دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی میزان عملکرد دانه و وضعیت تجمع یون‌های سدیم، پتاسیم و منیزیم در بافت‌های مختلف ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) حساس و متحمل به شوری

امین باقی‌زاده[۱]، مهدیه آرام کسمایی[۲]، قاسم محمدی‌نژاد[۳] و بابک ناخدا[۴]

۱- دانشیار گروه بیوتکنولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته،
(نویسنده مسوول: amin_4156@yahoo.com)
۲- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اصلاح نباتات، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته
۳- دانشیار، دانشگاه شهید باهنرکرمان
۴- عضو هیات علمی بخش تحقیقات فیزیولوژی مولکولی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۵.
صفحه: ۱۷۴ تا ۱۸۴

چکیده

مطالعه واکنش‌های بیوشیمیایی ارقام مختلف گندم به تنش شوری می‌تواند منجر به شناسایی سازوکارهای موثر در تحمل شوری گردد. جهت شناسایی الگوی توزیع یونی درگندم، همچنین بررسی تاثیر تنش شوری بر عملکرد دانه و بررسی تاثیرپذیری عملکرد از توزیع یونی در شرایط تنش شوری، مطالعه حاضر صورت گرفت. تحقیق مذکور به‌صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو سطح شوری و شش رقم گندم متحمل و حساس در دو تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. غلظت یون‌های سدیم (Na^+)، پتاسیم (K^+)، منیزیم (Mg^{2+}) و نسبت Na^+/K^+ در بافت‌های مختلف گیاه شامل پهنک برگ پرچم، خوشه و ریشه و همچنین عملکرد دانه هر بوته اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان دهنده معنی‌دار بودن برهمکنش شوری و رقم برای اکثر صفات مورد ارزیابی بود. غلظت یون سدیم از ریشه به سمت اندام هوایی بطور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش شوری، غلظت یون K^+ در ریشه همه ارقام بطور معنی‌داری کاهش یافت. غلظت منیزیم نیز در برگ، خوشه و ریشه در اثر تیمار شوری نسبت به تیمار نرمال کاهش یافت. در بین ارقام از نظر نسبت Na^+/K^+ در کل بافت‌های گیاه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. رقم مغان ۳ با بیشترین مقدار این نسبت در خوشه و ریشه و رقم آرتا با بیشترین مقدار در پهنک برگ، از لحاظ آماری در یک گروه و سایر ارقام در گروه دیگر قرار گرفتند. طبق نتایج حاصل از تجزیه همبستگی ساده فنوتیپی، میزان یون سدیم در بافت‌های برگ، خوشه و ریشه بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار را با عملکرد دانه در بوته نشان داد. با توجه به کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری، تنظیم توزیع یونی از راه‌های مختلف از جمله انتخاب ارقام مقاوم و متحمل نسبت به تغییرات یونی می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از تنش شوری موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، غلظت یونی، عملکرد دانه، تحمل شوری

مقدمه

گندم از جمله محصولات زراعی مهم است که در بیشتر مناطق کشور و مخصوصا مناطق خشک و نیمه‌خشک و دارای محدودیت کمی و کیفی منابع آب کشت می‌گردد. گندم نسبت به شوری آب آبیاری نسبتا حساس است و شوری باعث کاهش عملکرد گندم می‌شود. تنش‌های غیرزنده مهم‌ترین عامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند (۱۳،۱۲). خشکی و شوری در بسیاری از مناطق جهان از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاهان به شمار می‌روند، یک سازوکار مناسب در این زمینه، استفاده از گونه‌هایی است که بتوانند در چنین شرایط محیطی از تولید مطلوبی برخوردار باشند (۵۵،۱۴،۴۴). شوری کیفیت و عملکرد دانه گیاهان زراعی و محصولات باغی را کاهش می‌دهد (۴۶،۳۰). گندم نان به طورنسبی تحمل به شوری (۴ دسی زیمنس بر متر) کمتری نسبت به گندم دوروم (۶ دسی زیمنس بر متر) دارد (۴۲،۱۷). یکی از عوامل مهم در تحمل شوری در گندم نان و سایر گونه‌ها، مربوط به توانایی آنها برای دفع Na^+ است (۳۳،۲۹). غلظت بالای یون Na^+ می‌تواند باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی شود که در نهایت میزان آسیمیلاسیون کربن و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (۲۷،۳،۲۶). در این رابطه دو سازوکار اصلی تحمل شوری در گیاهان شامل انتقال مقادیر پایینی از یون Na^+ به اندام‌های هوایی و تحمل غلظت‌های بالای یون Na^+ در برگ‌ها از طریق نگهداری یون‌ها در داخل واکوئل‌های سلول است (۵۲،۱۵،۲۳). جلوگیری از جذب یون‌ها توسط ریشه، کاهش حرکت یون‌ها به داخل گیاه از طریق غشای پلاسمایی سلول ریشه، انتقال مجدد یون‌ها از برگ به ریشه و حرکت آنها به سمت خارج از ریشه از مهم‌ترین راهکارهایی هستند که می‌توانند منجر به محدودیت انتقال و تجمع نمک در اندام‌ها و بخصوص اندام‌های حساس فتوسنتزی گیاه شوند (۱۱). جلوگیری از حرکت یون‌ها از ریشه به اندام‌های هوایی حساس گیاه در برخی از گونه‌های لگوم نیز مورد بررسی و تایید قرار گرفته است (۲۹،۲۸). برخی گیاهان قادرند با نگهداری یون‌ها و تجمع آنها در اندام‌های پایینی مانع از انتقال آنها به اندام‌های حساس بالایی شوند و از این طریق منجر به تحمل شوری شوند. به‌عنوان مثال توقف یون Na^+

