مربوطه اعمال شد. قبل از کاشت، بذور با محلول سه درصد هیپوکلریت سدیم به مدت دو دقیقه ضدعفونی و سپس کشت شد. برای انجام آزمایش از گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۵×۳۵ استفاده شده و به نسبت ۱:۲:۲:۳ به ترتیب با خاک برگ، ماسه بادی، کود دامی پوسیده و خاک زراعی پر شد. کاشت در ۲۳ اردیبهشت انجام شد و تا شهریورماه نمونه برداری صورت گرفت. نمونه برداری برای صفات فیزیولوژیکی از برگ میانی و یکسان برای همه تیمارها انجام و بلافاصله با ازت مایع پودر شده و در لوله‌های درب‌دار و داخل فریزر نگهداری شد. آبیاری بر اساس روال معمول در شرایط محیطی و نیاز گیاهی اعمال گردید و برای ممانعت از کاهش غلظت نمک، از زیرگلدانی استفاده شد تا غلظت نمک در طول آزمایش ثابت بماند.

آزمایش در سال زراعی ۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل اجرا گردید. بمنظور بررسی کلیه عوامل، آزمون تجزیه خاک انجام گرفت، تا عوامل محدود کننده رشد در داخل گلدان به‌خوبی شناسایی شده و به خصوص در مورد هدایت الکتریکی هیچ‌گونه محدودیت اولیه وجود نداشته باشد (جدول ۱). هفت رقم ذرت تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی مغان شامل Sc302, Sc704, Simon, Bc662, Sc700, Zp684 و Sc301 و سطوح شوری صفر (شاهد)، ۱۰۰ و ۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم خالص در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در گلدان کاشته شده و اعمال شوری بعد از آزمایش کلی خاک بمنظور بررسی عوامل محدودکننده رشد، درصد عصاره اشباع آن تعیین شده و مقدار نمک مورد نیاز برای رسیدن

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌های آزمایشی

انواع خاک (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نی (درصد)	نیتروژن (درصد)	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
۴۶	۰/۵۲	۷/۸	۰/۸۶	۹/۳	۴۵۳	۴۹	۱۵	۳۰	۱۸

محتوای نسبی آب برگ (LRWC): بر اساس روش یاماساکی و دیلنبرگ (۴۵) برگ‌ها از قسمت‌های میانی گیاه انتخاب شده و بعد از تمیز کردن با ترازوی یک‌هزارم وزن گردید تا وزن‌تر به دست آید. برای محاسبه وزن اشباع برگ برگ‌ها در آب مقطر دی‌یونیزه قرار داده شد و بعد از حالت آماس برگ‌ها تمیز شده و دوباره وزن شد. برای محاسبه وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در نهایت بر اساس نسبت کسر وزن تر برگ از وزن خشک برگ به کسر وزن اشباع برگ از وزن خشک برگ محاسبه گردید.

سنجش محتوای رنگیزه‌های کلروپلاستی: محتوای کلروفیل a و b یک هفته قبل از رسیدگی کامل در آزمایشگاه بر اساس روش آرنون (۶) انجام گردید. جذب نوری عصاره نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu مدل UV-120-02 ساخت ژاپن) در طول موج ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت شد و غلظت کلروفیل بر اساس روابط موجود تعیین شد.

میلی‌گرم کلروفیل a در هر گرم وزن تر:

$$[0.15 \times (\text{جذب } 645) - 2/69 \times (\text{جذب در } 663)] \times 12/7$$

میلی‌گرم کلروفیل b در هر گرم وزن تر:

$$[0.15 \times (\text{جذب } 663) - 4/69 \times (\text{جذب در } 645)] \times 22/9$$

نرم فیلتر گردیده و محلول صاف شده و به ظروف میکروتیوب مخصوص سانتریفوژ یخچال‌دار منتقل گردید (تمام مراحل فوق در داخل یخچال انجام شد). محلول مورد نظر به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 4°C با قدرت $20000 \times g$ سانتریفوژ گردید. محلول رویی برای ارزیابی فعالیت آنزیم مورد استفاده قرار گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: با روش جیانوپولوتیس و رایز (۲۰)، ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش شامل ۱۳ میلی‌مول متیونین، ۷۵ میکرومول نیتروبلوتترازولیوم کلراید (NBT)، ۲ میکرومول ریپوفلاوین، ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات ($\text{pH}=7/8$) و ۰ تا ۵۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود. واکنش با روشن کردن لامپ فلورسنت شروع گردید. 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 با خاموش کردن لامپ‌ها واکنش خاتمه یافت. سپس محلول واکنش تا اندازه‌گیری جذب، توسط پارچه سیاه پوشانده شد. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. به یکی از ظروف آنزیمی اضافه نگردید و در نتیجه حداکثر رنگ ایجاد گردید. یکی از ظروف نیز تحت تابش نور قرار نگرفته و هیچ رنگی ایجاد نشد و به‌عنوان بلانک در نظر گرفته شد. یک واحد فعالیت SOD به‌عنوان فعالیت آنزیم لازم برای ۵۰٪ ممانعت از احیاء فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم کلراید در نظر گرفته شد و با روش آسادا و همکاران (۷) محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز: با روش چانس و مهلی (۱۳)، ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش کاتالاز شامل ۱۵ میلی‌مول H_2O_2 ، ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات ($\text{pH}=7$) و ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود. واکنش با افزودن آنزیم شروع گردید و کاهش جذب H_2O_2 در طی ۱ دقیقه در ۲۴۰ نانو متر ثبت گردید. یک واحد کاتالاز به‌عنوان مقدار

سنجش محتوای سدیم: بعد از نمونه‌برداری از برگ‌ها، برای سنجش محتوای سدیم، نمونه‌ها در داخل پاکت‌های مجزا قرار گرفته و در آون تحت دمای 70°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد سپس ۱۰۰ میلی‌گرم ماده خشک را در هاون پودر کرده و در هشت میلی‌لیتر اسید نیتریک به مدت یک ساعت و در دمای 100°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس محلول مورد نظر از کاغذ صافی عبور داده و محتوای غلظت سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر (Eppendorf Elex 6361) اندازه‌گیری شد (۴).

