بررسی توزیع یونی در بافت‌های مختلف ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) با تحمل شوری متفاوت در شرایط تنش شوری

وحید اطلسی‌پاک[۱*] و امید بهمنی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۱۲)

چکیده

درک مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل به شوری به‌منظور انتخاب صفات مطلوب در ژنوتیپ‌های مختلف گندم در برنامه‌های اصلاحی ضروری است. سه رقم گندم نان متفاوت از نظر تحمل به شوری جهت ارزیابی توزیع یونی و واکنش‌های رشدی تحت شرایط شوری مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی توزیع یونی در گیاه، غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم و همچنین نسبت پتاسیم به سدیم در بافت‌های مختلف گیاه شامل ریشه، پهنک برگ سوم، غلاف برگ پرچم و پهنک برگ پرچم در آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار بررسی شد. زمانی که برگ چهارم به حداکثر سطح خود رسیده بود، چهار سطح شوری صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌عنوان تیمار شوری اعمال گردید. شوری ۱۵۰ میلی‌مولار اثر مشابهی بر ماده خشک اندام هوایی در هر سه رقم داشت. ماده خشک ریشه با افزایش شوری در همه ارقام کاهش پیدا کرد و در رقم حساس (تجن) در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار این کاهش بیشتر بود. اختلاف معنی‌داری بین جذب سدیم توسط ریشه ارقام مختلف مشاهده نگردید. غلظت سدیم از ریشه به سمت بافت هوایی کاهش یافت و تحمل به شوری در ارقام گندم با تجمع مقادیر پایینی از یون سدیم در برگ‌ها همراه بود. تفاوت عمده بین ارقام متحمل (ارگ و مهدوی) و حساس در انتقال سدیم به برگ‌های جوان به‌دلیل میزان کمتر انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی در رقم ارگ و نیز ظرفیت نگهداری و ممانعت از انتقال سدیم توسط غلاف در ورود این یون به پهنک برگ پرچم در رقم مهدوی بود. ارقام متحمل به شوری نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم را در پهنک برگ پرچم نسبت به رقم حساس داشتند. احتمالاً کاهش انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی و نگهداری آن در غلاف برگ به‌ویژه در برگ پرچم از صفاتی است که کنترل کننده میزان سدیم در پهنک برگ بوده و به‌نظر می‌رسد که از مهم‌ترین مکانیسم‌های درگیر در بهبود تحمل به شوری در ارقام متحمل باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، گندم، نسبت پتاسیم به سدیم، انتقال سدیم

۱. استادیار زراعت، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
*. مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: v.atlassi@gmail.com

