

اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای

مزگان علی‌نیا^۱ و سید عبدالرضا کاظمینی^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۱۸)

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش شوری بر رشد، عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شیراز انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری آب آبیاری (۰/۴) شاهد، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور اصلی و سه رقم سورگوم علوفه‌ای (پگاه، اسپیدفید سفید و قرمز) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های ارتفاع بوته و سطح برگ شد. بیشترین وزن خشک علوفه در تمام سطوح شوری متعلق به رقم پگاه بود. نتایج نشان داد که با افزایش شوری در دو رقم پگاه و اسپیدفید قرمز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار بود، به طوری که در رقم پگاه با افزایش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب به میزان ۲/۱، ۴/۵ و ۲/۸ برابر افزایش نشان داد. با افزایش شوری تا سطح ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی ارقام اسپیدفید سفید، قرمز و پگاه به ترتیب به میزان ۱۰/۷، ۶/۸ و ۱/۷ برابر افزایش یافت و در ریشه ارقام مذکور به ترتیب به میزان ۹/۶، ۸/۱ و ۴/۷ برابر افزایش نشان داد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد یکی از مکانیزم‌های تحمل به شوری در رقم پگاه، جذب و انتقال کمتر سدیم به اندام هوایی در مقایسه با دو رقم دیگر باشد که در نتیجه این شاخص می‌تواند، به عنوان یکی از معیارهای مهم در ارزیابی تحمل به شوری در گیاه سورگوم مطرح شود.

واژه‌های کلیدی: فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، وزن خشک علوفه، نسبت سدیم به پتاسیم

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

*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kazemin@shirazu.ac.ir

مقدمه

همبستگی مثبت و معنی‌داری میان سلامت غشاء سلولی و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در ارزن ایتالیایی تحت تأثیر تنش شوری گزارش نمودند. تغییرات در میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت علاوه بر تغییرات یونی و تنظیم کننده‌های اسمزی می‌تواند به‌عنوان یکی از موارد تأثیرگذار تنش شوری بر گیاهان در نظر گرفته شود و با توجه به میزان حساسیت گونه گیاهی، مرحله رشد، شدت و مدت تنش، غلظت و فعالیت این نوع آنزیم‌ها تغییر خواهند کرد (۲۸). اندازه‌گیری یون‌های سدیم و پتاسیم و نسبت بین آنها می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرد (۳۳). به‌طور معمول، در غلظت‌های بالای نمک، میزان سدیم درون سیتوپلاسم کاهش می‌یابد و با ثابت ماندن غلظت یون پتاسیم، نسبت Na/K کاهش می‌یابد (۳۱). در زمان بروز تنش شوری، پراکسیداسیون القاء شده در غشای لیپیدی نشان‌دهنده آسیب در سطح سلولی می‌باشد و سطح مالون دی‌آلدئید تولید شده در طی این فرایند به‌عنوان یک شاخص از آسیب اکسیداتیو در نظر گرفته شده است (۱۰). افزایش در محتوای مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شوری در برنج (۱۰) گزارش گردیده است.

شور شدن زمین‌های زیر کشت گیاهان زراعی آبی و اختصاص این زمین‌ها جهت تولید محصول زراعی، کشاورزان را ملزم می‌نماید از گیاه علوفه‌ای مناسب متحمل به شوری استفاده نمایند. بنابراین با توجه به اهمیت و اطلاعات با ارزشی که از مطالعه نحوه رشد و پاسخ فیزیولوژیکی گیاه به تنش شوری در مدیریت بهینه گیاهان شورزیست فراهم می‌شود، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر شوری بر الگو رشد و واکنش ارقام سورگوم علوفه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر شوری بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و بیوشیمیایی سه رقم سورگوم علوفه‌ای پژوهشی در بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی

سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) بعد از گندم، برنج، ذرت و جو پنجمین غله مهم دنیاست. این گیاه بیشتر در مناطق گرم و خشکی که برای کشت ذرت مناسب نیست کشت می‌شود (۱۳). سورگوم نسبت به شوری خاک و آب آبیاری، به‌ویژه در موقع جوانه‌زنی نسبتاً مقاوم است. اما گسترش سطح برگ و جذب کربن، ارتفاع ساقه و تولید ماده خشک محدود می‌شود (۴۲). از سوی دیگر تنش شوری از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در حال حاضر حدود ۳۳ درصد زمین‌های زراعی آبی دنیا متأثر از تنش شوری می‌باشد (۲۱). در خاک‌های شور، سدیم مانع از جذب عناصر ضروری پتاسیم، کلسیم و منیزیم شده و باعث بروز کمبود عناصر ضروری مورد نیاز متابولیسم گیاه می‌شود (۲۷). لاسردا و همکاران (۲۴) بیان نمودند تنش شوری باعث کاهش شاخص‌های رویشی در گیاه سورگوم شد. رابینسون و همکاران (۳۵) کاهش زیست‌توده ۱۰ گونه گیاه علوفه‌ای را تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند. کاهش سطح برگ سریع‌ترین پاسخ گیاه به شوری است و با افزایش سطح شوری توسعه برگ‌ها متوقف می‌گردد (۳۲). اعمال تنش شوری در پایین‌ترین سطح (۵۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر) باعث کاهش شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک یولاف زراعی به‌ترتیب به‌میزان ۳۵ و ۵۲ درصد کاهش یافت و بعد از گذشت ۱۵ روز از اعمال تیمار شد و در بالاترین سطح شوری (۲۵۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر) به‌ترتیب به‌میزان ۹۱ و ۸۶ درصد در مقایسه با کنترل کاهش نشان داد، ضمن اینکه در این سطح شوری میزان سدیم و کلسیم تجمع یافته تا ۳۶ و ۷۹ درصد و میزان کاهش پتاسیم تا ۲/۹ برابر در مقایسه با کنترل به‌دست آمد (۴۵). مجموع اثرات تنش شوری، تنش اسمزی و یونی، منجر به وقوع تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی خواهد شد که ناشی از افزایش تولید انواع اکسیژن فعال (رادیکال سوپراکسید، پراکسید هیدروژن و رادیکال هیدروکسیل) است (۱۲). اسرینواسولا و همکاران (۴۱)