سنجش محتوای پرولین: برای اندازه‌گیری محتوای پرولین از روش باتس و همکاران (۱۱) استفاده شد. $0/5$ گرم ماده تر برگ را با هاون له کرده و درون یک تیوب با 10 میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک 3% مخلوط و نمونه درون یخ قرار داده شد. تیوب را در 15000 دور به مدت 10 تا 15 دقیقه در دمای 4°C درجه سانتریفوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا شود. دو میلی‌لیتر آن را برداشته و روی آن 2 میلی‌لیتر اسید نینهدرین و 2 میلی‌لیتر اسید استیک خالص اضافه کرده و پس از قرار دادن در حمام آب گرم 100°C درجه به مدت یک ساعت به آب یخ منتقل شد. 4 میلی‌لیتر تولوئن به آن اضافه شده و پس از 20 ثانیه تکان شدید جذب بخش رنگی بالایی در طول موج 520 نانومتر خوانده شد.

استخراج و سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان: بافت برگ داخل هاون حاوی ازت مایع پودر گردیده و سپس استخراج آنزیمی به روش سایرام و همکاران (۳۹) انجام گردید. برای استخراج آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز $0/5$ گرم پودر در 10 میلی‌لیتر بافر فسفات $0/1$ مولار سرد ($\text{pH}=7/5$) حاوی $0/5$ میلی‌مول اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید همگن شد. بمنظور استخراج اسکوربات پراکسیداز نیز $0/5$ گرم پودر در 10 میلی‌لیتر بافر فسفات $0/1$ مولار سرد ($\text{pH}=7$) حاوی $0/5$ میلی‌مول اسید اسکوربیک همگن شد. مخلوط فوق با استفاده از پارچه

آنزیم لازم برای اکسید کردن ۱ میلی‌مول H_2O_2 در دقیقه در نظر گرفته شد.

سنجش فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز: طبق روش ناکانو و آسادا (۳۱)، ۳ میلی‌لیتر محلول واکنش اسکوربات پراکسیداز شامل ۵۰ میلی‌مول بافر فسفات (pH=۷)، ۰/۵ میلی‌مول اسکوربیک اسید، ۰/۱ میلی‌مول H_2O_2 و ۱۰۰ میکرولیتر آنزیم استخراجی بود. فعالیت APX با کاهش جذب اسید اسکوربیک طی یک دقیقه در ۲۹۰ نانومتر محاسبه شد. فعالیت آنزیم‌ها به صورت فعالیت ویژه (میلی-گرم وزن‌تر برگ بر واحد آنزیم) بیان شد.

تجزیه آماری: کلیه محاسبات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و MSTATC انجام شد. بعد از تست نرمال بودن داده‌ها تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده به صورت مجزا صورت گرفته و ضریب تغییرات نیز محاسبه شد. در صورت زیاد بودن این ضریب اقدام به تبدیل داده شده و مقایسات میانگین تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۰/۵ انجام شد.

نتایج

تجزیه واریانس داده‌های ارتفاع بوته ارقام ذرت نشان داد که اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین سطوح مختلف شوری و ارقام ذرت وجود داشت (جدول ۲). افزایش سطوح شوری بطور معنی‌داری باعث کاهش ارتفاع بوته شد. این کاهش برای شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی-مولار نسبت به بدون تنش بترتیب ۲۴/۹ و ۶۱/۱۳ درصد بود. ژنوتیپ‌ها از نظر ارتفاع بوته اختلافات معنی‌دار شدیدی داشتند و ژنوتیپ Sc301 با ۱۰۲/۶ سانتی‌متر بیش‌ترین و واریته Simon با ۱۷/۷۸ سانتی‌متر کم‌ترین مقدار ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۳). نتایج حاصل از تجزیه داده‌های غلظت سدیم نشان داد که بین سطوح مختلف شوری و ژنوتیپ‌های ذرت در سطح احتمال پنج درصد

اختلاف معنی‌دار وجود داشت. همچنین اثر برهمکنش رقم در شوری برای غلظت سدیم معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش شوری بطور معنی‌داری باعث افزایش میزان غلظت سدیم در هیبریدهای ذرت مورد مطالعه شد. مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم در شوری نشان داد که بیش‌ترین غلظت سدیم ۱۸/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مربوط به Zp684 در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید و کم‌ترین غلظت سدیم با ۶/۳۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک مربوط به S.c704 در شرایط بدون تنش بود، البته رقم Simon در تنش ۵۰ میلی‌مولار سدیم کلرید از بین رفت (شکل ۱). با توجه به جدول ۳ بین ارقام ذرت، سطوح مختلف شوری و برهمکنش رقم در شوری اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای محتوای نسبی آب برگ (LRWC) به دست آمد. تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار LRWC در ارقام ذرت مورد مطالعه شد. مقایسه میانگین برهمکنش رقم در شوری نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای نسبی آب در شرایط ۵۰ میلی-مولار نمک و در Zp684 با ۸۸/۹۷ درصد به دست آمد که با شرایط نرمال (۸۲/۰۶) و ۱۰۰ میلی‌مولار (۵۱/۳۱) اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار محتوای نسبی آب برگ هم در شرایط شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در S.c704 با ۲۶/۴۰ درصد بود (شکل ۱). کاهش محتوای نسبی آب برگ یک پاسخ عمومی به شرایط تنش اسمزی است. محتوای آبی برگ‌ها به عنوان فاکتوری برای تعیین سطح آب گیاه شناخته شده است که منعکس کننده فعالیت‌های متابولیکی در بافت‌هاست. تجزیه واریانس داده‌های محتوای پرولین نشان داد که بین ارقام ذرت در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار پرولین در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در Sc302 با ۵۳۷ میکرومول بر گرم وزن‌تر برگ و Zp684 با ۵۸۴/۴ میکرومول بر گرم وزن‌تر برگ به دست آمد. کم‌ترین مقدار پرولین در شوری ۱۰۰ و در Sc704 بود (شکل ۱).

Bc666 دیده شد که با ژنوتیپ‌های Sc301، Zp684، Sc302، Sc700 و Sc704 اختلاف معنی‌داری نداشت و کم-ترین محتوای کلروفیل a در Simon با ۰/۳۰۲۲ میلی‌گرم کلروفیل در هر گرم وزن تر برگ به دست آمد (جدول ۳).