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی بوده که موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌گردد (۲۶). املاح از طریق کاهش توانایی گیاه در جذب آب و ایجاد سمیت یونی در بافت‌های مختلف، اختلال در رشد گیاه را سبب می‌شود (۱۵). بنابراین واکنش گیاه به تنش شوری در طی زمان در دو مرحله می‌تواند اتفاق افتد: اول مرحله اسمزی و دوم مرحله یونی (۱۸). با شروع تنش شوری اثر اسمزی املاح در اطراف ریشه موجب کاهش رشد گیاه می‌گردد و اثرات مضر آن بیشتر از تأثیر ویژه یون‌ها می‌باشد (۱۶). تحمل به شوری در گندم با انتقال مقادیر پایین سدیم به اندام هوایی و انتخاب مقادیر بالای پتاسیم در مقابل سدیم در ارتباط می‌باشد (۱۱ و ۱۷). گندم نان در مقایسه با گندم دوروم سدیم کمتری را در اندام هوایی تجمع داده و دارای نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم می باشد (۶ و ۱۵). تجمع املاح در برگ‌ها می‌تواند موجب خروج آب از سلول‌ها و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های درگیر در متابولیسم کربوهیدرات شده و اثرات بازدارندگی بر فرایندهای فتوسنتزی داشته باشد (۱۸). در برخی ارقام گندم تحمل به شوری با تجمع سدیم در برگ‌ها مرتبط نبوده و تنوعی از تحمل در بافت‌ها یا سلول‌ها نسبت به سدیم مشاهده شده است (۱۲ و ۱۸). برخی از ارقام گندم با نگهداری یون‌های مضر و تجمع آنها در برگ‌های مسن مانع از انتقال آنها به برگ‌های جوان بالایی شده و موجب افزایش تحمل به شوری می‌گردند (۱۷ و ۱۸). بین تحمل به شوری و تجمع سدیم در گندم‌های نان و دوروم (۵، ۲۳، ۲۵ و ۲۷) همبستگی منفی یافت شده است، اما شواهد نشان می‌دهد که غلظت سدیم همیشه تعیین کننده تحمل به شوری در همه ارقام گندم نمی‌باشد و برخی مواقع بین غلظت نمک و تحمل به شوری همبستگی وجود ندارد (۱۷). ارقام گندم نان (هگزاپلوئید) از طریق کاهش انتقال سدیم به اندام هوایی، نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم را حفظ نموده و از این طریق باعث افزایش تحمل به شوری می‌گردد (۲۰ و ۲۷). بین ژنوتیپ‌های گندم از نظر توانایی ممانعت از ورود سدیم و حفظ نسبت‌های بالای پتاسیم به سدیم تنوع ژنتیکی وجود دارد (۱۸، ۲۵ و ۲۷). همبستگی مثبت بین تنوع ژنتیکی در ممانعت از ورود سدیم و تحمل به شوری از لحاظ ماده خشک یا عملکرد دانه در گندم نان یافت شده است (۱۷ و ۲۷). همچنین در ارقام گندم نان از لحاظ تجمع پتاسیم تفاوت ژنتیکی وجود دارد که این تفاوت به احتمال زیاد نتیجه تنوع ژنتیکی در جذب یون سدیم است (۱۸ و ۲۵). زیرا جذب یون‌های سدیم و پتاسیم از طریق کانال های مشابه صورت می‌گیرد (۲). در ارقام گندم نان تنوع بالایی از لحاظ نحوه توزیع یونی وجود دارد. از آنجایی که صفات فیزیولوژیک مانند ممانعت از ورود سدیم و نسبت پتاسیم به سدیم در مقایسه با عملکرد و ماده خشک کمتر تحت‌تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرند و نیز در زمان کمتری نسبت به عملکرد و ماده خشک به تنش شوری پاسخ می‌دهند (۱۷ و ۲۵) لذا هدف از انجام این تحقیق بررسی توزیع یونی و مکانسیم‌های کنترل کننده ورود و تجمع سدیم در برگ‌های ارقام مختلف گندم و نیز تعیین اثرات اسمزی و آثار ویژه یونی بر میزان رشد و عملکرد گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پاییز سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام‌نور مرکز همدان به اجرا درآمد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به‌صورت گلدانی به اجرا درآمد. دمای گلخانه در روز حدود ۲۴ و در شب ۱۶ درجه سانتی‌گراد بود. سه رقم گندم نان با میزان تحمل به شوری متفاوت شامل مهدوی، ارگ و تجن در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. رقم مهدوی و ارگ به‌عنوان ارقام متحمل (۲۳) و رقم تجن به‌عنوان رقم حساس (۲۳) در سطوح مختلف شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و کلرید کلسیم تکمیلی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. بذور سالم، هم اندازه و هم وزن توسط هیپوکلریت ۱٪ ضدعفونی شده و سپس در داخل گلدان‌ها (قطر ۲۵ سانتی‌متر) که حاوی مخلوطی از پرلایت، کوکوپیت و ورمیکولایت (به نسبت ۳ : ۳ : ۱) بودند