در ریشه، برگ‌ها و غلاف برگ گراس‌ها از جمله سازوکارهای تحمل شوری است (۳۴،۴۹). برخی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری، یون Na^+ را از اندام هوایی دفع نموده و در غلاف‌های برگ نگهداری می‌نمایند (۸). دفع سدیم از اندام‌های هوایی گیاه نیز به‌عنوان یکی از سازوکارهای مهم تحمل شوری در گندم (۲۱،۲۳) و جو (۱۶،۳۶) شناسایی شده است. تحمل شوری در گونه‌های گیاهی بستگی به توانایی آنها برای دفع یون Na^+ دارد، به‌طوری‌که گیاهان متحمل، از تجمع غلظت‌های بالای یون Na^+ در برگ به‌ویژه در پهنک برگ جلوگیری می‌نمایند (۲۸،۳۳). دفع سدیم به‌عنوان یکی از سازوکارهای تحمل شوری در گونه‌های گندم هگزاپلوئید مرتبط با یک جایگاه ژنی بر روی ژنوم D است که گندم‌های تتراپلوئید فاقد آن هستند (۲۱). در گیاهان دارای تحمل شوری، یون‌های Na^+، Cl^- و K^+ دارای توزیع انتخابی بوده و دفع یون Na^+ از اندام‌های در حال رشد و افزایش یون K^+ در سلول‌های مریستمی و سلول‌های مزوفیل برگ مشهود است (۴،۵۱). اگرچه بین میزان تحمل شوری و تجمع یون Na^+ در برگ‌های جو (۲۳) و گندم دیپلوئید (۴۷) همبستگی منفی مشاهده شده است، ولی شواهد نشان می‌دهد که غلظت یون Na^+ همیشه تحمل به شوری همه توده‌های گندم را تعیین نمی‌کند (۴۷) و گاهی بین غلظت نمک و تحمل شوری همبستگی وجود ندارد (۷). اندام‌ها و سلول‌ها نسبت به یون Na^+ دارای درجه تحمل متفاوتی می‌باشند. تنوع ژنتیکی تحمل بافت‌های مختلف به غلظت‌های بالای شوری در گندم‌های دوروم و نان هنوز ناشناخته است (۵). بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم از نظر توانایی دفع یون Na^+ و حفظ نسبت‌های بالای K^+/Na^+ در برگ‌ها تنوع ژنتیکی یافت شده است (۳۱). همبستگی مثبت بین دفع یون Na^+ و تحمل شوری در بین گندم‌های دیپلوئید (۴۷)، گندم نان (۶) و سایر گونه‌های گیاهی نظیر چغندر قند و برنج (۱،۵،۵۳) گزارش شده است. همچنین همبستگی بالایی بین میزان تحمل شوری با بالا بودن نسبت K^+/Na^+ در برگ‌های گندم وجود دارد که نشان می‌دهد دفع یون Na^+ از برگ‌ها یکی از ویژگی‌های تحمل شوری است (۴۹). علاوه بر یون Na^+، از لحاظ جذب و تجمع یون K^+ نیز در بین گونه‌های گیاهی تفاوت ژنتیکی وجود دارد. این تفاوت بین ژنوتیپ‌ها به احتمال زیاد، نتیجه ثانویه تنوع ژنتیکی در جذب یون Na^+ است. به عبارتی، تنوع ژنتیکی در جذب یون Na^+ اثر مثبتی بر جذب یون K^+ خواهد داشت، زیرا جذب و انتقال یون‌های Na^+ و K^+ در گیاه از طریق کانال‌ها یا ناقل‌های مشابه صورت می‌گیرد (۹،۳۲). در هر حال تجمع کمتر یون Na^+ در برگ به خوبی با تحمل شوری همبستگی دارد و منجر به بهبود تحمل شوری می‌گردد، ولی این همبستگی برای میزان یون K^+ یا نسبت K^+/Na^+ پایین‌تر است (۳۱). با افزایش درجه شوری، معمولا میزان K^+ و Mg^{2+} کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند. این وضعیت در آزمایش قادریان و همکاران در روی خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) نیز گزارش شده است (۱۸). در گیاه اشنان (*Seidlitzia rosmarinus*) نیز افزایش شوری سبب کاهش یون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اندام‌های هوایی شد اما شوری اثر معنی‌داری بر تراکم یون‌های منیزیم و پتاسیم در ریشه نداشت (۲۵). از آنجایی که صفات بیوشیمیایی مورد استفاده برای انتخاب ژرم پلاسم متحمل به شوری، نظیر دفع یون Na^+ و نسبت K^+/Na^+ نسبت به صفات عملکرد و ماده خشک کمتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند (۳۱،۵۴) و همچنین بررسی بیوشیمیایی تحمل شوری بر اساس این صفات، بویژه نسبت به عملکرد و ماده خشک در محیط شور راحت‌تر و قابل اعتمادتر بوده و مدت زمان لازم برای دریافت پاسخ به تنش شوری برای این صفات نسبت به عملکرد و ماده خشک کمتر است (۳۱،۳۲،۳۷)، لذا هدف از این تحقیق بررسی بیوشیمیایی جذب و دفع سدیم و یون‌های پتاسیم و منیزیم در بافت‌های مختلف برخی ارقام گندم حساس و متحمل به شوری و ارتباط آن با تغییرات ماده خشک کل و عملکرد دانه و در نهایت تحمل شوری این ارقام است.

مواد و روش‌ها

محل و نحوه اجرای آزمایش

این تحقیق در پاییز سال ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی فجر دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شد. شش رقم گندم نان با میزان تحمل شوری متفاوت شامل بورانی، مغان ۳، سرخ تخم، گاسپارد، ماهوتی و آرتا در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج بررسی‌های قبلی ارقام بورانی، سرخ تخم و ماهوتی (۱۹،۲۰،۳۳،۳۹) به عنوان ارقام متحمل و ارقام گاسپارد، مغان ۳ و آرتا (۲،۱۹،۳۹) به‌عنوان ارقام حساس به تنش شوری در نظر گرفته شدند. به منظور اجرای این تحقیق، آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و در دو تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل دو سطح شوری (۱۰ds/m کلرید سدیم و شاهد) و فاکتور دوم شامل شش رقم گندم نان در نظر گرفته شد. به منظور تهیه محلول تیمار شوری از نمک کلرید سدیم معمولی استفاده گردید. بذور سالم و ضدعفونی شده در آبان ماه ۱۳۹۰ در پلات‌های تعبیه شده به ابعاد دو متر در سه مترکشت شدند. در هر پلات سه خط ۲/۵ متری به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. آبیاری پلات‌ها تا مرحله گرده افشانی با آب معمولی دارای شوری ۲/۵ ds/m انجام گرفت و پس از وارد شدن گیاهان به مرحله گرده افشانی، پلات‌های تحت تنش با آب شور با شوری ۱۰ds/m تیمار شدند. در هر بار آبیاری، محلول آب نمک با EC=10 تهیه شده و به پلات‌ها داده می‌شد و مقدار هدایت الکتریکی آب خروجی در هر بار آبیاری بوسیله EC سنج مدل (ELMEIRONCC505) مورد ارزیابی قرار گرفت تا پلات‌های تحت تنش در EC مورد نظر قرار بگیرند.

اندازه‌گیری عملکرد و غلظت یون‌ها

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد، گیاهان بعد از رسیدگی کامل در هر پلات از ۰/۵ متری عمق خاک با ریشه خارج شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. میزان عملکرد دانه هر بوته، بوسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت یون‌ها در بافت‌های مختلف گیاه، یک ماه پس از دستیابی به غلظت نهایی شوری، ۵ بوته از هر پلات برداشت شد. از ۵ بوته نمونه‌های برگ پرچم، خوشه و ریشه گرفته شد و به مدت ۷۲ ساعت در درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. بدین منظور ۰/۱ گرم از هر بخش گیاه در لوله‌های آزمایش با ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۰/۱ نرمال مخلوط و سپس به مدت ۲ ساعت در حمام آب گرم در ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری میزان یون‌های Na^+، K^+ و Mg^{2+} مورد استفاده قرار گرفتند. اندازه‌گیری یون‌ها توسط دستگاه ICP (Inductively Coupled Plasma – optical emission spectrometer) انجام شد. همچنین نسبت سدیم به پتاسیم در بافت‌های مختلف محاسبه شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش Duncan از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و نرم‌افزار MSTATC استفاده گردید. همبستگی بین صفات با نرم‌افزار SPSS12 محاسبه شد.