تنش شوری موجب کاهش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل (a/b) در هیبریدهای ذرت شد. مقایسه میانگین کلروفیل a با آزمون دانکن یک اختلاف معنی‌دار بین تیمارها نشان داد. بیش‌ترین محتوای کلروفیل a در

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در ارقام ذرت تحت تنش شوری

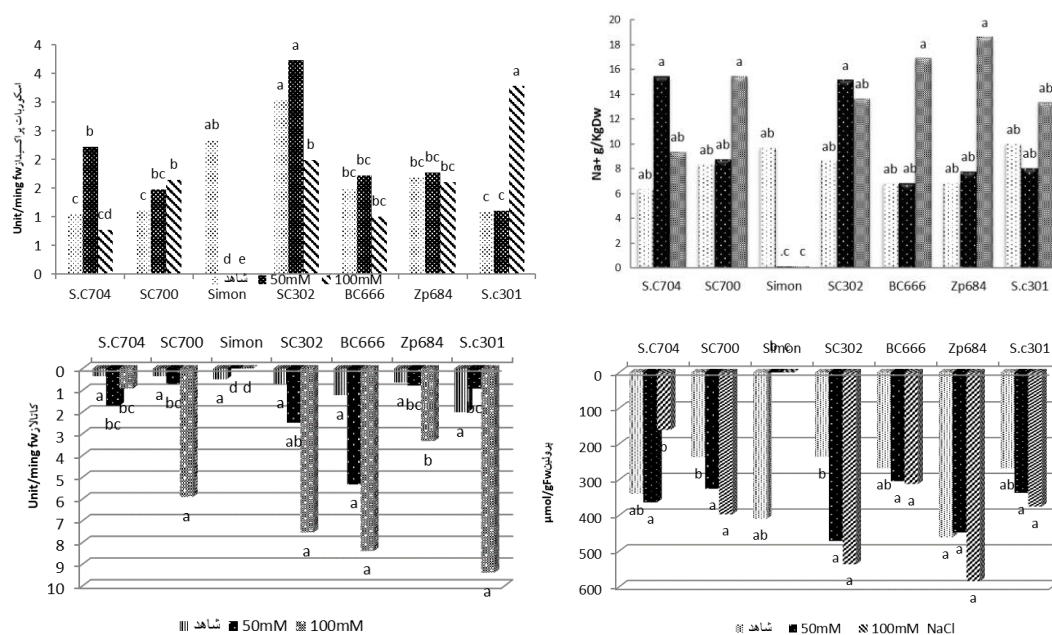
میانگین مربعات						نسبت کلروفیل‌ها (a/b)	کلروفیل b	کلروفیل a	ارتفاع بوته	درجه آزادی	منابع تغییر
سوپراکسید دیسموتاز	اسکوربات پراکسیداز	کاتالاز	پرویلین	Na ⁺	LRWC						
۰/۵۲۱	۰/۱۳۷	۰/۰۱۷	۶/۰۶۳	۰/۹۹۴	۱/۴۱۲	۰/۰۷۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۵۳۱/۶۱۹	۲	تکرار
۰/۰۹۲ns	۰/۰۹۷ns	۲/۸۸۶**	۱۰/۹۴ns	۱/۶۸۹*	۵۶/۲۹**	۰/۰۰۱**	۰/۱۸۶**	۰/۵۹۳**	۲۰۳۴۷/۶۲**	۲	شوری
۰/۹۵۸**	۰/۴۱۳**	۰/۸۲۰**	۱۰۲/۰۰۵**	۱/۸۵۲*	۳۴/۸۹۸**	۰/۲۳۱ ns	۰/۰۳۷ns	۰/۰۸ *	۷۴۳۳/۶۵ **	۶	رقم
۰/۱۲ns	۰/۲۷۸**	۰/۳۴۳ns	۴۹/۵۲۶*	۱/۲۰۴*	۱۱/۵۴۶**	۰/۳۷۶ ns	۰/۰۵۳ns	۰/۰۲۵ns	۲۴/۶۵۶ **	۱۲	شوری × رقم
۰/۲۲۵	۰/۱۰۱	۰/۲۵۰	۲۶/۴۰۵	۰/۹۲۴	۴/۶۱۴	۰/۲۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۲۹	۳۳۷/۸۳۶	۴۰	خطا
۲۷/۹۲	۲۱/۶۱	۲۰/۱۵	۲۷/۹۰	۲۶/۸۹	۲۸/۰۵	۱۷/۶۹	۲۲/۰۲	۱۶/۳۸	۲۵/۴۶		ضریب تغییرات/٪

ns، *، ** به ترتیب به مفهوم غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین ارقام به تفکیک سطوح شوری برای صفات مورد مطالعه