کشت گردید. هر واحد آزمایشی شامل ۶ گلدان بود. در ابتدا در هر گلدان حدود ۱۲ بوته کشت گردید. گلدان‌ها توسط آب شهری مورد آبیاری قرار گرفت. یک هفته پس از جوانه‌زنی، گلدان‌ها با نصف غلظت نهایی محلول هوگلند آبیاری شد و یک هفته پس از آن با غلظت نهایی هوگلند مورد آبیاری قرار گرفت. پس از اطمینان از استقرار بوته‌ها عملیات تنک انجام شد و در نهایت در هر گلدان ۵ بوته باقی ماند. میزان تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) در گلخانه حدود ۱۰۰۰ – ۹۰۰ میکرومول بر مترمربع برثانیه بود. پس از اینکه برگ چهارم به حداکثر سطح خود رسید، سطوح شوری اعمال گردید. به‌منظور جلوگیری از اثرات کمبود کلرید کلسیم در شرایط شوری، کلرید کلسیم تکمیلی نیز به غلظت ۴، ۸ و ۱۲ میلی‌مولار به‌ترتیب در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و۱۵۰ میلی‌مولار شوری اضافه گردید. هفت هفته پس از اعمال تیمار شوری از هر واحد آزمایشی ۱۰ بوته به‌منظور اندازه‌گیری غلظت سدیم و پتاسیم برداشت گردید و بوته‌ها پس از تفکیک به ریشه، پهنک برگ سوم، غلاف برگ پرچم و پهنک برگ پرچم با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفته و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. جهت تجزیه یون‌های سدیم و پتاسیم از روش اسید استیک ۰/۱ نرمال استفاده شد. اندازه‌گیری یون‌ها توسط دستگاه نشر شعله‌ای (Jenway-PFP7) انجام شد. اعمال تیمار شوری بر بوته‌های باقی‌مانده تا مرحله رسیدگی ادامه یافت. در پایان فصل (حدود ۱۷ هفته پس از کاشت) رشد ۲۰ بوته باقی‌مانده در هر واحد آزمایشی به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، ریشه، شاخص برداشت و عملکرد برداشت شدند. بدین منظور ابتدا ریشه از ساقه جدا گردیده و به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس وزن خشک کل اندام هوایی و ریشه‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد محاسبه و اندازه‌گیری گردید و سپس شاخص برداشت (نسبت وزن دانه به کل وزن خشک اندام هوایی) به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹,۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD استفاده گردید. ضرایب همبستگی بین صفات نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شد.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که وزن خشک اندام هوایی و ریشه تحت‌تأثیر شوری قرار گرفت. اثر رقم نیز بر صفات فوق معنی‌دار شد، اما بر همکنش بین شوری و رقم غیر معنی‌دار گردید (جدول ۱ و ۲). شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی نداشت اما در شوری ۱۵۰ میلی مولار مقدار آن ۱۷ درصد کاهش یافت (جدول ۳ و ۴). در ارقام مختلف نیز شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بر وزن خشک اندام هوایی تأثیر معنی‌داری نداشت اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار این کاهش در هر سه رقم معنی‌دار و تقریباً مشابه (حدود ۱۷ درصد) بود (جدول ۵). وزن خشک ریشه در هر سه رقم با افزایش شوری کاهش یافت. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار ارقام متحمل مهدوی و ارگ به‌ترتیب ۳۵/۷ و ۴۴/۶ درصد و رقم حساس تجن، ۵۳/۳ درصد کاهش وزن خشک ریشه را نشان دادند (جدول ۵). نسبت اندام هوایی به ریشه به تبعیت از کاهش وزن خشک ریشه در هر سه رقم دارای روند افزایشی بود اما از آنجا که تغییرات وزن خشک اندام هوایی در سطوح شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار ناچیز بود، تغییرات نسبت اندام هوایی به ریشه در رقم ارگ و تجن فقط در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار معنی‌دار شد، اما در رقم مهدوی این نسبت به‌دلیل کاهش کمتر وزن خشک ریشه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (در مقایسه با دو رقم دیگر) در هیچ‌یک از سطوح شوری تغییر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). اثر شوری بر عملکرد دانه معنی‌دار شد، اما بر همکنش بین شوری و رقم بر این صفت غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۱). عملکرد دانه در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری (۱۴/۵ درصد) از خود نشان داد ولی در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بدون تغییر باقی ماند (جدول ۳). در هر سه رقم در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار عملکرد دانه کاهش معنی‌داری داشت. رقم متحمل ارگ و

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف شوری، رقم و برهمکنش آنها بر وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه، عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه، شاخص برداشت، سدیم ریشه، پتاسیم ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم ریشه

منابع تغییرات	درجه آزادی	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی / ریشه	عملکرد	هزار دانه	تعداد دانه	شاخص برداشت	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم
تکرار	۲	۰/۰۵۳^{ns}	۰/۰۰۲*	۵۱/۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۶ ^{ns}	۱۵/۵۸^{ns}	۲۱/۸^{ns}	۷/۸۶^{ns}	۱۷۷۹^{ns}	۱۰۶۴۰*	۰/۲۵۹^{ns}
شوری	۲	۱/۰۴۴**	۰/۰۲۰**	۱۳۲**	۰/۰۸۸**	۸/۶۰ ^{ns}	۷۶/۳*	۳/۵۰^{ns}	۱۳۹۷۴۷**	۵۵۳۹۸**	۷/۰۹**
رقم	۲	۱۲/۴۳**	۰/۰۱۹**	۲۳/۱^{ns}	۰/۱۷۹**	۳۷۸**	۷۰/۶*	۵۸۹**	۶۱۵۳^{ns}	۷۴۴۱^{ns}	۰/۳۳۰*
رقم × شوری	۴	۰/۰۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۱۳/۴^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۱۹/۴۶^{ns}	۲۹/۱^{ns}	۳/۸۸^{ns}	۱۲۴۱^{ns}	۴۶۷۹^{ns}	۰/۳۳۶*
خطا	۱۲	۰/۰۷۴	۰/۰۰۰۶	۱۷/۸	۰/۰۰۷	۱۴/۳	۱۵/۴	۱۱/۵	۲۵۱۷	۲۷۶۶	۰/۰۸۴
ضریب تغییرات (%)		۶/۶	۱۳/۲	۱۷/۴	۶/۰۳	۹/۶	۱۰/۴	۹/۲	۱۵/۲	۱۷/۹	۱۹/۷