جدول ۱. نتایج برخی ویژگی‌های آزمون خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	EC (dS/m)	pH	سیلت (%)	رس (%)	شن (%)	فسفر (mg/kg)	پتاسیم (mg/kg)	نیتروژن کل (%)
سیلتي رسی	۰/۴۷	۷/۱۴	۴۸	۴۴/۷	۷/۳	۱۷	۴۵۰	۰/۱۲

در مرحله ظهور گل آذین نیز نمونه‌گیری از برگ پرچم جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب با استفاده از روش‌های بریتون و ماهلی (۵)، دهینداز (۱۱) و بولر و همکاران (۶) به دست آمد. تعیین غلظت پرولین در بافت برگ براساس روش بیتز (۳) و اندازه‌گیری عناصر سدیم و پتاسیم در برگ و ریشه نیز به روش آون (۳۰) انجام شد. در نهایت داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری 9.1 SAS تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیک

نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عامل شوری، رقم و برهمکنش آنها قرار گرفت (جدول ۲). رقم اسپیدفید قرمز در سطح شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر از بیشترین (۱۰/۹۱) و رقم اسپیدفید سفید در سطح شوری ۱۴ دسی‌زیمنس از کمترین شاخص سطح برگ (۱/۶۹) برخوردار بودند (جدول ۳). به‌طور کلی رقم اسپیدفید قرمز در سطح شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با رقم اسپیدفید سفید و پگاه به ترتیب به میزان ۲/۷ و ۲ برابر از شاخص سطح برگ بالاتری برخوردار بود و با افزایش سطح شوری به ۷ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب میزان ۱/۷ و ۱/۱ برابر و در بالاترین سطح شوری به میزان ۲/۴ و ۱/۲ برابر از شاخص سطح برگ بالاتری برخوردار بوده است. به عبارت دیگر شاخص سطح برگ اسپیدفید قرمز در بالاترین سطح شوری از برتری نسبی در مقایسه با سایر ارقام حتی در سطوح پایین‌تر شوری برخوردار بود (جدول ۳). کاهش سطح برگ اولین واکنش

دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز به صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. قبل از کاشت، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر انجام شد و برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

عملیات آماده‌سازی بستر بذر شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد ردیف‌های کاشت به طول ۲ متر و با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بود. بذر ارقام سورگوم با فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر روی پشته‌ها کاشت شدند. آبیاری کرت‌ها بسته به نوع خاک و شرایط اقلیمی هر ۱۰ - ۷ روز یک‌بار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح شوری آب آبیاری: ۰/۴، ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر (سطوح شور با استفاده از نسبت ۲ به ۱ نمک‌های NaCl و CaCl₂) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه رقم پگاه، اسپیدفید سفید و قرمز سورگوم علوفه‌ای به‌عنوان فاکتور فرعی در تاریخ ۹۳/۳/۱۴ کشت شدند.

تنش شوری براساس تیمارهای مربوطه در مخازن جداگانه تهیه و از مرحله ۴ برگی گیاهچه‌ها همراه با آب آبیاری به صورت کنترل شده وارد کرت‌ها شد که تا انتهای فصل رشد ادامه داشت. در تاریخ ۹۳/۷/۱۲ در مرحله ظهور گل آذین پس از حذف دو ردیف از طرفین هر کرت و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای کرت‌ها از سطحی در حدود ۴ مترمربع برداشت و صفات ارتفاع بوته، سطح برگ بوته‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta-T Device) اندازه‌گیری شد و شاخص سطح برگ نمونه‌ها محاسبه شد، وزن تر اندام هوایی نیز اندازه‌گیری شد و سپس بوته‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در خشک‌کن قرار داده و وزن خشک اندام هوایی با توزین آن توسط ترازوی دیجیتال تا دو رقم اعشار به دست آمد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر شوری و رقم بر شاخص‌های مورفولوژیک مورد بررسی سورگوم علوفه‌ای

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک	نسبت وزن تر به ساقه
تکرار	۳	۱/۰۰ ^{ns}	۵۱/۲۸ ^{ns}	۲۲۶۴/۸۰ ^{ns}	۱۸۹/۷۶ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{ns}
شوری	۲	۴۷/۴۷ ^{**}	۲۸۶۲۰/۷۵ ^{**}	۵۶۱۹۲۷/۴۶ ^{**}	۳۵۸۷۴/۰۷ ^{**}	۰/۰۰۴ [*]
خطای اصلی	۶	۰/۴۰ ^{ns}	۱۲/۷۸ ^{ns}	۱۶۹۸/۸۶ ^{ns}	۱۴۱/۳۴ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}
رقم	۴	۴۱/۹۰ ^{**}	۱۵۶۸/۰۸ ^{**}	۳۲۳۸۱/۸۶ ^{**}	۸۳۲/۸۷ ^{**}	۰/۰۰۸ ^{**}
شوری × رقم	۴	۱۱/۶۱ ^{**}	۱۶۳۵/۵۸ ^{**}	۱۳۶۴/۰۸ ^{ns}	۱۲۰۴/۸۲ ^{**}	۰/۰۰۱ ^{**}
خطا	۱۸	۰/۲۱	۱۰/۳۴	۱۵۳۲/۷۹	۶۶/۳۰	۰/۰۰۰۶
ضریب تغییرات (%)		۱۴/۶۳	۱/۷۰	۷/۳۰	۵/۴۴	۱۰/۳۹

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

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر برهمکنش شوری و رقم بر شاخص‌های مورفولوژیک سورگوم علوفه‌ای