شوری (میلی‌مولار سدیم کلرید)	رقم	سوپراکسید دیسموتاز Unit/ming fw	سدیم برگ g/KgDw	LRWC (%)	نسبت کلروفیل a/b	کلروفیل b mg/gfw	کلروفیل a mg/gfw	ارتفاع بوته (cm)	کاتالاز Unit/ming fw	اسکوربات Unit/ming fw	پرویلین μmol/gFw
صفر	S.C704	۰/۵۴ a	۶/۳۷ab	۸۲/۲۱a	۳/۸۷ b	۰/۴۸۲ ab	۱/۲۷۷ a	۱/۲۶۷ a	۰/۳۵۶ a	۱/۰۴۱ c	۳۳۹/۹ ab
	SC700	۱/۴۰۳a	۸/۳۶ab	۸۵/۴۱ a	۳/۸۴۷ b	۰/۳۹۳ ab	۱/۲۷۷ a	۱/۲۲۷ a	۰/۳۵۳ a	۱/۱۱ c	۳۳۷/۳ b
	Simon	۰/۹۷ a	۹/۷ab	۷۸/۴۳a	۱/۸۴ ab	۰/۵۶ ab	۰/۸۸۶ ab	۵۳/۳۳ c	۰/۴۹۶ a	۲/۳۴ ab	۴۰۹/۷ ab
	SC302	۲/۱۰۰a	۸/۶۴ab	۸۲/۷۲a	۵/۵۷۳ a	۰/۲۱۰ b	۰/۹۷۶ ab	۱۰۰/۷ b	۰/۷۱ a	۲/۰۳۷ a	۳۲۶/۴ b
	BC666	۰/۳۳۳ a	۶/۸۰۳ab	۸۱/۹۲a	۱/۶۹۳ b	۰/۷۵۶ a	۱/۱۸۳ ab	۱/۲۳۷ a	۱/۲۳ a	۱/۵۱ bc	۲۶۸/۱ ab
	Zp684	۱/۷۹۰a	۶/۸۷ab	۸۲/۸۶a	۱/۵۷۷ b	۰/۷۵۶ a	۱/۰۱۷ ab	۶۷/۳۳ c	۰/۶۶ a	۱/۶۹ bc	۴۶۱/۹ a
S.c301	۱/۸۷۷a	۹/۹۹ab	۷۷/۳۰a	۰/۸۱۶ b	۰/۸۳۳ a	۰/۸۷۳ ab	۱۱۴/۳ ab	۲/۰۱۷ c	۱/۰۸۵ c	۲۶۸/۵ ab	
۵۰Mm	S.C704	۰/۶۲ cd	۱۵/۴۶a	۸۶/۱۷ a	۳/۸۴۲ b	۰/۹۹۶ a	۹/۸ ab	۹/۸ ab	۱/۷۰ bc	۲/۲۳ b	۳۶۲/۸ a
	SC700	۲/۱۰۵bc	۸/۷۷۷ab	۸۷/۵۵a	۲/۲۴ b	۰/۳۹۶ abc	۰/۴۴۳ b	۹/۱۳۳ ab	۰/۷۱ bc	۱/۴۸ bc	۳۲۵/۶ a
	Simon	۰/۰۰۰ e	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ b	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ b
	SC302	۱/۹۳ bc	۱۵/۱۷a	۸۴/۸۱a	۱/۹۳۳ b	۰/۶۶ ab	۰/۶۶ b	۸۲/۳۳ b	۲/۴۹۷ ab	۲/۸۳ a	۴۷۱/۸ a
	BC666	۰/۵۵ cd	۶/۸۷ab	۸۲/۸۷ a	۲/۱۲۰ b	۰/۵۶۳ ab	۱/۱۲ a	۱۰۳ a	۵/۳۴ a	۱/۷۲۵ bc	۳۰۴/۴ a
	Zp684	۶/۳۷۳a	۷/۷۹ab	۸۸/۹۷ a	۳/۱۰۷ b	۰/۲۷۳ bc	۰/۴۶ b	۶۱ c	۰/۷۸ bc	۱/۸۸ bc	۴۴۷/۹ a
S.c301	۲/۱۶۷ab	۸/۰۷۷ab	۸۶/۸۲ a	۶/۸۰ a	۰/۱۱ c	۰/۱۱ c	۶۶/۳۳ ab	۰/۹۳ bc	۱/۱۱۲ c	۳۳۷/۱ a	
۱۰۰Mm	S.C704	۰/۸۳۶ b	۹/۴۰۳ab	۲۶/۴۰ c	۳/۸۵۷ bc	۰/۸۳۶ b	۰/۱۷۳ bc	۲۳/۶۷ d	۰/۹۳ bc	۰/۷۸ cd	۱۶۱/۱ b
	SC700	۱/۵۵۷b	۱۵/۴۵a	۷۹/۲۸ a	۶/۴۳ b	۰/۳۰۶ ab	۰/۴۶۶ ab	۵۰/۳۳ b	۵/۹ a	۱/۶۵ b	۳۹۷/۳ a
	Simon	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ c	۰/۰۰۰ e	۰/۰۰۰ d	۰/۰۰۰ e	۰/۰۰۰ c
	SC302	۱/۵۴۷ b	۱۳/۶۸ab	۵۵/۵۶ b	۱/۶۹۳ bc	۰/۲۰ ab	۰/۳۳۶ ab	۲۰ cd	۰/۷۵۴ a	۱/۹۹ b	۵۳۷ a
	BC666	۰/۶۴۳b	۱۶/۹۲a	۵۷/۱۰ b	۲/۵۱ bc	۰/۵۶۳ a	۰/۵۶۳ a	۴۴/۳۳ bc	۸/۴۰ a	۱/۸۰۲ bc	۳۱۶/۶ a
	Zp684	۲/۶۳a	۱۸/۶۲a	۵۱/۳۱ b	۸/۲۰۳ a	۰/۳۲۶ b	۰/۳۲۶ b	۳۰ cd	۲/۳۴ b	۱/۶۱ bc	۵۸۴/۴ a
S.c301	۵/۲۲ a	۱۳/۳۶ab	۸۱/۳۹ a	۱/۶۹۷bc	۰/۵۹۶ a	۰/۵۶۳ a	۹۷ a	۹/۴ a	۲/۲۹ a	۳۷۵/۴ a	

حروف غیر مشابه نشانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ است



شکل ۱- میانگین غلظت سدیم، فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، فعالیت آنزیم کاتالاز و پرولین در ارقام ذرت تحت تنش شوری

(حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد)

حذف گردید. مقایسه میانگین ارقام به تفکیک شوری نشان‌داد که در سطح صفر اختلاف معنی‌داری بین واریته‌ها دیده نشد، اما با افزایش شوری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار به‌دست آمد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و در ارقام SC301 و Zp684 بترتیب با ۵/۲۲ و ۳/۶۲ واحد بر دقیقه گرم وزن‌تر برگ به‌دست آمد. کم‌ترین آنزیم در شرایط نرمال و در BC666 دیده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز و اسکوبات پراکسیداز بین همه ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثرات متقابل شوری در ژنوتیپ برای فعالیت آنزیم اسکوبات پراکسیداز معنی‌دار بود. فعالیت آنزیم کاتالاز در شوری‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش شوری خاک شدیداً افزایش یافت و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز با ۵/۰۷۲ (گرم دقیقه برواحد) به‌دست آمد. بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز در BC666 با ۴/۹۸۸ واحد بر دقیقه گرم وزن‌تر برگ دیده شد که با ژنوتیپ‌های

از نظر صفت کلروفیل b بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری دیده نشد اما بیش‌ترین و کم‌ترین محتوای کلروفیل b بترتیب در Simon و BC666 به‌دست آمد. از نظر نسبت بین کلروفیل‌ها اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها دیده نشد. بیش‌ترین نسبت مربوط به Zp684 با ۴/۲۶۲ و کم‌ترین نسبت مربوط به Simon با ۱/۳۱۳ بود. تجزیه واریانس داده‌های فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و اسکوبات پراکسیداز نشان‌داد که بین ارقام ذرت در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۲). بین غلظت‌های مختلف شوری از نظر سوپراکسید دیسموتاز اختلاف معنی‌داری دیده نشد، اما بیش‌ترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار نمک به‌دست آمد. با این وجود در این مطالعه فعالیت آنزیم در کولتوارهای حساس افزایش نشان نداد. فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با افزایش تنش شوری عموماً در تمامی ژنوتیپ‌ها افزایش پیدا کرد. البته ژنوتیپ Simon در ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار از بین رفته و

فعالیت این آنزیم در شوری ۱۰۰ و در Sc704 به دست آمد (شکل ۱).