نتایج و بحث

اثر تنش شوری بر صفات مورد بررسی در ارقام مختلف

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد بررسی، نشان داد که برهمکنش تنش شوری با ارقام برای کلیه صفات مورد بررسی به جز عملکرد دانه در بوته، میزان سدیم در برگ پرچم و میزان سدیم در ریشه معنی‌دار شد (جدول ۱). اثر ساده رقم و اثر ساده شوری برای صفات میزان سدیم در برگ و میزان سدیم در ریشه معنی‌دار گردید و برای صفت عملکرد دانه در بوته تنها اثر ساده شوری معنی‌دار شد (جدول ۱).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین عملکرد دانه در بوته تحت اثر تیمار شوری نشان داد که عملکرد دانه در شرایط تنش، ۳۵٪ کاهش داشته است (جدول ۲). سازوکارهایی که بوسیله آنها شوری، ماده خشک و عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد از طریق اثرات اسمزی ناشی از شوری در اطراف ریشه‌ها و یا اثرات ویژه یونی در اثر تجمع نمک در برگ‌ها حاصل می‌شوند (۳۲،۳۵). در شرایط تنش شوری، غلظت یون Na^+ در خوشه رقم حساس مغان ۳ بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و در رتبه بعدی ارقام حساس گاسپارد و آرتا قرار گرفتند و میزان یون سدیم در ارقام متحمل نسبت به ارقام حساس پایین تر بود (جدول ۴). لذا کاهش عملکرد دانه ارقام حساس در شرایط تنش نشان می‌دهد، اثرات اسمزی تنش شوری مهم‌تر از اثرات ویژه یون Na^+ می‌باشد. تحقیقات دیگر نیز نشان می‌دهد که در سطوح شوری پایین تا متوسط اثرات تنش اسمزی بر رشد شدیدتر از اثرات تنش یونی در داخل گیاه است (۲۶،۳۳،۴۰).

غلظت یون Na^+

سدیم کاتیون اصلی است که با افزایش شوری در بافت‌ها و اندام‌های گیاهی تجمع می‌یابد. مقایسه میانگین غلظت یون Na^+ در سطح شوری ۱۰ ds/m نشان داد که با افزایش شوری، غلظت یون Na^+ در اندام زایشی و در سطح کل بافت‌های گیاه بطور بسیار معنی‌داری افزایش می‌یابد (جداول ۴ و ۲). نتایجی مبنی بر اشباع غلظت سدیم اندام‌های گیاهی در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (۳۴) و یا افزایش تجمع آن در ریشه و اندام‌های هوایی در شوری بالاتر (در گیاه سورگوم) (۵۰) نیز وجود دارد. بین ارقام از لحاظ میزان افزایش تجمع یون سدیم تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد و غلظت این عنصر در سطح کل بافت‌های ارقام متحمل به شوری نسبت به ارقام حساس پایین‌تر بود (جدول ۳). ارقام متحمل با جذب مقادیر کمی یون سدیم قادر هستند تعادل یونی را به خوبی حفظ نمایند. در مطالعاتی نیز گزارش شده که ژنوتیپ‌های دارای تحمل شوری تعادل یونی را به خوبی حفظ می‌نمایند و میزان یون سدیم درون سلولی را در شرایط تنش پایین نگه می‌دارند که منجر به حفظ تحمل به شوری می‌شود (۴۱،۴۸). مقایسه میانگین غلظت یون Na^+ در بافت‌های مختلف گیاه نشان داد که میزان جذب یون سدیم در بافت‌های مختلف، متفاوت است. غلظت این یون از ریشه به سمت اندام هوایی بطور معنی‌داری کاهش یافت، ولی همچنان غلظت این یون در بافت‌های مختلف اندام هوایی نسبت به شاهد بیشتر بود (جداول ۲، ۳ و ۴). غلظت یون Na^+ در برگ پرچم و ریشه در بالاترین مقدار بود و مقدار این یون در اندام زایشی به نسبت کمتر از دو بافت دیگر بود ولی غلظت بالای این یون در برگ پرچم مشاهده شد (جداول ۲، ۳ و ۴). تجمع یون Na^+ و نگهداری آن در ریشه‌ها در مقایسه با اندام‌های هوایی ممکن است بعنوان یک مکانیزم تحمل بصورت حفظ پتانسیل لازم جهت جذب اسمزی آب به داخل ریشه‌ها و همچنین محدود کردن انتشار یون Na^+ به اندام هوایی پیشنهاد شود (۴۳،۴۵). تسهیم یون Na^+ در پهنک برگ پرچم ارقام حساس متفاوت از ارقام متحمل به شوری بود و این اختلاف غلظت یون Na^+ در بافت‌های مختلف قابل ملاحظه بود. در این سطح شوری کنترل تجمع یون Na^+ در ارقام متحمل به شوری بهتر بود و تجمع یون Na^+ در ارقام حساس به شوری ۲ برابر بیشتر از مقدار آن در ارقام متحمل مشاهده شد. تفاوت در تجمع یون Na^+ در اندام هوایی (برگ پرچم) بستگی به تفاوت در بارگیری یون Na^+ در آوند چوبی ریشه و یا میزان انتقال یون Na^+ از ریشه به اندام‌های هوایی دارد و این تفاوت در بین ارقام مورد مطالعه به وضوح قابل مشاهده بود. با توجه به جدول مقایسه میانگین و مقایسه تجمع یون Na^+ در ریشه‌ها به احتمال زیاد میزان بارگیری Na^+ در ارقام حساس در مقایسه با ارقام متحمل بیشتر اشد (جدول ۳). این تفاوت