شوری (dS/m)	رقم	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (cm)	وزن خشک اندام هوایی (g/m ²)	نسبت وزن تر برگ به ساقه
۰/۴	اسپیدفید سفید	۳/۹۶ ^{cd}	۲۲۸/۲۵ ^b	۲۱۸/۶۷ ^a	۰/۱۴ ^f
	اسپیدفید قرمز	۱۰/۹۱ ^a	۲۴۸/۰۰ ^a	۲۲۱/۰۵ ^a	۰/۳۱ ^b
	پگاه	۵/۰۰ ^b	۲۲۷/۰۰ ^b	۱۸۷/۴۷ ^b	۰/۲۰ ^e
۷	اسپیدفید سفید	۲/۴۳ ^{ef}	۱۸۱/۷۵ ^c	۱۴۰/۵۵ ^c	۰/۱۳ ^f
	اسپیدفید قرمز	۴/۱۷ ^{bc}	۱۷۱/۵۰ ^d	۱۳۳/۰۵ ^c	۰/۳۹ ^a
	پگاه	۳/۷۸ ^{cd}	۲۲۷/۷۵ ^b	۱۴۲/۰۷ ^c	۰/۲۴ ^{cd}
	اسپیدفید سفید	۱/۶۹ ^f	۱۲۲/۰۰ ^f	۷۷/۳۵ ^e	۰/۱۶ ^f
۱۴	اسپیدفید قرمز	۴/۰۴ ^{cd}	۱۴۳/۷۵ ^e	۱۱۲/۲۲ ^d	۰/۲۲ ^{de}
	پگاه	۳/۱۴ ^{de}	۱۴۵/۷۵ ^e	۱۱۴/۷۰ ^d	۰/۲۸ ^{bc}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی دار از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

افزایش شوری در گیاه سورگوم (۲۹) و گندم (۲۵) نیز گزارش شده است.

نتایج برهمکنش شوری و رقم نشان داد که در هر سه رقم با افزایش میزان شوری ارتفاع بوته سورگوم به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشینه ارتفاع سورگوم (۲۴۸ سانتی‌متر) در سطح شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر و رقم اسپیدفید قرمز به‌دست آمد

گیاهان به تنش شوری ملایم می‌باشد و می‌تواند به‌علت کاهش پتانسیل آب و تورژانس برگ همراه با پیری برگ‌ها و نکروزه شدن آنها در تنش شوری باشد (۲۶). همچنین کاهش سطح برگ و رشد سایر اندام‌های گیاهی در اثر افزایش شوری می‌تواند به‌دلیل تغییر میزان هورمون‌های رشد نیز باشد (۲۶). کاهش میزان فتوسنتز و محدود شدن گسترش سطح برگ با

توازن یونی در اثر تنش شوری از کاهش جذب یون‌های ضروری و انباشتگی یون‌های مضر و کم‌آبی ناشی از کاهش جذب آب که با کاهش تولید پروتئین، تعرق، انتقال یون و در نهایت کاهش محصول است، همراه می‌باشد (۲۲).

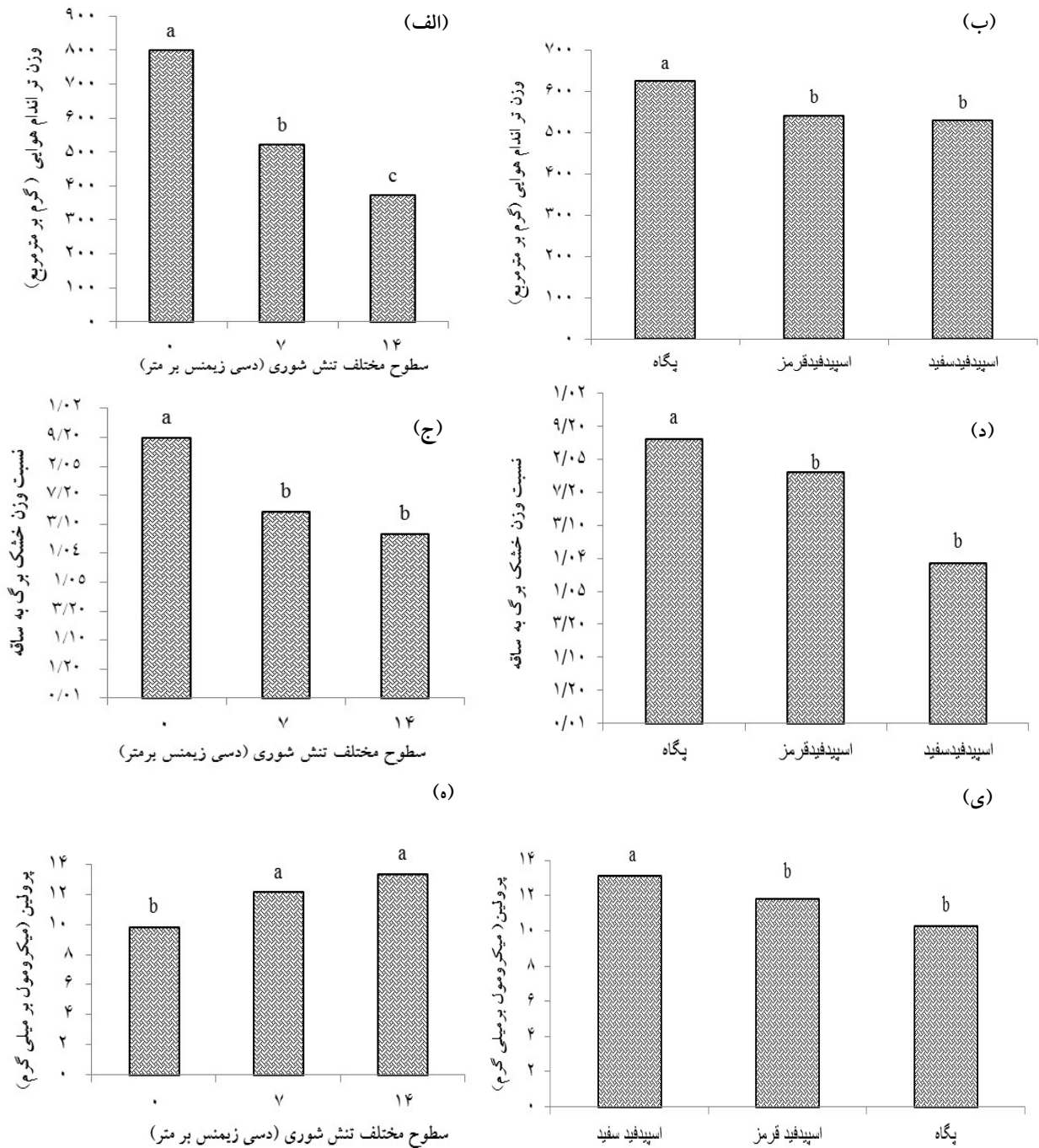
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت وزن تر و خشک برگ به ساقه تحت تأثیر فاکتورهای شوری و رقم قرار گرفتند و فقط اثر متقابل آن بر نسبت وزن تر برگ به ساقه معنی‌دار بود (جدول ۲). رقم پگاه در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برتر، بیشترین نسبت وزن تر برگ به ساقه را به خود اختصاص داد (جدول ۳). نسبت وزن خشک برگ به ساقه نیز با افزایش شوری روند کاهشی نشان داد و بیشترین میزان آن در رقم پگاه مشاهده شد (شکل ۱ ج و د)). کاهش وزن خشک سورگوم در اثر شوری به دلیل کاهش در اجزای عملکرد گیاه و کاهش تقسیم، رشد و تنفس سلولی توسط ایندولکار و مور (۱۹) گزارش شده است.