تجزیه همبستگی بین صفات: تجزیه همبستگی بین ارتفاع بوته با صفت محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، اسکوربات پراکسیداز و پرولین همبستگی مثبت و معنی داری نشان داد (جدول ۴). همبستگی مثبت و معنی داری بین محتوای نسبی آب برگ با کلروفیل a، کلروفیل b، نسبت دو کلروفیل، سدیم برگ و آنزیم‌های کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و پرولین به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که تجمع پرولین به عنوان یک اسمولیت، محتوای نسبی آب برگ را افزایش داده است. بین کلروفیل a با کلروفیل b همبستگی مثبت و معنی داری وجود داشت. کلروفیل b با نسبت بین دو کلروفیل همبستگی منفی معنی داری داشت. بین تجمع سدیم در برگ و فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و پرولین همبستگی مثبت و معنی داری به دست آمد. به عبارتی با افزایش تنش شوری، فعالیت آنزیم‌ها نیز افزایش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی داری بین آنزیم کاتالاز با اسکوربات پراکسیداز و پرولین وجود داشت. بین اسکوربات پراکسیداز با پرولین همبستگی مثبت و معنی دار ۰/۶۰۶ به دست آمد.

Sc301، Sc302 و Sc700 اختلاف معنی داری نداشت. با افزایش شوری فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافته و در ۱۰۰ میلی مولار به حداکثر رسید. مقایسه میانگین ارقام به تفکیک شوری در سطح ۵۰ و ۱۰۰ میلی مولار نمک اختلاف معنی داری بین واریته‌ها نشان داد. بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز اندازه‌گیری شده در Sc301 در ۱۰۰ میلی مولار نمک بود که با Sc302، Bc666 و Sc700 اختلاف معنی داری نداشت. کمترین فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط نرمال و در Sc704 و Sc700 بترتیب با ۰/۳۵۶۷ و ۰/۳۵۳۳ واحد بر دقیقه گرم وزن تر برگ به دست آمد فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز اختلاف معنی داری نشان داد و بیشترین فعالیت این آنزیم در Sc302 با ۲/۹۲۱ واحد بر دقیقه گرم وزن تر برگ به دست آمد که با Sc301 اختلاف معنی داری نداشت اما با بقیه ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی داری داشت. مقایسه میانگین ارقام به تفکیک شوری از نظر فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز، اختلاف معنی داری در هر سه غلظت نمک را نشان داد. بیشترین فعالیت این آنزیم بترتیب در غلظت شوری ۵۰ میلی مولار در Sc302 با ۳/۷۳ و در غلظت ۱۰۰ میلی مولار در Sc301 با ۳/۲۸۳ واحد بر دقیقه گرم وزن تر برگ به دست آمد. کمترین

جدول ۴- همبستگی بین صفات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی در ارقام مختلف ذرت

	پرولین	اسکوربات	کاتالاز	سدیم برگ	a/b نسبت کلروفیل	کلروفیل b	کلروفیل a	LRWC	ارتفاع بوته
سوپراکسید دیسموتاز	۰/۴۴۶**	۰/۳۴۵**	۰/۱۸۲	۰/۳۹۵**	۰/۳۶**	-۰/۰۸۵	۰/۰۷۱	۰/۳۵۸**	۰/۱۷۹
ارتفاع بوته	۰/۳۰۸*	۰/۳۶۷**	۰/۰۵۴	۰/۲۳۶	۰/۱۷۱	۰/۳۷۲**	۰/۰۵۹**	۰/۷۹۹**	۱
LRWC	۰/۷۱۲**	۰/۵۹۸**	۰/۲۹۲*	۰/۵۵۵**	۰/۳۱۹*	۰/۳۸۱**	۰/۵۶۸**	۱	
کلروفیل a	۰/۲۶۱*	۰/۲۶۴*	۰/۰۲۱	۰/۰۶۲	۰/۱۸	۰/۳۴۱**	۱		
کلروفیل b	۰/۱۷۷	۰/۲۵۷*	۰/۰۳۹	۰/۰۷۶	-۰/۳۹۹**	۱			
a/b نسبت کلروفیل	۰/۴۱۸**	۰/۱۳۱	۰/۰۵	۰/۴۳۷**	۱				
سدیم برگ	۰/۷۵۴**	۰/۵۲۵**	۰/۵۶۸**	۱					
کاتالاز	۰/۴۹۲**	۰/۳۷۷**	۱						
اسکوربات	۰/۶۰۶**	۱							