ژنتیکی در میزان بارگیری یون Na^+ در ریشه‌ها منجر به تفاوت ژنتیکی در انتقال یون Na^+ به اندام هوایی و برگ‌ها می‌شود (۸). نگهداری و تجمع یون Na^+ در غلاف برگ غلظت یون Na^+ پهنک برگ را کنترل می‌کند. ارقام متحمل دارای مقادیر کمتری از یون Na^+ در پهنک برگ هستند و قسمت اصلی یون Na^+ برگ پرچم را را در غلاف برگ پرچم نگهداری می‌کنند (۱). به‌عنوان مثال در رقم متحمل ماهوتی محتوای Na^+ در پهنک برگ پرچم به میزان ۳/۳۲ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش یافت در حالی که محتوای یون Na^+ در پهنک برگ پرچم رقم حساس مغان ۳ به میزان ۷/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک افزایش یافت. به‌عبارتی، غلاف برگ در ارقام مقاوم، یون Na^+ را نگهداری می‌کند تا میزان تجمع پائین تری از یون Na^+ در پهنک برگ اتفاق بیافتد. این نحوه توزیع یونی Na^+ در غلاف برگ در مقایسه با پهنک برگ در گیاهانی نظیر گندم، ذرت و جو (۴۹،۸،۳۴) نیز گزارش گردیده است. در تحقیقی جهت انتخاب ارقام متحمل به شوری از بین ژنوتیپ‌های گندم دوروم، ژنوتیپی یافت شد که دارای تجمع پایینی از Na^+ در پهنک برگ و برابر با مقدار آن در گندم نان بود ولی غلظت این یون در کل اندام هوایی بالاتر از مقدار آن در گندم نان بود. این نتایج نیز پیشنهاد می‌کند که یون Na^+ در غلاف برگ این ارقام متوقف شده و به پهنک برگ منتقل نمی‌شود (۲۶،۳۱). به هر حال تجمع مقادیر بالاتری از یون Na^+ در ریشه و غلاف برگ در مقایسه با پهنک برگ یکی از سازوکارهای تحمل شوری در گراس‌ها است و یکی از عوامل تعیین‌کننده تحمل تنش شوری در این گیاهان است تا انتقال یون Na^+ به داخل سلول‌های فتوسنتزی و بافت‌های فعال مریستمی در حال رشد محدود شود (۲۴) و نگهداری یون‌ها در بافت غلاف برگ، به علاوه دفع Na^+ از پهنک برگ‌ها، بافت‌های حساس فتوسنتزی را تا حد ممکن از اثرات ناشی از سمیت یونی محافظت می‌نماید. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش نیز یون Na^+ بطور ترجیحی در غلظت بالایی در ریشه‌ها تجمع می‌یابد و عدم تجمع بالای یون Na^+ در پهنک برگ پرچم ارقام متحمل نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ریشه به عنوان یکی از موانع مهم جهت جلوگیری از انتقال یون Na^+ به اندام هوایی و پهنک برگ‌ها عمل می‌کند (۸،۲۴،۲۷،۳۴). تغییرات برگ ارقام حساس نیز نسبت به ارقام مقاوم بسیار بیشتر است و در ارقام حساس، راهیابی یون‌های سدیم و کلر به بخش هوایی، باعث افزایش عرض برگ پرچم می‌شود (۱،۳۸). دلیل تغییر در ارقام حساس را به عدم وجود سازوکار حذف مربوط دانسته اند و عنوان کرده‌اند که به دلیل وجود سازوکار حذف در رقم‌های مقاوم، یون‌های راه یافته به بخش هوایی گیاه دوباره به ریشه برگردانده می‌شود تا بدین صورت حتی الامکان از اثرات مخرب یون‌های سدیم و کلر جلوگیری شود. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که رقم مقاوم ماهوتی می‌تواند مقادیر زیادی از یون‌های سدیم را در خود انباشته سازد و اجازه عبور این یون‌ها را به بخش هوایی گیاه ندهد و بدین ترتیب بخش‌های هوایی خود را از اثرات سمی این یون‌ها مصون نگه دارد.

جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Table 1. Mean squares obtained from analysis of variance of studied traits

منابع تغییر	df	میانگین مربعات						
		میزان سدیم در برگ پرچم	میزان سدیم در خوشه	میزان سدیم در ریشه	میزان پتاسیم در برگ پرچم	میزان پتاسیم در خوشه	میزان پتاسیم در ریشه	میزان منیزیم در برگ پرچم
تکرار	۱	۰/۳۶۸	۱/۲۲	۰/۳	۳۲۷۲/۲۹	۲۹۸/۵۸	۳۶۲/۰۸	۵/۱۸
شوری	۱	۴۱/۴۸**	۳۱/۲۲**	۳۹/۰۳**	۸۸۶۱/۰۶*	۹۹۶۸/۴۴**	۷۹۴۵/۳۸*	۲۶۴/۹**
رقم	۵	۶/۴۷*	۱/۹۴*	۵/۸۶*	۱۶۳۶۵/۷۱**	۱۹۰۲۳/۴۳**	۱۴۵۹۲/۴۴**	۱۲۹/۸۶**
رقم×شوری	۵	۳/۴۹	۲/۹۳*	۲/۵۵	۱۷۶۹۹/۷۴**	۴۹۵۵/۴۷**	۶۸۹۰/۵۳*	۶۲/۳۴*
خطا	۱۱	۱/۲۰۲	۰/۴۵	۰/۹۵	۱۰۵۶/۵۱	۱۷۲/۱۲	۱۱۳۱/۱۱	۱۰/۰۴
CV	–	۲۵/۶۶	۱۷/۹	۲۷/۰۱	۱۶/۰۶	۶/۹۳	۱۷/۷۷	۱۱/۹۱

ادامه جدول ۱- میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی

Continue Table1. Mean squares obtained from analysis of variance of studied traits

منابع تغییر	df	میزان منیزیم در خوشه	میزان منیزیم در ریشه	نسبت سدیم به پتاسیم در برگ پرچم	نسبت سدیم به پتاسیم در خوشه	نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه	عملکرد دانه هر بوته
تکرار	۱	۱۱/۷۸	۳/۳۵	۰/۰۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۷۷*	۰/۰۰۰۰۴۴	۱۰۵/۲۹*
شوری	۱	۸۱/۳۶*	۹۶/۸۲**	۰/۰۰۱۹۹**	۰/۰۰۲۸**	۰/۰۰۲۶**	۳۳۳/۸۹*
رقم	۵	۱۰۳/۷۲**	۱۰۶/۶**	۰/۰۰۰۵۹**	۰/۰۰۰۵۴**	۰/۰۰۰۷۹**	۶/۳۳
رقم×شوری	۵	۷۶/۱۴**	۴۷/۳۷**	۰/۰۰۰۲*	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۳۵*	۴/۱۳
خطا	۱۱	۵/۵۴	۴/۵۶	۰/۰۰۰۰۵۲	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۶۴	۱/۶۰۴
CV	–	۹/۴۲	۷/۷۱	۲۸/۵۱	۱۵/۴۹	۳۴/۳۸	۱۸/۶۸

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات ساده شوری برای صفات مورد ارزیابی

Table 2. Comparison of mean simple effects of salinity for evaluated traits

تیمار	میزان سدیم در برگ پرچم	میزان سدیم در ریشه	عملکرد دانه هر بوته
نرمال	۲/۹۶^{b}	۲/۳۳^{b}	۸/۴۵^{a}
شوری	۵/۵۹^{a}	۴/۸۸^{a}	۵/۱۱^{b}

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده رقم برای صفات مورد ارزیابی

Table 3. Comparison of mean simple effects of the cultivar for the evaluated traits

رقم	میزان سدیم در برگ پرچم	میزان سدیم در ریشه
بورانی	۲/۷۶^{c}	۳/۰۰۱۶^{bc}
مغان ۳	۶/۱۹^{a}	۵/۶۶^{a}
سرخ تخم	۳/۲۷^{bc}	۳/۰۸^{bc}
گاسپارد	۴/۶۹^{ab}	۴/۴۱^{ab}
ماهوتی	۳/۶۹^{bc}	۲/۳۴ ^{c}
آرتا	۵/۰۳^{ab}	۳/۱۳^{bc}

در هر ستون میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۴- مقایسه میانگین برای برهمکنش رقم در شوری در مورد صفات مورد ارزیابی