غلظت پرولین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که تنش شوری و رقم اثر معنی‌داری بر میزان پرولین داشتند (جدول ۴). ارقام اسپیدفید سفید و پگاه به ترتیب بیشترین (۱۳/۱۱) و کمترین (۱۰/۲۸) میزان پرولین را داشتند و با افزایش شوری از ۷ به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر غلظت پرولین به ترتیب به میزان ۲۳/۸ و ۱۰/۲ درصد در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۱ ه و ی)). به نظر می‌رسد افزایش فعالیت آنزیم‌های مسیر گلوتامات تحت تنش کلرید سدیم موجب افزایش تولید پرولین می‌شود، زیرا کلرید سدیم موجب تحریک ژن‌های سنتز کننده این آنزیم‌ها می‌شود (۴). نکته حائز اهمیت در مورد میزان پرولین، همبستگی معنی‌دار و منفی این شاخص با وزن خشک بوته در واحد سطح ($r = -0.53$) بود. با توجه به عملکرد بالاتر رقم پگاه در مقایسه با دو رقم دیگر و کمتر بودن میزان پرولین می‌توان بیان نمود که تجمع پرولین نوعی واکنش به تنش شوری است و به مقاومت گیاه در مواجهه با تنش

و کمینه ارتفاع بوته (۱۲۲ سانتی‌متر) در سطح شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در رقم اسپیدفید سفید به دست آمد (جدول ۳). در بیشترین سطح شوری اعمال شده رقم پگاه از برتری برخوردار بود و در مقایسه با دو رقم دیگر کمترین درصد کاهش (۳۵/۷۹ درصد) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). ارتفاع بوته از جمله صفاتی است که در گیاهان علوفه‌ای همواره مورد توجه بوده است (۳۹). افزایش ارتفاع به عنوان صفتی در ارتباط با عملکرد می‌تواند محققان را در تولید گیاهان علوفه‌ای در جهت افزایش میزان علوفه تولیدی کمک کند. برنستین (۴) گزارش کرد که تنش شوری تأثیر منفی بر ارتفاع گیاهان دارد، رشد را بسیار آهسته کرده و بنابراین گیاه پاکوتاه نگه داشته می‌شود. کاهش ارتفاع بوته می‌تواند نتیجه کاهش رشد سلول در اثر شوری و کاهش تخصیص اسیمیلات به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده به منظور رشد باشد (۲۴). رشد طولی ساقه نتیجه فعالیت مریستم میان بافتی گره‌ها است و طول میانگره‌ها به علت افزایش تعداد سلول‌ها و عمدتاً افزایش اندازه سلول‌ها افزایش می‌یابد که در اثر شوری تعداد و طول میانگره کاهش و در نهایت ارتفاع گیاه نیز کاهش می‌یابد (۱۸).

با افزایش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر وزن خشک اندام‌هوایی ارقام سورگوم اسپیدفید سفید، اسپیدفید قرمز و پگاه به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۶۴/۶۲، ۴۹/۲۳ و ۳۸/۸۱ درصد کاهش نشان داد و کمترین میزان آن متعلق به رقم پگاه بود (جدول‌های ۱ و ۳) که خود می‌تواند به دلیل تأثیر شوری بر فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه باشد و با نتایج کراین (۹) مطابقت دارد. وزن تر اندام هوایی نیز یک روند کاهشی با افزایش شوری نشان داد بیشترین میزان آن متعلق به رقم پگاه بود (شکل ۱ الف و ب)) که با نتایج راوسون و همکاران (۳۴) و لاولچلی و اپتسین (۲۳) مطابقت دارد. کریشنامورتی و همکاران (۲۲) بیان نمودند که ارتباط وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه و بیوماس سورگوم به شوری یکی از صفات مهم و قابل اطمینان جهت بررسی واکنش گیاهان به تنش شوری می‌باشد. برهم خوردن



شکل ۱. (الف) اثر شوری بر وزن تر اندام هوایی، (ب) اثر رقم بر وزن تر اندام هوایی، (ج) اثر شوری بر نسبت وزن خشک برگ به ساقه، (د) اثر رقم بر نسبت وزن خشک برگ به ساقه، (ه) اثر شوری بر میزان پرولین، (و) اثر رقم بر میزان پرولین. ستون‌های دارای حروف مشترک، فاقد اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد هستند.

جدول ۴. تجزیه واریانس اثر شوری و رقم بر شاخص‌های فیزیولوژیک مورد بررسی سورگوم علوفه‌ای