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌های متعددی جهت بررسی تأثیر تنش شوری روی ارقام مختلف ذرت انجام گرفته است، این گزارش‌ها حاکی از کاهش معنی‌دار بیوماس گیاهچه‌های ذرت تحت تنش شوری است بطوریکه این میزان کاهش بین ۱۰ تا ۲۸ درصد بوده است (۱۵). دلیل اصلی کاهش رشد گیاه تحت تنش شوری بدلیل اختلال در فرایندهای تولید انرژی مانند فتوسنتز و تنفس می‌باشد. کاهش جذب آب در ریشه و نبود تعادل بین جذب آب و تعرق از دیگر عوامل کاهش رشد در اثر تنش شوری بشمار می‌آیند که سبب کاهش پتانسیل آب در آوند چوبی و کاهش شیب پتانسیل آب بین سلول‌های درحال توسعه و منبع آب می‌شود (۲۹). چاتها و همکاران (۱۴) در بررسی ارقام ذرت در شرایط نرمال و شوری ۶ و ۱۲ دسی‌زیمنس بیان داشتند که تنش شوری بطور معنی‌داری باعث کاهش رشد گیاه و محتوای نسبی آب برگ شد. همچنین سبب تجمع پرولین، سدیم و افزایش فعالیت آنزیم‌های اسکوربات پراکسیداز و کاتالاز گردید. نعمت‌پور و همکاران (۳۲) با ارزیابی اثر شوری در دو رقم ذرت بیان داشتند که تنش شوری بطور معنی‌داری باعث افزایش میزان غلظت سدیم و کاهش معنی‌داری غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئید در گیاه ذرت می‌شود که با نتایج این پژوهش همسویی نشان داد. آزاد و همکاران (۱) با بررسی برهم‌کنش شوری و سالیسیلیک نشان دادند که در تیمار شاهد با افزایش شوری از صفر به هشت دسی‌زیمنس غلظت کلروفیل a، b بطور معنی‌داری کاهش یافت. اگرچه سدیم می‌تواند به افزایش فشار تورژسانس کمک کند اما نمی‌تواند در فعالیت‌های ویژه همانند فعالسازی آنزیم‌ها و سنتز پروتئین برای ایجاد رشد کافی جایگزین یون پتاسیم گردد. تنش شوری باعث افزایش میزان مواد اسمولیتی در هیبریدهای ذرت شد که احتمالاً پاسخی برای کاهش اثرات مضر ناشی از تنش شوری است. شاکی و همکاران (۴۰) نشان دادند که با افزایش شوری به ۲۰۰ میلی مولار

محتوای پرولین افزایش یافت. الیو و همکاران (۵) با بررسی اثر تنش اسمزی بر میزان اسمولیت‌های آلی در ذرت گزارش کردند که با افزایش میزان تنش اسمزی پرولین در گیاهچه‌های ذرت نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. افزایش این اسمولیت‌های آلی نوعی پاسخ به تنش اسمزی است که از طرف گیاه به کاهش پتانسیل آب در محیط ریشه است. عمرانی و محرم‌نژاد (۳۳) اظهار کردند که تنش شوری باعث افزایش غلظت مواد اسمولیتی از قبیل پرولین در گیاهچه‌های ذرت می‌شود که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت. کاهش معنی‌دار کلروفیل کل برگ‌ها همراه با افزایش شوری، سبب ناتوانی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید آسیب‌های ناشی از تنش می‌شود (۲۴). راسخ و همکاران (۲) در بررسی اثر شوری بر ویژگی‌های گیاه بابونه نشان دادند که تنش شوری منجر به افزایش غلظت پرولین شد و در ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مقدار تجمع پرولین در بافت رویشی بطور معنی‌داری و تا حدود سه برابر نسبت به گیاه شاهد افزایش یافت. تونا و همکاران (۴۴) نیز کاهش غلظت رنگدانه‌های کلروفیلی در ذرت تحت تنش شوری را گزارش کردند. تنش شوری منجر به افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد چون اسید آبسازیک و اتیلن می‌شود که تحریک‌کننده آنزیم کلروفیل‌لاز هستند و کلروفیل‌ها، تحت تأثیر این آنزیم تجزیه می‌شوند (۲۴، ۲۱). شمس پیکانی و فرزانی سپهر (۴۲) در مطالعه ارقام ذرت و گندم در تنش شوری بیان داشتند که با افزایش شدت تنش، فعالیت آنزیم کاتالاز و تجمع پرولین افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار آن‌ها در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار ثبت شد. کاهش غلظت کلروفیل در تنش شوری همچنین می‌تواند به دلیل سست شدن اتصال کلروفیل با پروتئین‌های کلروپلاستی در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلر، تحت تنش شوری باشد (۸، ۲۱). عمرانی و محرم‌نژاد (۳۳) با مطالعه چهار هیبرید ذرت تحت تنش شوری عنوان کردند که شوری بطور معنی‌دار باعث کاهش میزان LRWC می‌شود و هیبریدهای مقاوم دارای LRWC نسبتاً

محتوای کلروفیل و مقدار آب نسبی برگ شده ولی باعث افزایش تجمع پرولین، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز می‌شود. مطالعات متعددی مبنی بر ارتباط بین صفات بیوشیمیایی در ذرت شده است (۳۳). ریفت و احمد (۳۸) در مطالعه ارقام ذرت مقاوم و حساس به شوری نشان دادند که با افزایش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز در ریشه، برگ و ساقه ارقام مقاوم بطور معنی‌داری افزایش یافت در حالی‌که در ارقام حساس افزایش شوری باعث کاهش فعالیت آنزیم شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که صفات آگرونومیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک تحت تنش شوری در اکثر صفات موجب تغییراتی می‌شود و اختلافات آنها معنی‌دار می‌باشد. تنش شوری موجب تجمع مواد اسمولیتی مانند پرولین شده و محتوای نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد. این عمل یک سازوکار مهم در جهت پاسخ به تنش شوری در گیاه ذرت بود که به موجب آن باعث کاهش اثرات ناشی از تنش شوری شد. تنش شوری و تجمع نمک باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، اسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. در ارقام ذرت مورد مطالعه Zp684 مقاوم و رقم Simon حساس به شوری شناسایی شدند.

تقدیر و تشکر

نتایج این مقاله از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل مستخرج شده است. بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و ریاست دانشکده کشاورزی و بیوتکنولوژی بخاطر فراهم نمودن هزینه و امکانات لازم برای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

بالایی برخوردار بودند. کاهش در LRWC می‌تواند به علت کاهش دسترسی به آب در شرایط تنش باشد، یا اینکه سیستم‌های ریشه‌ای به دلیل کاهش سطح جذب، قادر به جبران آب از دست‌رفته توسط تعرق نباشند (۱۵،۴۴). اختلاف معنی‌داری بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و غلظت شوری خاک مشاهده شد. فاطما و همکاران (۱۷) با اعمال شوری در دو هیبرید ذرت نشان دادند که محتوای کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد، که در مقایسه با شاهد این کاهش بین ۶ تا ۳۳ درصد است؛ این در حالی است که افزایش تنش سبب افزایش غلظت یون سدیم بین ۸ تا ۱۲ درصد شد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اختلاف معنی‌داری نشان داد. رستمی و همکاران (۳) در بررسی مقاومت به شوری در گندم نشان دادند که با افزایش غلظت شوری اختلافات معنی‌داری در پروتئین محلول، قند محلول، پرولین و کلروفیل a و b به دست آمد. شوری فعالیت SOD بین ۲۱ تا ۲۵ درصد، فعالیت CAT بین ۵۴ تا ۵۷ درصد و فعالیت APX ۴۷ تا ۴۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. آروز و همکاران (۱۰) در بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در سه کولتیوار ذرت نشان دادند که در بین شاهد با سطوح شوری اختلاف معنی‌داری در بین کولتیوارها دیده می‌شود ولی بین سطوح شوری ۵۰، ۱۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ اختلاف معنی‌داری دیده نشد، غلظت‌های بالای شوری باعث از بین رفتن گیاه شده بود. مطالعات کوکا و همکاران (۲۶)؛ آتار و همکاران (۹) نشان دادند که فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در کولتیوارهای مقاوم به شوری بشدت افزایش می‌یابد. لونت و همکاران (۲۸) در بررسی فعالیت برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و شاخص‌های رشدی در گیاه ذرت نشان دادند که تنش نمک باعث کاهش وزن خشک،