Table 4. Comparison of mean for cultivar interaction in salinity for evaluated traits

تیمار	رقم	میزان سدیم در خوشه	میزان پتاسیم در برگ پرچم	میزان پتاسیم در خوشه	میزان پتاسیم در ریشه	میزان منیزیم در برگ پرچم	میزان منیزیم در خوشه	میزان منیزیم در ریشه	نسبت سدیم به پتاسیم در برگ پرچم	نسبت سدیم به پتاسیم در خوشه	نسبت سدیم به پتاسیم در ریشه
نرمال	بورانی	۲/۹۳۹^{de}	۱۲۲/۸^{cd}	۱۷۵/۴^{c}	۲۱۲^{bc}	۲۵/۰۳^{bcd}	۲۳/۳۰^{def}	۲۶/۲۳^{cde}	۰/۰۱۴۹۹^{d}	۰/۰۱۶۸۸^{de}	۰/۰۱۰۶۶^{cd}
	مغان ۳	۲/۴۴۶^{e}	۱۶۹^{cd}	۱۸۳/۲^{c}	۱۴۹/۱^{cd}	۳۷/۴۸^{a}	۳۲/۲۰^{ab}	۳۷/۵۰^{a}	۰/۰۲۰۷۹^{cd}	۰/۰۱۳۳۵^{def}	۰/۰۲۰۵۴^{cd}
	سرخ تخم	۲/۱۶۱^{e}	۳۸۳/۸^{a}	۳۸۲/۴^{a}	۳۸۹/۸^{a}	۳۰/۵۸^{ab}	۱۵/۵۹^{g}	۳۰/۶۶^{bc}	۰/۰۰۷۵۰۵^{d}	۰/۰۰۵۶۴۹^{f}	۰/۰۰۶۳۵۳^{d}
	گاسپارد	۲/۱۰۶^{e}	۱۴۴/۳^{cd}	۱۷۷/۳^{c}	۱۵۱/۸^{cd}	۳۵/۹۴^{a}	۳۶/۵۵^{a}	۳۴/۷۱^{ab}	۰/۰۲۱۶۱^{cd}	۰/۰۱۱۸۸^{ef}	۰/۰۱۹۸۳^{cd}
	ماهوتی	۳/۱۳۹^{de}	۳۷۰/۳^{a}	۱۳۷/۵^{d}	۱۶۹^{bcd}	۲۲/۷۷^{cd}	۲۸/۰۷^{bcd}	۲۱/۹۶^{efg}	۰/۰۰۸۶۹۹^{d}	۰/۰۲۲۸۲^{d}	۰/۰۱۰۸۸^{cd}
	آرتا	۲/۷۵۱^{de}	۱۴۴/۲^{cd}	۲۰۱/۸^{c}	۱۷۳/۴^{bcd}	۲۷/۷۴^{bc}	۲۵/۱۸^{cde}	۲۷/۱۸^{cd}	۰/۰۲۳۰۳^{cd}	۰/۰۱۳۶۳^{def}	۰/۰۰۹۴۲۷^{cd}
شوری	بورانی	۳/۱۶۳^{de}	۲۵۹/۷^{b}	۲۰۵/۵^{c}	۱۴۴/۵^{cd}	۱۸/۱۳^{de}	۱۹/۳۴^{fg}	۱۹/۹۳^{fg}	۰/۰۱۴۶۴^{d}	۰/۰۱۵۳۹^{de}	۰/۰۲۶۵۷^{bc}
	مغان ۳	۷/۱۸۸^{a}	۱۸۹/۹^{bc}	۱۰۵/۳^{e}	۱۰۷/۹^{d}	۲۴/۶۸^{bcd}	۲۰/۷۶^{efg}	۲۹/۳۶^{c}	۰/۰۴۷۶۸^{b}	۰/۰۶۸۱۴^{a}	۰/۰۷۷۴۳^{a}
	سرخ تخم	۴/۲۰۶^{cd}	۱۹۰/۸^{bc}	۲۶۹/۸^{b}	۲۱۲/۲^{bc}	۲۱/۳۰^{cd}	۲۳/۱۰^{def}	۲۳/۸۱^{def}	۰/۰۲۱۰۹^{cd}	۰/۰۱۶۰۹^{de}	۰/۰۱۹۸۳^{cd}
	گاسپارد	۵/۰۸۳^{bc}	۱۸۳/۴^{bcd}	۱۳۸/۴^{d}	۱۷۴/۴^{cd}	۲۵/۱۱^{bcd}	۲۸/۹۸^{bc}	۲۵/۷۶^{cde}	۰/۰۳۴۴۰^{bc}	۰/۰۳۶۶۹^{c}	۰/۰۳۹۹۶^{b}
	ماهوتی	۳/۶۷۵^{cde}	۱۷۵/۹^{cd}	۱۹۴/۱^{c}	۲۳۶/۵^{b}	۱۳/۷۵^{e}	۱۵/۲۷^{g}	۱۸/۶۴^{g}	۰/۰۲۳۶۱^{cd}	۰/۰۱۸۸۰^{de}	۰/۰۱۲۵۹^{cd}
	آرتا	۵/۹۱۴^{ab}	۱۰۴/۲^{d}	۹۹/۸۳^{e}	۱۷۸/۱^{bcd}	۳۶/۷۱^{a}	۳۱/۳۵^{ab}	۳۶/۶۴^{a}	۰/۰۶۴۴۹^{a}	۰/۰۵۹۲۶^{b}	۰/۰۲۵۸۶^{bcd}

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

غلظت یون K^+

مقایسه میانگین غلظت یون K^+ در سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر نشان داد که با افزایش شوری غلظت یون K^+ در ریشه همه ارقام بجز ماهوتی و آرتا بطور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). مقایسه میانگین بافت‌های گیاه نشان داد که غلظت K^+ از ریشه به سمت بافت‌های هوایی بطور معنی‌داری افزایش یافته است، به گونه‌ای که در بین بافت‌های گیاهی در اکثر ارقام، عموما ریشه دارای پایین‌ترین میزان یون K^+ بود. گزارش شده است که در ارقام متحمل به شوری گیاه جو، تحمل شوری در ارتباط با توانایی گیاه جهت تسهیم یون Na^+ به داخل برگ و غلاف برگ‌ها و نیز تسهیم یون K^+ به داخل بافت‌های در حال رشد است (۴۹،۴). کاهش غلظت یون K^+ در شرایط تنش شوری در ریشه گیاه جو نیز گزارش شده است (۴۹). غلظت بسیار بالای یون Na^+ در ریشه‌ها از جذب یون K^+ جلوگیری می‌کند. همچنین گزارش شده است که جذب یون Na^+ به شدت با جذب یون K^+ رقابت می‌کند و سبب کاهش جذب یون K^+ در ریشه می‌شود (۴۳). علاوه بر این، افزایش غلظت K^+ در برگ برخی از گیاهان تحت تنش شوری نیز مشاهده شده است (۲۴). اگرچه غلظت یون K^+ در سطح کل بافت‌های گیاه و یا برخی از بافت‌ها با افزایش سطح شوری کاهش یافت ولی به طور کلی یون K^+ نقش مهمی در تحمل به تنش ایفا می‌نماید (۱۰). با توجه به نقش یون K^+ در کنترل تورژسانس، به نظر می‌رسد بازداری جذب این یون از رشد جلوگیری می‌کند (۴۳).