میانگین مربعات								منابع تغییرات
درجه آزادی	پرویلین	مالون دی آلدهید	سوپراکسید دیسموتاز	پراکسیداز	کاتالاز	نسبت سدیم/پتاسیم اندام هوایی	نسبت سدیم/پتاسیم ریشه	درجه آزادی
۳	۰/۴۶ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۴۰۷۵/۳۳ ^{ns}	۲۴/۰۸ ^{ns}	۷۱/۵۹ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	تکرار
۲	۳۹/۴۱*	۰/۷۹**	۳۸۴۱۱۲/۹**	۱۶۷۸/۲۰**	۲۲۶۵/۸۱**	**۷/۳۶	۱۰/۹۴**	شوری
۶	۳/۹۵ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۸۰۸۳/۳۴ ^{ns}	۸۸/۴۱ ^{ns}	۱۱۱/۱۰**	^{ns} ۰/۱۶	^{ns} ۰/۵۷	خطای اصلی
۲	۲۴/۱۴**	۱/۵۷**	۱۱۰۰۶۹۶**	۳۸۹۸/۲۰**	۲۴۵/۴۴ ^{ns}	^{ns} ۰/۴۳	^{ns} ۱/۹۴	رقم
۴	۷/۷۵ ^{ns}	۰/۳۲**	۱۱۸۸۵۸/۵**	۵۷۴/۱۴**	۱۳۴۴/۹۳**	**۲/۰۳	*۲/۱۰	شوری × رقم
۱۸	۳/۱۶	۰/۰۰۹۱	۳۵۷۹/۱۸	۴۷/۷۶	۷۵/۵۲	۰/۱۱	۰/۲۰	خطا
	۱۵/۱۵	۱۵/۹۲	۲۹/۱۷	۲۰/۰۶	۲۰/۴۸	۲۷/۲۷	۲۴/۸۷	ضریب تغییرات (%)

ns: غیر معنی‌دار، * و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

آسیب کمتر به غشای سلولی باشد (جدول ۵). تخریب غشای سلولی و تجزیه چربی‌های آن در واکنش به تنش شوری و تولید مالون دی‌آلدهید برگ در ذرت (۱۶) و برنج (۱۶) مشاهده شده است و می‌تواند به‌عنوان یک معیار مناسب برای بررسی واکنش گیاه به تنش شوری باشد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در برگ ارقام سورگوم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها و برهمکنش آنها قرار گرفتند (جدول ۴). نتایج برهمکنش شوری و رقم نشان داد که در تمام ارقام سورگوم فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز افزایش یافت و بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌ها در سطح شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در رقم پگاه به‌دست آمد (جدول ۵). همبستگی مثبت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت با میزان نسبت سدیم و پتاسیم ساقه حاکی از افزایش فعالیت آنزیم تحت تأثیر تنش شوری بود که می‌تواند منجر به کاهش تخریب غشاهای سلولی و آسیب دیدگی گیاه سورگوم شود.

شوری ارتباطی ندارد. لاسردا و همکاران (۲۵) نیز گزارش نمودند که رقم حساس سورگوم در شرایط تنش شوری دارای مقدار پرویلین بیشتری در مقایسه با رقم متحمل بود.

غلظت مالون دی‌آلدهید

غلظت مالون دی‌آلدهید برگ ارقام سورگوم تحت تأثیر شوری، رقم و اثر متقابل شوری و رقم قرار گرفت (جدول ۴). در تمام ارقام سورگوم با افزایش شوری روند افزایشی در میزان غلظت مالون دی‌آلدهید مشاهده شد و در بالاترین سطح شوری (۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) بیشترین درصد افزایش غلظت مالون دی‌آلدهید در رقم اسپیدفید سفید (تا بیش از ۱/۶ برابر) در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (جدول ۵) که می‌تواند ناشی از بالا بودن غلظت یون سدیم در این رقم و احتمالاً تخریب شدید غشای سلولی گیاه در اثر شوری باشد و همبستگی منفی و معنی‌دار این صفت با وزن خشک بوته ($r = -0/44$) می‌تواند خود بیانگر این موضوع باشد (جدول ۶). کمترین درصد افزایش این ماده در رقم پگاه (۲۸/۸۱ درصد) مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل کم بودن غلظت سدیم در این رقم و احتمالاً

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر برهمکنش شوری و رقم بر شاخص‌های فیزیولوژیک و نسبت سدیم و پتاسیم سورگوم علوفه‌ای

شوری (dS/m)	رقم	غلظت مالون دی‌آلدهید (nmol g FW)	سوپراکسید دیسموتاز (μmol mg FW)	پراکسیداز (μmol mg FW)	کاتالاز (μmol mg FW)	نسبت سدیم/پتاسیم اندام هوایی	نسبت سدیم/پتاسیم ریشه
	اسپیدفید سفید	۰/۶۲ ^{bcd}	۱۸۴/۵۰ ^d	۱۷/۹۴ ^c	۲۷/۰۳ ^c	۰/۲۵ ^c	۰/۲۹ ^d
۰/۴	اسپیدفید قرمز	۰/۴۵ ^d	۳۶۰/۶۰ ^c	۴۱/۶۷ ^c	۳۳/۴۶ ^c	۰/۲۳ ^c	۰/۲۸ ^d
	پگاه	۰/۵۹ ^{dc}	۴۳۴/۱۵ ^c	۱۶/۵۷ ^c	۲۷/۱۹ ^c	۰/۷۲ ^c	۰/۳۲ ^d
	اسپیدفید سفید	۱/۵۵ ^a	۱۷۴/۴۵ ^d	۱۷/۵۰ ^e	۳۰/۹۸ ^c	۱/۲۸ ^b	۲/۲۰ ^{ab}
۷	اسپیدفید قرمز	۰/۷۷ ^{bc}	۷۴۹/۰۰ ^b	۳۰/۶۰ ^d	۳۳/۱۷ ^c	۰/۶۰ ^c	۰/۵۶ ^{cd}
	پگاه	۰/۴۷ ^d	۷۳۷/۹۰ ^b	۴۲/۲۷ ^c	۴۸/۶۶ ^b	۰/۸۳ ^c	۰/۳۳ ^d
	اسپیدفید سفید	۱/۶۶ ^a	۱۵۱/۵۰ ^d	۱۵/۳۰ ^e	۳۷/۳۸ ^{bc}	۲/۶۸ ^a	۲/۷۹ ^a
۱۴	اسپیدفید قرمز	۰/۷۸ ^b	۹۷۷/۹۵ ^a	۵۳/۳۶ ^b	۶۸/۱۲ ^a	۱/۵۶ ^b	۲/۲۷ ^{ab}
	پگاه	۰/۷۶ ^{bc}	۹۰۸/۷۰ ^a	۷۴/۸۳ ^a	۷۵/۷۴ ^a	۱/۲۳ ^b	۱/۵۰ ^{bc}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌دار از نظر آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

است (۱۴). همچنین بیان شده است که این آنزیم در فرایند زدودن H₂O₂ در کلروپلاست نیز عمل می‌کند (۲).