منابع

بالنگو (*Lallemantia royleana*). مجله پژوهش‌های گیاهی (علمی)، ۳۱(۲)، ۲۰۸-۲۲۰.

۱. آزاد، م، رستمی، م، قبولی، م، و موحدی، ز. (۱۳۹۷). برهمکنش تنش شوری و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک

- ۳- رستمی، م.، جوادی، ا.، و حسینی زاده، س. م. (۱۳۹۹). القای مقاومت به تنش شوری در بذرها با بدست آمده از بوته‌های گندم محلول پاشی شده با نانواکسید روی و آهن. مجله پژوهش‌های گیاهی (علمی)، ۳۳(۳)، ۵۵۳-۵۶۵.
۲. راسخ، ف.، روشن، و.، وزیر، آ.، و خلدبرین، ب. (۱۳۹۸). اثر تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه داروئی بابونه (*Matricaria chamomilla*). مجله پژوهش‌های گیاهی (علمی)، ۳۲(۳)، ۵۸۳-۵۹۵.
15. Akram, M., Malik, A., Asfrat, Y. Saleem, F., and Hussain, M. (2007). Competitive seedling growth and K⁺/Na⁺ ratio of different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*, 39(7): 2553-2563.
16. Aliu, S., Rusinovci, I., Fetahu, S., Gashi, B., Simeonovska, E. and Rozman, L. (2015). The effect of salt stress on the germination of maize (*Zea mays* L.) seeds and photosynthetic pigments. *Acta Agriculturae Slovenica*, 105: 85-94.
17. Arnon. D. I. (1949). copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: 1-15.
18. Asada, K., Takahashi, M. and Nagate, M. (1974b). Assay and inhibitors of spinach superoxide dismutase. *Agr. Biol. Chem.* 38: 471-473.
19. Ashraf. M. (2009). Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advance*, 27: 84-93.
20. Athar, H., Khan, A. and Ashraf, M. (2008). Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. *Environ. Exp. Bot.*, 63: 224-231
21. Azooz, M.M., Ismail, A.M. and Abou Elhamd, M.F. (2009). Growth, Lipid Peroxidation, and Antioxidant Enzyme Activities as a Selection Criterion for the Salt Tolerance of Maize Cultivars. *International journal of agriculture & biology*. 11-1-21-26.
22. Bates, L. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205- 207.
23. Carpici, E.B., Celik, N., Bayram, G. and Asik, B.B. (2010). The effects of salt stress on the growth, biochemical parameters, and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(41): 6937-6942.
24. Chance, B. and Maehly, C. (1955). Assay of catalase and peroxidases. *Methods Enzymol* 11: 764-775
14. Chattha, M.U., Hassan, M.U.U., Khan, I., Nawaz, M., Shah, A.N., Sattar, A., Hashem, M., Alamri, S., Aslam, M.T., Alhathloul, H.A.S., Hassan, M.U. and Qari, S.H. (2022). Hydrogen peroxide priming alleviates salinity-induced toxic effects in maize by improving the antioxidant defense system, ionic homeostasis, photosynthetic efficiency, and hormonal crosstalk. *Mol Biol Rep* 49, 5611-5624 <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07535-6>
15. Chaum, S. and Kirdmanee, C. (2010). Salt tolerance screening in six maize (*Zea mays* L.) genotypes using multivariate cluster analysis. *Philippine Agricultural Scientist*, 93: 156-164.
16. FAO, (2019). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
17. Fatima, A., Hussain, S., Hussain, S., Ali, B., Ashraf, U., Zulfiqar, U., Aslam, Z., Al-Robai, S.A., Alzahrani, F.O., Hano, C., El-Esawi, M.A. (2021). Differential Morphophysiological, Biochemical, and Molecular Responses of Maize Hybrids to Salinity and Alkalinity Stresses. *Agronomy*, 11, 1150. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061150>
18. Fita, A., Rodriguez-Burruezo, A., Boscaiu, M., Prohens, J. and Vicente, O. (2015). Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: a new paradigm for increasing food production. *Front. Plant Sci.* 6: 978. doi: 10.3389/fpls.2015.00978
19. Flowers, T.J., Hajibagheri, M.A. and Clipson, N.J.W. (1986). Halophytes. *Quart.Rev.Biol.* 61: 313-337.
20. Giannopolities, C.N. and Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiol.* 59: 309-314.
21. 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(12): 909-930.
22. Ginzberg, I., Stein, H. and Kapuling, Y. (1998). Isolation and characterization of two different cDNAs of $\Delta 1$ - pyrroline- carboxylate synthase in alfalfa, transcriptionally induced upon salt stress. *Plant Mol. Biol.* 38: 755-764.
23. Hoffman, G.J.E., Mass, V., Prichard, T.L. and Meyer J.L. (1983). Salt tolerance of corn in the Sacramento-San Joaquin Delta of California. *Irrig. Sci.* 4: 31-44.