غلظت یون Mg^{2+}

غلظت یون منیزیم در تیمار شوری نسبت به تیمار نرمال عموما کاهش یافت. میزان کاهش غلظت منیزیم در تیمار شوری در ارقام حساس، حدود ۴۰ درصد و در ارقام متحمل حدود ۵۰ درصد بود. گرجی در سال ۲۰۰۸ در آزمایشی نشان داد که با افزایش شوری غلظت منیزیم در اندام هوایی و ریشه گلرنگ کاهش می‌یابد و با افزایش شوری میزان جذب منیزیم کاهش یافت، ولی با افزایش سطح شوری تا ۱۰ ds/m میزان منیزیم جذب شده توسط ریشه در گیاه ثابت نگه داشته شد و کاهشی در میزان منیزیم ریشه مشاهده نشد (۲۲). اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر غلظت منیزیم در برگ، ریشه و خوشه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج حاصل نشان داد که تنش شوری موجب کاهش رشد و جذب عنصر منیزیم می‌شود. محققین بر این باورند که بین منیزیم با کلسیم و پتاسیم برای محل‌های جذب روی غشای ریشه رقابت وجود دارد (۱۸،۶) آنها همچنین معتقدند که غلظت بالای منیزیم در خاک ممکن است با ایجاد کمبود کلسیم در گیاه، سبب کاهش تحمل آن به شوری شود. در سالهای اخیر، به دلیل استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، سطح و کیفیت اینگونه آبها به شدت کاهش یافته است که می‌توان به برهم‌خوردن تعادل میان عناصر منیزیم و کلسیم به نفع منیزیم اشاره کرد (۱۸).

نسبت Na^+/K^+

مقایسه میانگین سطوح شوری برای نسبت Na^+/K^+ نشان داد که با افزایش شوری، این نسبت در اکثر بافت‌های گیاهی و در همه ارقام بطور بسیار معنی‌داری افزایش یافت. بین ارقام از نظر نسبت Na^+/K^+ در کل بافت‌های گیاه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و رقم مغان ۳ با بیشترین مقدار در خوشه و ریشه و رقم آرتا در پهنک برگ با بیشترین مقدار این نسبت از لحاظ آماری در یک گروه و سایر ارقام در گروه دیگر قرار گرفتند (جدول ۴). به‌طور کلی کاهش این نسبت از ریشه به سمت اندام هوایی کاملا مشهود بود که دلیل اصلی این کاهش، افزایش میزان تجمع یون Na^+ در بافت هوایی همراه با کاهش تجمع یون K^+ در این بافت‌ها بود. ارقام متحمل به شوری نظیر بورانی، سرخ تخم و ماهوتی نسبت به سایر ارقام حساس در شرایط تنش به طور معنی‌داری مقادیر پایین تری از تجمع یون Na^+ و مقادیر پایینی از نسبت Na^+/K^+ را در برگ پرچم نشان دادند ولی تغییرات چندانی در غلظت یون K^+ برگ پرچم این ارقام حاصل نشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین نسبت Na^+/K^+ و غلظت یون Na^+ در برگ، درخوشه و در ریشه و عدم وجود همبستگی معنی‌دار با غلظت یون K^+ (جدول ۵) نشان می‌دهد که میزان تجمع یون Na^+، عامل اصلی بالا بودن این نسبت بوده و مستقل از غلظت یون K^+ است. افزایش غلظت یون Na^+ و افزایش Na^+/K^+ در پاسخ به تنش شوری در منابع متعددی گزارش شده است (۵۰،۴۸). در گندم مشخص شده است که تحمل شوری در ارتباط با انتقال مقادیر پایینی از Na^+ به بافت هوایی همراه با حفظ نسبت پایین Na^+/K^+ است (۴۹،۲۳). به‌عبارتی در ارقام دارای تحمل شوری میزان تجمع کمتر یون Na^+ و حفظ نسبت پایین Na^+/K^+در اندام‌های جوان گیاه به‌عنوان شاخصی جهت بهبود تحمل شوری استفاده می‌شود (۴۹،۳۳). همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد دانه بوته با میزان سدیم برگ (۰/۷۸۱-)، خوشه (۰/۸۸۹-) و ریشه (۰/۷۲۸-) نشان می‌دهد که دفع Na^+ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سازوکارهای تحمل شوری بوده و باعث حفظ فعالیت فتوسنتزی بالا جهت تولید ماده خشک بیشتر و همچنین تامین مواد پرورده لازم از برگ‌ها به اندام زایشی و دانه در طی مراحل قبل از گرده افشانی و پر شدن دانه می‌گردد (۳۲). همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد دانه و میزان تجمع Na^+ در ریشه ($r=-0/728$) مشاهده شد (جدول ۵). همبستگی منفی بین میزان تجمع Na^+ و تحمل شوری از لحاظ عملکرد دانه در این تحقیق، گزارش سایر تحقیقات را مورد تایید قرار می‌دهد (۵۴،۱،۳۹). با توجه به کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش شوری، تنظیم توزیع یونی از راه‌های مختلف از جمله انتخاب ارقام مقاوم و متحمل نسبت به تغییرات یونی می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از تنش شوری موثر باشد.