نسبت سدیم به پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت یون سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر شوری و اثر متقابل شوری و رقم قرار گرفت (جدول ۴). نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه تمام ارقام سورگوم با افزایش شوری روند افزایشی نشان داد (جدول ۵) لیکن واکنش ارقام به تجمع سدیم متفاوت بود به گونه‌ای که کمترین نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه رقم پگاه در بالاترین سطح شوری (۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) به ترتیب به میزان ۱/۷ و ۴/۷ برابر در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد و در مقابل رقم اسپیدفید سفید از بیشترین نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی (۱۰/۷ برابر) و در ریشه (۹/۶ برابر) برخوردار بود (جدول ۵). تحقیقات انجام شده روی ارقام جو حاکی از آن است که ارقام مقاوم به شوری جو قادرند سطح یون سدیم در اندام هوایی خود را در سطحی کمتر از ارقام

به‌طورکلی تجمع یون سدیم در شرایط تنش شوری از طریق تخریب غشاء سلولی موجب آسیب به گیاه می‌شود و کاهش عملکرد در گیاه را به دنبال خواهد داشت (۱). سایر ارقام همکاران (۳۶) گزارش نمودند که تجمع یون سدیم تحت تأثیر تنش شوری در برگ ارقام گندم منجر به افزایش تخریب غشاهای سلولی شد درحالی‌که تحقیقات نشان داد که آنزیم پراکسیداز نقش به‌سزایی در کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش شوری و تجمع یون سدیم در برگ گیاهان زراعی دارد. این گزارشات در مورد دیگر گونه‌های گیاهی از جمله پنبه (۱۵) و ذرت (۸) نیز ارائه شده است. افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و دیگر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در شرایط شور در گیاهان پنبه، برنج، خیار، انجیر، بخش هوایی گندم و نخود گزارش شده است (۴۴). پراکسیدازها و کاتالازها دو سیستم اصلی برای دفاع آنزیمی و آسیب‌های پراکسیداتیو دیواره‌های سلولی هستند که توسط سیستم آنزیمی پراکسیداز آنتی‌اکسیداتیو تنظیم می‌شوند (۴۲). نقش مهم آنزیم پراکسیداز در فرایند نمو گیاه نیز گزارش شده

جدول ۶. ضرایب ساده همبستگی بین عملکرد و صفات مورد ارزیابی در سورگوم علوفه ای

	X12	X11	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1
X1												۱
X2											۱	۰/۶۳**
X3										۱	۰/۷۹*	۰/۵۳**
X4									۱	۰/۴۵**	۰/۳۸*	۰/۵۷**
X5							۱		۰/۴۲**	-۰/۲۵ ^{NS}	-۰/۳۳ ^{NS}	-۰/۱۷ ^{NS}
X6							۱	۰/۴۷**	۰/۴۸**	۰/۱۳ ^{NS}	۰/۳۵*	۰/۴۵**
X7						۱	-۰/۶۶**	-۰/۲۵ ^{NS}	-۰/۴۱*	-۰/۳۱ ^{NS}	-۰/۴۴**	-۰/۵۱**
X8					۱	۰/۴۱*	۰/۱۳ ^{NS}	۰/۴۴**	-۰/۱۱ ^{NS}	-۰/۵۳**	-۰/۴۰*	-۰/۳۷*
X9					۱	-۰/۱۵ ^{NS}	۰/۶۵**	۰/۲۵ ^{NS}	۰/۲۱ ^{NS}	-۰/۰۴ ^{NS}	۰/۱۴ ^{NS}	۰/۲۶ ^{NS}
X10					۱	-۰/۰۰۴ ^{NS}	۰/۷۲**	۰/۵۴**	۰/۵۴**	۰/۰۵ ^{NS}	۰/۱۱ ^{NS}	۰/۳۱ ^{NS}
X11					۱	-۰/۰۰۹ ^{NS}	۰/۱۵ ^{NS}	-۰/۲۷ ^{NS}	۰/۳۷*	۰/۵۵**	۰/۵۴**	۰/۴۵**
X12	۱	-۰/۰۵۲**	-۰/۰۳۱ ^{NS}	-۰/۰۲۱ ^{NS}	۰/۰۵۶**	۰/۷۸**	-۰/۰۴۲*	-۰/۰۲ ^{NS}	-۰/۰۵۳**	-۰/۰۶۷**	-۰/۷۱**	-۰/۸۳**
Y	۰/۹۲**	۰/۴۷**	۰/۳۰ ^{NS}	۰/۲۱ ^{NS}	۰/۴۹**	۰/۸۳**	-۰/۰۴۴**	-۰/۰۰۸ ^{NS}	-۰/۰۴۵**	-۰/۰۵۳**	-۰/۰۶۱**	-۰/۰۶۲**

NS: معنی دار، * و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد
 X1: نسبت سدابیم به پتاسیم اندام هوایی، X2: نسبت سدابیم به پتاسیم ریشه، X3: پرولین، X4: مالون دی آلدئید، X5: نسبت وزن تر برگ به ساقه، X6: نسبت وزن خشک برگ به ساقه، X7: ارتفاع، X8: شاخص سطح برگ، X9: پراکسیداز، X10: سوپراکسید دیسموتاز، X11: کاتالاز، X12: وزن تر اندام هوایی، Y: وزن خشک اندام هوایی