24. Jiang, C., Zu, C., Lu, D., Zhu, Q., Shen, J., Wang, H. and Li, D. (2017). Effect of exogenous selenium supply on photosynthesis, Na⁺ accumulation, and antioxidative capacity of maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Scientific Reports*, 7: 1-14 (42039).
25. Kiyosue, T., Yoshiba, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Shinozaki, K. (1996). A nuclear gene encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved in proline metabolism, is upregulated by proline but downregulated by dehydration in *Arabidopsis*. *Plant Cell*. 8: 1323-1335.
26. Koca, H., Bor, M., Özdemir, F. and Türkan, İ. (2007). The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes, and proline content of sesame cultivars. *Environ. Exp. Bot.*, 60: 344-351.
27. Larson, R.A. (1988). The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 27: 969-978
28. Levent, T., Kaya, C., Dikilitas, M. and Higgs, D. (2007). The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters, and nutritional status in maize plants. *Environmental and Experimental Botany* 62 (2008) 1-9
29. Mansour, M.M.F., Salama, K.H.A., Ali, F.Z.M., Abou Hadid, A.F. (2005). Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. Cultivars differing in salt tolerance. *gen. Appl. Plant physiology*, 2005, 31(1-2), 29-41
30. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.
31. Nakano, Y. and Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiol*. 22: 867-880.
32. Nematpour, A., Kazemeini, S.A. and Edalat, M. (2015). Effect of salinity on some growth and physiological characteristics of two cultivars of sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*). *Plant Production Technology*, 7(2): 153-165 (In Persian).
33. Omrani, B. and Moharramnejad, S. (2018). Study of salinity tolerance in four maize (*Zea mays* L.) hybrids at the seedling stage. *Journal of Crop Breeding*, 9: 79-86 (In Persian).
34. Ozturk, M., Ozdemir, F., Eser, B., Adiyahsi, O.I. and Ilbi, H. (1995). Studies on the salt-hormone interactions in the germination and seedling growth of some vegetable species. In: Khan, M. A., and Ungar, I. A. (Eds.). *Biology of salt-tolerant plants*. University of Karachi. Pakistan 59-64.
35. Pirasteh-Anosheh, H., Ranjbar, G., Pakniyat, H. and Emam, Y. (2016). Physiological Mechanisms of Salt Stress Tolerance in Plants; an Overview p. In: Azooz, M. M. and P. Ahmad (Eds.). *Plant Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress*. John Wiley and Sons. 141-160.
36. Qian, D., Xiong, S., Li, M., Tian, L., and Qu, L.Q. (2021). OsFes1C, a potential nucleotide exchange factor for OsBiP1, is involved in the ER and salt stress responses. *Plant Physiol*. 187, 396-408. doi: 10.1093/plphys/kiab263
37. Rayapati, P.J. and Stewart, C.R. (1991). Solubilization of a proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. *Plant Physiol*. 95: 787-791.
38. Riffat, A., Ahmad, M.S.A. (2020). Regulation of antioxidant activity in maize (*Zea mays* L.) by exogenous application of sulfur under saline conditions. *Turk J Bot*. 44: 62-75. doi:10.3906/bot-1902-15
39. Sairam, R.K., Deshmukh, P.S., Saxena, D.C. (1998). Role of antioxidant systems in wheat genotype tolerance to water stress. *Biologia Plantarum* 41: 387-394
40. Shaki, F., Ebrahimzadeh, M.H. and Niknam, V. (2018). Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. *Current Plant Biology*. 13: 16-22.
41. Shakib Aylar, A., Farzaneh, S., Moharramnejad, S., Seyed Sharifi, R., Hasanzadeh, M. (2021). Response of Some Physiological Traits in Maize Cultivars to Salinity Stress. *jcb*. 13 (40): 173-180
42. Shams Peykani, L. and Farzami Sapehr, M. (2018). 'Effect of chitosan on antioxidant enzyme activity, proline, and malondialdehyde content in *Triticum aestivum* L. and *Zea mays* L. under salt stress conditions'. *Iranian Journal of Plant Physiology* 9 (1), 2661- 2670.
43. Solomon, M., Gedulovich, E., Mayer, A.M. and Mayber, P. (1986). Changes induced by salinity to the anatomy and morphology of excised pea roots in culture. *Ann. Bot*. 57: 811-818.
44. Tuna, A.L., Kaya, C., Altunlu, H. and Ashraf, M. (2013). Mitigation effects of non-enzymatic antioxidants in maize (*Zea mays* L.) plants under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 7(8): 1181-1188.

45. Yamasaki, S., Dillenburg, L.C. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. R. Bras. Fisiol. Veg. 11, 69-75.
46. Yang, Y., and Guo, Y. (2018a). Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt stress responses. *New Phytol.* 217, 523-539. doi: 0.1111/nph.14920
47. Yang, Y. and Guo, Y. (2018b). Unraveling salt stress signaling in plants. *J. Integr. Plant Biol.* 60, 796-804. doi: 10.1111/jipb.12689
48. Zhang, X., Shi, Z., Tian, Y., Zhou, Q., Cai, J., Dai, T. (2016). Salt stress increases the content and size of glutenin macropolymers in wheat grain. *Food Chem.* 197, 516-521. doi: 0.1016/j.foodchem.2015.11.008

Evaluation of Physiological Response and Defense Mechanism of Maize Antioxidant Enzymes to Salinity Stress

Molazem D.

Dept. of Plant Breeding and Biotechnology, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, I.R. of Iran

Abstract

Salinity stress is one of the most important abiotic stresses that affects many agronomic, nutritional, physiological, and biochemical processes of crops. In order to investigate the effect of different levels of salinity on morphological and physiological traits in different varieties of maize, a factorial experiment was designed based on a randomized complete block. The first factor was three salinity levels: zero, 50, and 100 mM sodium chloride, and the second factor was seven maize cultivars: Sc302, Zp684, Sc700, Bc662, Simon, Sc704, and Sc301. The results indicated that with increasing NaCl levels, plant height, LRWC, and chlorophyll pigment decreased significantly, and proline, sodium, and catalase increased significantly. interaction cultivar in salinity was significant for sodium concentration, plant height, LRWC, proline, and ascorbate peroxidase enzyme activity. The highest activity of superoxide dismutase enzyme was obtained at 100 mM salinity in Sc301 and Zp684 with 5.22 and 3.62 units/min gram of leaf wet weight, respectively. A positive and significant correlation was obtained between the LRWC with chlorophyll a, chlorophyll b, the ratio of two chlorophylls, leaf sodium and catalase enzymes, ascorbate peroxidase, and proline. Resistant cultivars to salinity stress tolerated induced salinity stress by increasing osmolality and antioxidant enzyme activity, and among them, the Zp684 resistant cultivar and Simon sensitive to salinity were identified.

Key words: Maize, Proline, Antioxidant enzymes, Salinity stress