جدول ۵- مقادیر ضرایب همبستگی در صفات مورد ارزیابی

Table 5. Values of correlation coefficients in evaluated traits

صفت	میزان سدیم در برگ پرچم	میزان سدیم در خوشه	میزان سدیم در ریشه	میزان پتاسیم در برگ پرچم	میزان پتاسیم در خوشه	میزان پتاسیم در ریشه	میزان منیزیم در برگ پرچم	میزان منیزیم در خوشه	میزان منیزیم در ریشه	Na^+/K^+ در برگ پرچم	Na^+/K^+ در خوشه	Na^+/K^+ در ریشه	عملکرد دانه هر بوته
میزان سدیم در برگ پرچم	۱	۰/۸۷۵**	۰/۳۱۲	۰/۱۱۱	۰/۴۲۲	-۰/۴۳۷	۰/۶۴۵*	۰/۵۶۴	۰/۶۰۷*	۰/۸۳۵**	۰/۹۳۳**	۰/۸۸۷**	-۰/۷۸۱**
میزان سدیم در خوشه		۱	۰/۳۶۲	۰/۱۷۶	۰/۴۸۵	-۰/۴۱۲	۰/۵۶۲	۰/۳۷۰	۰/۴۹۸	۰/۸۳۰**	۰/۹۴۹**	۰/۸۲۱**	-۰/۸۸۹**
میزان سدیم در ریشه			۱	۰/۹۳۸**	۰/۹۲۳**	-۰/۴۳۶	۰/۶۴۱*	۰/۵۲۲	۰/۶۰۸*	۰/۶۹۱*	۰/۸۲۳**	۰/۹۶۳**	-۰/۷۲۸**
میزان پتاسیم در برگ پرچم				۱	۰/۸۷۶**	۰/۴۷۹	-۰/۴۵۱	-۰/۳۶۰	-۰/۳۶۰	-۰/۵۸۱*	-۰/۲۹۸	-۰/۱۹۶	۰/۲۸۱
میزان پتاسیم در خوشه					۱	۰/۸۳۸**	-۰/۲۰۶	-۰/۳۰۲	-۰/۱۸۸	-۰/۶۲۸*	-۰/۶۹۸*	-۰/۵۱۵	۰/۵۰۷
میزان پتاسیم در ریشه						۱	-۰/۳۹۲	-۰/۲۷۴	-۰/۴۲۶	-۰/۴۱۵	-۰/۴۶۷	-۰/۵۷۰	۰/۴۳۵
میزان منیزیم در برگ پرچم							۱	۰/۷۱۰**	۰/۹۷۱**	۰/۵۶۶	۰/۴۶۲	۰/۶۲۴*	-۰/۵۶۶
میزان منیزیم در خوشه								۱	۰/۶۲۹*	۰/۴۷۰	۰/۳۸۸	۰/۴۹۷	-۰/۳۳۰
میزان منیزیم در ریشه									۱	۰/۴۸۷	۰/۴۲۱	۰/۶۳۰*	-۰/۴۷۴
Na^+/K^+ در برگ پرچم										۱	۰/۸۸۴**	۰/۶۱۱*	-۰/۶۹۵*
Na^+/K^+ در خوشه											۱	۰/۸۰۲**	-۰/۷۷۵**
Na^+/K^+ در ریشه												۱	-۰/۶۶۰*
عملکرد دانه هر بوته													۱

منابع

1. Asch, F., M. Dingkuhn, K. Dorffling and K. Miezan. 2000. Leaf K+/Na+ ratio predicts salinity in induced yield loss in irrigated rice. Euphytica, 113(2): 109-118.
2. Bandehhagh, A., H. Kazemi, M. Valizade and A. Javanshir. 2004. Salt tolerance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars during vegetative and reproductive growth. Iranian Journal of Agricultureal Sciences, 35(1): 61-71.
3. Bhatti, M.A., A. Zulfiqar, A. Razaq and A.R. Jamali. 2004. Screening of wheat lines for saliny tolerance. International Journal of Agriculture and Biology, 6: 627-628.
4. Boursier, P., J. Lynch, A. Lauchli and E. Epstein. 1987. Chloride partitioning in leaves of salt Stressd sorghum, maize, wheat and barley. Australian Journal of Plant Physiology, 14(4): 463 -473.
5. Cherki, G., A. Foursy and K. Fares. 2002. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and prolin accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugare beet cultivares. Environ and Exper. Botany, 47: 39-50.
6. Chhipa, B.R. and P. Lal.1995. Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. Australian Journal of Agricultural Research, 46(3): 533-539.
7. Cramer, G.R., G.L. Alberico and C. Schmidet. 1994. Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. Australian Journal of Plant Physiology, 21(5): 675-692.
8. Davenport, R., R.A. James, A. Zakrisson- Plogander, M. Tester and R. Munns. 2005.Control of sodium transport in durum wheat. Plant Physiology, 137(3): 807-818.
9. EL.Hendauy, S.E., H. Yuncai, G.M. Yakoutb, A.M. Awad, S.E. Hafiz and U. Schmidhater. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. Europ. Journal Agron, 22: 243-253.
10. Epstein, E. 1998. How calcium enhances plant salt tolerance. *Science*, 280(5371), 1906-1907.
11. Erdei, L. and E. Taleisnik. 1993. Changes in water relation parameters under osmotic and salt tolerance in maize and sorghum. Physiology Plantarum, 89(2): 381-387.
12. Farshadfar, A., M.R. Zamani, M. Motalabi and A. Emam jome. 2001. Selected for drought tolerance in chickpea lines. Agricultural Sciences, 32(1): 65-77.
13. Fernandez, G.C.J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. PP: 257-270. In: C. G.KUO (ED), Adaptation of food crops to temperature and water stress, AVRDC, shanhua, Taiwan.
14. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought tolerance in spring wheat cultivares. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Reaserch, 29: 897- 912.
15. Flowers, T.J., P.F. Troke and A.R. Yeo. 1988. A physiological approach to breeding for resist ance. Inter. Cong. *Plant Physiol*. New Dehli India. 28: 183-221.
16. Forester, B.P., H. Pakniyat, M. Macaulay, W. Matheson, M.S. Phillips, W.T.B. Thomas and W. Powell. 1994. Variation in the leaf sodium content of the *Hordeum vulgare* (barley) cultivar Maythorpe and its derived mutant cv. Golden Promis. Heredity, 73: 249-253.
17. Francois, L.E., E.W. Mass, T.J. Donovan and V.L. Youngs. 1986. Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth and germination of semi-dwarf and durum wheat. Agron. J, 78: 1053-1060.
18. Ghadrian, M., H. Hasanpour, H. Darvishi, H. Mozaffari and T. Rahimi. 2013. Effect of salinity stress on potassium, magnesium, calcium and phosphorus content in mustard herb. National Conference on defective defense in agriculture, Qeshm Island, Iran.
19. Ghannadha, M.R., M. Omidi, R. Abdmishani and K. Poustini. 2005. A study of salt tolerance in genotypes of bread wheat using tissue culture and germination test. Iranian Journal of Agricultural Sciences, 36(1): 75-85.
20. Gholizadeh, A., H. Dehghani, A. Amini and O. Akbarpour. 2018. Investigation of the Genetic Diversity of Iranian Bread Wheat Germplasm for Tolerance to Saline Stress. Journal of Crop Breeding, 10(26):173-184.
21. Gorham, J., C. Hardy, R.G. Wyn Jones, L.R. Joppa and C.N. Law. 1987. Chromosomal location of a K/Na discriminating character in the D genome of wheat. Theoretical and Applied Genetics, 74: 584-588.
22. Gorji, M. 2008. Effects of the concentration of calcium and potassium in hydroponic nutrient solution on the response of safflower to salinity. M. SC. Thesis, Isfahan university of Technology, Isfahan.
23. Greenway, H. and R. Munns, 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology, 31: 149-190.
24. Hasegawa, P.M., R.A. Bressan and J.K. Zhu. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual Review of Plant Physiology, 51: 463-499.
25. Heydarnejad, S. and A. Ranjbar Ferdouei. 2014. Investigating the Effect of Salinity on Some Growth Characteristics and ion accumulation in *Seidlitzia rosmarinus* L. Desert Ecosystem Engineering Journal, 3(4): 1-10.
26. Hussain, S., R. Munns and A.G. Condon. 2003. Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. Australian Journal of Agricultural Research, 54(6): 589-597.
27. James, R.A., R.J. Davenport and R. Munns. 2006. Physiological characterization of two genes for Na+ exclosion in durum wheat, Nax1 and Nax2. Pant Physiology, 142: 1537-1547.
28. Lauchli, A. 1984. Salt exclusion: an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. In: RC Staples, ed, Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement. Wiley, New York, 171-187.