شاخص‌های مورفولوژیک بر اثر تنش شوری کاهش معنی‌داری یافت. در بین ارقام مورد مطالعه، رقم پگاه با دارا بودن مقدار بالای وزن خشک علوفه در شرایط شور از برتری برخوردار بوده که تفاوت معنی‌داری با رقم اسپیدفید قرمز نشان نداد. با افزایش شوری در دو رقم پگاه و اسپیدفید قرمز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار بود، درحالی‌که در رقم اسپیدفید سفید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در رقم پگاه با افزایش شوری به ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با تیمار شاهد، آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز و کاتالاز به ترتیب به میزان ۲/۱، ۴/۵ و ۲/۸ برابر افزایش نشان دادند. نکته قابل توجه این است که ارقام پگاه و اسپیدفید قرمز از نظر میزان مالون دی‌آلدهید و پرولین، مقادیر نسبتاً کمی داشتند و همچنین از نسبت سدیم به پتاسیم کمتری در مقایسه با رقم اسپیدفید سفید در کلیه سطوح شوری برخوردار بودند که در نتیجه می‌توان بیان داشت که تجمع کمتر یون سدیم نوعی واکنش دفاعی به تنش شوری است و احتمالاً، مهم‌ترین مکانیزم تحمل به تنش در این ارقام، جذب کمتر یون سدیم و انتقال آن به اندام هوایی در مقایسه با رقم اسپیدفید سفید بود. البته انجام پژوهش‌های بیشتر در سال‌های آتی بر روی ارقام دیگر گیاه سورگوم به منظور درک بهتر مکانیزم‌های تحمل به شوری در این گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای، ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از زحمات و مشاوره‌های ارزنده مهندس احسان شاکری دانشجوی دکترای رشته زراعت دانشگاه شیراز صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

حساس به شوری نگهداری کنند (۷). تجمع سدیم و کلر در گیاه سبب افزایش فشار اسمزی می‌شود و گیاه از این طریق می‌تواند با کاهش پتانسیل اسمزی محیط ریشه مقابله نماید. گزارش شده است گسترش سلول در برگ‌ها کاملاً وابسته به محتوای پتاسیم آنها است (۱۷). به‌علت ساختمان مشابه سدیم و پتاسیم و رقابت سدیم برای جایگاه‌های اتصال پتاسیم، فرایندهای متابولیسمی وابسته به پتاسیم در سیتوپلاسم مهار می‌شود و این موضوع نشان می‌دهد که مقادیر سدیم سلولی باید در سطح حداقل نگه داشته شود (۲۰). محققان نیز بیان نمودند که تجمع یون سدیم تحت تأثیر تنش شوری در گیاه ارزن منجر به تخریب غشای سلولی و آسیب به گیاهچه ارزن شد (۴۱). شریفی و همکاران (۳۷) با مطالعه واکنش سویا به تنش شوری، عوامل مختلفی چون کاهش فستوتز، تخریب غشای سلولی، کاهش آب قابل دسترس گیاه و تجمع یون سدیم در برگ را از عوامل اصلی کاهش وزن بیان نمودند. گزارش شده است شوری به‌عنوان یک عامل بازدارنده، باعث کند شدن روند استقرار گیاهچه و همچنین کاهش صفات مختلف گیاه می‌شود (۲۱). رابطه قوی بین نسبت سدیم به پتاسیم و مقاومت به شوری پیش از این نیز در گیاه جو (۴۰) و سورگوم (۲۲، ۲۴ و ۲۹) گزارش شده است. این پژوهشگران بیان نمودند این ویژگی می‌تواند به‌عنوان یک عامل مهم در انتخاب ارقام توسط اصلاح‌گرها به‌کار گرفته شود. همبستگی منفی و معنی‌دار نسبت سدیم به پتاسیم ریشه ($r = -0/62$) و اندام هوایی ($r = -0/61$) با وزن خشک بوته خود بیانگر جذب مقدار کمتر یون سدیم در رقم پگاه و در نتیجه نسبت کمتر سدیم به پتاسیم ریشه و اندام‌هوایی و وزن خشک بیشتر در مقایسه با دو رقم دیگر می‌باشد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد تمامی

منابع مورد استفاده

1. Ashraf, M. and M. Tufail. 1995. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science* 174: 351-362.
2. Asish, K. P. and B. D. Anath. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants *Ecotoxicology and Environmental Safety. A Review Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
3. Bates, L., R. Waldren and I. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
4. Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annual Review of Phytopathology* 13: 295-312.
5. Britton, C. and A. C. Mehley. 1955. In: S. P. Colowick, and N. O. Kaplan (Eds.), *Methods in Enzymology*, Vol. II, Academic Press Inc., New York, p. 764.
6. Bowler, C., L. Slooten, S. Vandenbranden, R. De Rycke, J. Botterman, C. Sybesma, M. Van Montagu and D. Inzé. 1991. Manganese superoxide dismutase can reduce cellular damage mediated by oxygen radicals in transgenic plants. *The EMBO Journal* 10: 17-23.
7. Carden, D. E., D. J. Walker, T. J. Flowers and A. J. Miller. 2003. Single-cell measurements of the contributions of cytosolic Na⁺ and K⁺ to salt tolerance. *Plant Physiology* 131: 676-683.
8. Costa, P. H. A. D., A. D. D. A. Neto, M. A. Bezerra, J. T. Prisco and E. Gomes-Filho. 2005. Antioxidant-enzymatic system of two sorghum genotypes differing in salt tolerance. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 353-362.
9. Craine, J. M. 2005. Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. *Journal of Ecology* 93: 1041-1052.
10. Demiral, T. and I. Türkan. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environmental and Experimental Botany* 53: 247-257.
11. Dhinsa, R. S., P. Plumb-Dhindsa and T. A. Thorpe. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany* 32: 93-101.
12. Edreva, A. 2005. Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a sub molecular approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 119-133.
13. Emam, Y. 2011. *Cereal Production* (4th ed). Shiraz University Press. Shiraz.
14. Gaspar, T., C. Penel, F. J. Castillo and H. Greppin. 1985. A two-step control of basic and acidic peroxidases and its significance for growth and development. *Physiologia Plantarum* 64: 418-423.
15. Gossett, D. R., E. P. Millhollon and M. Lucas. 1994. Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton. *Crop Science* 34: 706-714.
16. Gunes, A., A. Inal, M. Alpaslan, F. Eraslan, E. G. Bagci and N. Cicek. 2007. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *Journal of Plant Physiology* 164: 728-736.
17. Guo, Y., X. Sun, X. Song, Q. Li, Y. Wang and S. Chen. 2006. Effects of potassium nutrition on growth and leaf physiological characteristics at seedling stage of cotton. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 12: 363-368.
18. Hay, R. K. and A. J. Walker. 1989. *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Longman Group UK Limited, UK.
19. Indulker, B. and S. More. 1984. Response of sorghum to phosphorus application in presence of chloride and sulphate salinity. *Current Agriculture Research Journal* 8: 81-85.
20. Ke, W., Z. T. Xiong, S. Chen and J. Chen. 2007. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. *Environmental and Experimental Botany* 59: 59-67.
21. Kingsbury, R. W. and E. Epstein. 1986. Salt sensitivity in wheat a case for specific ion toxicity. *Plant Physiology* 80: 651-654.
22. Krishnamurthy, L., R. Serraj, C. T. Hash, A. J. Dakheel and B. V. Reddy. 2007. Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica* 156: 15-24.
23. Lauchli, A. and E. Epstein. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. *Agricultural Salinity Assessment and Management* 71: 113-137.
24. Lacerda, C. F., J. Cambraia., M. A. Oliva, H. A. Ruiz and J. T. N. Prisco. 2003. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 49: 107-120.
25. Maghsoumi Holasoo, S. and L. Pourakbar. 2014. The effects of salinity stress on the growth and some physiological parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology* 6(19): 31-42. (In Farsi).
26. Mane, A. V., T. V. Deshpande, V. B. Wagh, B. A. Karadge and J. S. Samant. 2011. A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Science* 1(6): 1192-1216.