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

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف شوری، رقم و برهمکنش آنها بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در برگ سوم، غلاف و پهنک برگ پرچم

		پهنک برگ سوم			غلاف برگ پرچم			پهنک برگ پرچم		
منابع تغییرات	درجه آزادی	سدیم	پتاسیم	سدیم/ پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/ پتاسیم
تکرار	۲	۲۵۴۹^{ns}	۱۸۵۶۴^{ns}	۰/۲۶۹^{ns}	۱۱۸^{ns}	۵۵۶۲۱**	۳/۵۱*	۳۶/۴^{ns}	۷۶۲۹۳**	۱۱/۶۸*
شوری	۲	۴۵۴۳۵**	۲۶۷۱۱۳**	۴۶/۹**	۷۶۸۲**	۱۲۹۵۷۷**	۳۱/۶**	۳۳۳۳**	۲۴۹۲۰^{ns}	۳۳/۶**
رقم	۲	۸۵۶۲**	۱۲۸۳۶^{ns}	۱/۹۱^{ns}	۲۴۴^{ns}	۶۸۹۷۹**	۱/۴۳^{ns}	۱۳۶۶**	۵۲۲۷۴۶**	۷۶/۴**
رقم × شوری	۴	۴۳۱۴**	۳۵۳۴۵**	۳/۷۱**	۱۲۹۲**	۷۰۹۰۲**	۷/۵۰**	۵۷۵**	۳۰۷۷۳ ^{ns}	۹/۵۹**
خطا	۱۲	۹۹۱	۵۴۱۳	۰/۵۶۱	۸۷	۸۸۹۵	۰/۷۴۷	۹۰	۱۱۵۵۵	۲/۰۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۵/۹	۹/۸	۱۶/۵	۶/۲۲	۹/۷	۱۲/۶	۹/۳	۱۱/۸	۱۵/۱

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

جدول ۳. مقایسه میانگین وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه، عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه، شاخص برداشت در ارقام و سطوح مختلف شوری

تیمار	وزن اندام هوایی (گرم در گیاه)	وزن ریشه (گرم در گیاه)	ریشه/اندام هوایی	عملکرد (گرم در گیاه)	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد دانه	شاخص برداشت (درصد)
شوری (میلی مولار)							
صفر	۴/۳۱^{a}	۰/۲۵۷^{a}	۱۶/۹^{c}	۱/۵۲^{a}	۳۷/۹^{a}	۴۰/۸^{a}	۳۶/۵^{a}
۵۰	۴/۲۷^{a}	۰/۲۰۶^{ab}	۲۰/۷^{bc}	۱/۵۰^{a}	۴۰/۰^{a}	۳۷/۸^{ab}	۳۶/۶^{a}
۱۰۰	۴/۱۹^{a}	۰/۱۸۶^{bc}	۲۳/۳^{ab}	۱/۴۸^{a}	۳۹/۳^{a}	۳۷/۵^{ab}	۳۶/۴^{a}
۱۵۰	۳/۵۸^{b}	۰/۱۴۳^{c}	۲۵/۸^{a}	۱/۳۰^{b}	۴۰/۵^{a}	۳۳/۷^{b}	۳۷/۷^{a}
رقم							
مهدوی	۴/۵۱^{b}	۰/۱۹۹^{b}	۲۳/۲^{a}	۱/۵۱^{a}	۴۱/۰^{b}	۳۷/۲^{ab}	۳۳/۶^{b}
ارگ	۴/۸۳^{a}	۰/۲۳۷^{a}	۲۱/۳^{a}	۱/۵۳^{a}	۴۳/۹^{a}	۳۵/۱^{b}	۳۲/۰^{b}
تجن	۲/۹۳^{c}	۰/۱۵۸^{c}	۲۰/۵^{a}	۱/۳۱^{b}	۳۳/۱^{c}	۴۰/۰^{a}	۴۴/۸^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در هر تیمار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند.