29. Mass, E.V. and C.M. Grieve. 1990. Spike and leaf development in salt stressed wheat. Crop Sciences, 30: 1309-1313.
30. Mohammad, M., R. Shibli, M. Ajouni and L. Nimri. 1998. Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. J. Plant Nutrition. 21: 1667-1680.
31. Molla Heydari Bafghi, R., A. Baghizadeh and G. Mohammadinezhad. 2017. Evaluation of Salinity and Drought Stresses Tolerance in Wheat Genotypes using Tolerance Indices. Journal of Crop Breeding, 9(23): 27-34.
32. Munns, R., G.J. Rebetzke, S. Husain, R.A. James and R.A. Hare. 2003. Genetic control of sodium exclusion in durum wheat. Australian Journal of Agricultural Research, 54: 627-635.
33. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanismes of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 651-681.
34. Netondo, G.W., J.C. Onyango and E. Beck. 2004. Sorghum and salinity: I. Response of growth, Water Relations and Ion Accumulation to NaCl Salinity. Crop Sciences, 44: 797-805.
35. Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. Plant Cell Environment, 20: 1193-1198.
36. Pakniyat, H., W.T.B. Thomas, P.D.S. Caligari and B.P. Forester. 1997. Comparision of salt tolerance of GPert and non-GPert barleys. Plant Breeding, 116: 189-191.
37. Pfetffer, C. and H. Bloss. 1988. Growth and nutrition of guayule (*Parthenium argentatum*) in a saline soil as influenced by vesicular–arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization. New Phytol, 108(3): 315-321.
38. Poustini, K. and M. Beraker. 1991. Interaction of two Triticum vulgar to salinity stress. Journal of Agriculture. SCi. Iran.
39. Poustini, K. and A. Siosemardeh. 2004. Ion distribution in wheat cultivares in responses to salinity stress. Field Crops Research, 85: 125-133.
40. Poustini, K., A. Siosemardeh and M. Ranjbar. 2007. Prolin accumulation as a response to salt stress in 30 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivares differing in salt tolerance. Genetic Resources and Crop Evolution, 54(5): 925-934.
41. Rashid, A. 1986. Mechanism of salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) Ph.D. thesis, Department of soil science, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
42. Rawson, H.M., R.A. Richards and R. Munns. 1988. An examination of selection criteria for salt tolerance in wheat, barley and triticale. Australian Journal of Agricultural Research, 39(5): 759-772.
43. Renault, S., C. Croser, J.A. Franklin and J.J. Zwiaazek. 2001. Effect of NaCl and Na2So4 on red-osier dogwood (*Cornus stolonifera Michx*). *Plant and Soil*, 233(2): 261-268.
44. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Sciences, 21: 943-946.
45. Sadat Noori, S.A., A. Roustaei and B. Foghi. 2006. Variability of salt tolerance for eleven traits bread wheat in different saline conditions. Agron. J, 5(1): 131-136.
46. Sagi, M., N.A. Savida, N.P. Lvov and S.H. Lips. 1997. Nitrate reductase and molybdenum cofactor in annual ryegrass as affected by salinity and nitrogen source. Physiologia Plantarum, 99(4): 546-553.
47. Schachtman, D.P., R. Munns and M.I. Whitecross. 1991. Variation in sodium exclusion and salt tolerance in Triticum tauschii. Crop Sciences, 31(4): 992-997.
48. Schachtman, D.P. and R. Munns. 1992. Sodium accumulation in leaves of Triticum species that differ in salt tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology*, 19(3): 331-340.
49. Wei, W., P.E. Bilsborrow, P. Hooley, D. Fincham, A.E. Lombi and B.P. Forester. 2003. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. Plant and Soil, 250(2): 183-191.
50. Weimberg, R.H., H.R. Lerner and A. Poljakoff-Mayber. 1984. Changes in growth and water soluble solute concentration in Sorghum bicolar with sodium and potassium salts. Physiologyia Plantarum, 62(3): 472-480.
51. Wolf, O., R. Munns, M.L. Tonnet and W.D. Jeschke. 1991. The role of the stem in the partitioning of Na+ and K+ in salt treated barley. Journal of Experimental Botany, 42(6): 697-704.
52. Yeo, A.R. and T.J. Flowers. 1984. Mechanism of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria plant breeding. pp: 151-170. In: salinity tolerance in Plants John. Willy. Pub. New York.
53. Yeo, A.R. and T.J. Flowers. 1986. Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline Soils. Australian Journal of Plant Physiology, 13(1): 161-173.
54. Zhu, J.K. 2001.Plant salt tolerance. Trends Plant Sciences, 6(2): 66-71.
55. Zhu, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transducation in plants. Annual Review of Plant Biology, 53: 247-273.

Evaluation of Seed Yield and Accumulation Status of Sodium, Potassium and Magnesium Ions in Different Tissues of Sensitive and Tolerant Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties

Amin Baghizadeh[1], Mahdieh Aram Kasmaie[2], Ghasem Mohammadi-nejad[3] and Babak Nakhoda[4]

1- Associate Professor, Department of Biotechnology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran,
(Corresponding author: amin_4156@yahoo.com)
2- Graduate M.Sc. Student, Department of Biotechnology, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
4- Department of Molecular Physiology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Karaj, Iran.
Received: Jun 28, 2018 Accepted: January 5, 2019

Abstract

Study of biochemical reactions of wheat cultivars to salinity stress can lead to identification of effective mechanisms for salinity tolerance. To determine the ion distribution pattern in wheat, and the effects of salinity stress and ion distribution on grain yield, this study was carried out. This research was conducted in a factorial experiment with two levels of salinity and six tolerant and sensitive wheat cultivars in two replications at research field of Shahid Bahonar University of Kerman on growing season of 2011-2012. The concentration of sodium (Na^{+}), potassium (K^{+}), magnesium (Mg^{2+}) ions and Na^{+} / K^{+} ratio in different tissues of the plant, including flag leaf, spike and root, and grain yield of each plant, were measured. The results of analysis of variance showed that the interaction effects of salinity on the cultivars were significant in most of the traits. The concentration of sodium ions from the roots to the shoots decreased significantly. With increasing salinity, K + concentration in root of all cultivars decreased significantly. Magnesium concentrations in leaf, spike and root decreased in salinity treatment compared to normal treatment. There was a significant difference between the cultivars in terms of Na^{+} / K^{+} ratio in all tissues and Moghan3 cultivar with the highest ratio in spike and root and Arta cultivar with the highest amount in flag leaf, were statistically in one group and other cultivars in the other group. According to the results of simple phenotypic correlation analysis, the sodium ion content in leaf, spike and root tissues had the highest and negative correlation with grain yield per plant. Regarding the reduction of wheat grain yield under salt stress conditions, one way to reduce the damage caused by salinity stress is through ion distribution regulation which can be done in different ways, including selection of tolerant and resistant cultivars against ionic changes.

Keywords: Salt stress, Ionic concentration, Grain yield