27. Mansour, M., K. Salama, F. Ali and A. Abou Hadid. 2005. Cell and plant responses to NaCl in *Zea mays* L. cultivars differing in salt tolerance. *General and Applied Plant Physiology* 31: 29-41.
28. Neill, S., R. Desikan and J. Hancock. 2002. Hydrogen peroxide signalling. *Current Opinion in Plant Biology* 5: 388-395.
29. Netondo, G. W., J. C. Onyango and E. Beck. 2004. Sorghum and Salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. *Crop Science* 44: 806-811.
30. Owen, C. P. 1992. Plant Analysis Reference Producers for the Southern Region of the United States. The University of Georgia. USA.
31. Pakniat, H., A. Kazemipour and G. A. Mohammadi. 2003. Variation in salt tolerance of cultivated (*Hordeum vulgare* L.) and wild (*H. spontaneum* C. Koch) barley genotypes from Iran. *Iran Agricultural Research* 22: 45-62. (In Farsi).
32. Parida, A. K. and A. B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.
33. Pirasteh-Anosheh, H. and Y. Emam. 2012. Manipulation of morpho-physiological traits in bread and durum wheat by using PGRs at different water regimes. *Journal of Crop Production and Processing* 5: 29-45.
34. Rawson, H., M. Long and R. Munns. 1988. Growth and development in NaCl⁻ treated plants. I. Leaf Na⁺ and Cl⁻ concentrations do not determine gas exchange of leaf blades in barley. *Functional Plant Biology* 15: 519-527.
35. Robinson, P., S. Grattan, G. Getachew, C. Grieve, J. Poss, D. Suarez and S. Benes. 2004. Biomass accumulation and potential nutritive value of some forages irrigated with saline-sodic drainage water. *Animal Feed Science and Technology* 111: 175-189.
36. Sairam, R. K., K. V. Rao and G. Srivastava. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163: 1037-1040.
37. Sharifi, M., M. Ghorbanli and H. Ebrahimzadeh. 2007. Improved growth of salinity-stressed soybean after inoculation with salt pre-treated mycorrhizal fungi. *Journal of Plant Physiology* 164:1144-1151.
38. Siddiqui, M. H., F. Mohammad, M. N. Khan, M. H. Al-Wahaibi and A.H. Bahkali. 2010. Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotypes grown under salt stress. *Agricultural Sciences in China* 9: 671-680.
39. Soleimani, M. R., M. Kafi, M. Ziaee and J. Shabahang. 2008. Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad. *Journal of Water and Soil* 22: 148-156. (In Farsi).
40. Suhayda, C. G., R. E. Redman, B. L. Harvey and A. L. Cipywnyk. 1992. Comparative response of cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop Science* 32: 154-163
41. Sreenivasulu, N., B. Grimm, U. Wobus and W. Weschke. 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiologia Plantarum* 109: 435-442.
42. Velikova, V., I. Yordanov and A. Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Science* 151: 59-66.
43. Worker, G. F. J., W. E. Pendery, R. L. Sailsbery and J. D. Prato. 1976. Irrigated Grain Sorghum Production in California. University of California, Division of Agricultural Science, Leaflet No. 2873.
44. Yasar, F. 2007. Effects of salt stress on onion and lipid peroxidation content in green beans genotypes. *Asian Journal of Chemistry* 19: 1165-1169.
45. Zhao, G., B. Ma and C. Ren. 2007. Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science* 47: 123-131.

Effect of Salinity Stress on Growth, Yield and Some Physiological Traits of Forage Sorghum Cultivars

M. Alinia¹ and S. A. Kazemeini^{2*}

(Received: November 28-2015; Accepted: April 6-2016)

Abstract

In order to evaluate the effect of salinity stress on growth, yield, and some physiological traits of forage sorghum cultivars, an experiment was conducted as split-plot based on a randomized complete block design with four replications at experimental farm of College of Agriculture, Shiraz University at 2014 growing season. Treatments were three levels of saline irrigation water (0.4 as control, 7 and 14 dS/m) and three sorghum cultivars (Pegah, White speedfeed and Red speedfeed) as main plots and subplots, respectively. Results showed that salinity stress decreased plant height and leaf area. Pegah cultivar showed the highest forage dry weight in all salinity treatments. Activity of antioxidant enzymes including superoxide dismutase, peroxidase and catalase significantly increased with increasing salinity levels in Pegah and Red speedfeed cultivars. In salt-stressed Pegah these enzymes activity increased 2.1, 4.5, and 2.8 times, respectively in comparison to control. With increasing salinity levels, shoot sodium/potassium ratio of White speedfeed, Red speedfeed, and Pegah cultivars increased 10.7, 6.8, and 1.7 times, respectively whereas root sodium/potassium ratio of the cultivars increased 9.6, 8.1, and 4.7 times, respectively. It seems that the lower absorption of sodium was the major mechanism of salinity tolerance in Pegah and can be an important criterion to evaluate sorghum salinity tolerance.

Keywords: Antioxidant enzymes activity, Forage dry weight, Sodium/potassium ratio

1, 2. MSc Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran.

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