جدول ۴. مقایسه میانگین غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه، برگ سوم، غلاف و پهنک برگ پرچم در ارقام و سطوح مختلف شوری

	ریشه			پهنک برگ سوم			غلاف برگ پرچم			پهنک برگ پرچم		
	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم
تیمار	(میکرومول بر گرم ماده خشک)			(میکرومول بر گرم ماده خشک)			(میکرومول بر گرم ماده خشک)			(میکرومول بر گرم ماده خشک)		
شوری (میلی مولار)												
صفر	۱۵۳^{d}	۳۶۱^{a}	۲/۴۴^{a}	۱۲۷^{c}	۹۱۶^{a}	۷/۳۸^{a}	۱۲۱^{c}	۱۰۸۶^{a}	۹/۰۵^{a}	۸۳^{c}	۹۵۲^{a}	۱۱/۵^{a}
۵۰	۳۴۰^{c}	۳۵۸^{a}	۱/۰۶^{b}	۱۶۹^{b}	۸۵۲^{a}	۵/۱۱^{b}	۱۴۲^{b}	۱۰۴۰^{a}	۷/۳۱^{b}	۱۰۲^{b}	۹۳۲^{a}	۹/۲^{ab}
۱۰۰	۳۸۲^{b}	۲۴۹^{b}	۰/۶۶۷^{bc}	۱۹۸^{b}	۶۹۲^{b}	۳/۶۶^{c}	۱۴۶^{b}	۹۳۹^{b}	۶/۴۳^{b}	۹۴^{bc}	۹۰۶^{ab}	۱۰/۱^{a}
۱۵۰	۴۴۲^{a}	۲۰۵^{b}	۰/۴۷۲^{c}	۲۹۴^{a}	۵۳۱^{c}	۱/۹۹^{d}	۱۹۰^{a}	۸۱۵^{c}	۴/۵۴^{c}	۱۲۸^{a}	۸۳۲^{b}	۶/۹^{b}
رقم												
مهدوی	۳۳۸^{a}	۳۱۱^{b}	۱/۳۱^{a}	۲۲۴^{a}	۷۱۳^{b}	۴/۰۷^{b}	۱۵۲^{a}	۹۸۹^{a}	۶/۸۷^{a}	۱۰۲^{b}	۱۰۴۷^{a}	۱۰/۵^{a}
ارگ	۳۰۳^{a}	۳۰۴^{ab}	۱/۱۸^{ab}	۱۷۰^{b}	۷۷۹^{a}	۴/۷۵^{a}	۱۴۵^{a}	۱۰۳۴^{a}	۷/۱۵^{a}	۹۱^{c}	۱۰۰۴^{a}	۱۱/۲^{a}
تجن	۳۴۶^{a}	۲۶۵^{b}	۰/۹۸۵^{b}	۱۹۷^{ab}	۷۵۱^{ab}	۴/۷۸^{a}	۱۵۲^{a}	۸۸۶^{b}	۶/۴۷^{a}	۱۱۲^{a}	۶۶۶^{b}	۶/۵^{b}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون در هر تیمار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۵. اثر برهمکنش شوری و رقم بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت اندام هوایی به ریشه، عملکرد، وزن هزار دانه، تعداد دانه و شاخص برداشت

رقم	شوری (میلی‌مولار)	اندام هوایی (گرم در گیاه)	شاهد (درصد)	ریشه (گرم در گیاه)	شاهد (درصد)	اندام هوایی / ریشه	شاهد (درصد)	عملکرد (گرم در گیاه)	شاهد (درصد)	هزار دانه (گرم)	شاهد (درصد)	تعداد دانه	شاهد (درصد)	شاخص برداشت (درصد)	شاهد (درصد)
مهدوی	صفر	۴/۷۳^{ab}	۱۰۰	۰/۲۴۲^{b}	۱۰۰	۱۹/۶^{bcd}	۱۰۰	۱/۶۱^{a}	۱۰۰	۳۶/۲^{bcd}	۱۰۰	۴۴/۷^{a}	۱۰۰	۳۴/۰^{b}	۱۰۰
	۵۰	۴/۶۹^{ab}	۹۹/۱	۰/۲۱۰^{bc}	۹۰/۷	۲۱/۲^{abcd}	۱۰۸	۱/۵۸^{a}	۹۸	۴۱/۴^{abc}	۱۱۴	۳۸/۱^{abc}	۸۵	۳۳/۶^{b}	۹۸/۸
	۱۰۰	۴/۷۱^{ab}	۹۹/۵	۰/۱۸۰^{cde}	۷۴/۴	۲۶/۸^{ab}	۱۳۶	۱/۴۸^{ab}	۹۲	۴۲/۳^{ab}	۱۱۶	۳۵/۱^{cd}	۷۸	۳۱/۹^{b}	۹۳/۸
	۱۵۰	۳/۹۱^{c}	۸۲/۶	۰/۱۵۶^{e}	۶۴/۳	۲۵/۱^{ab}	۱۲۸	۱/۳۸^{b}	۸۶	۴۳/۶^{a}	۱۲۴	۳۱/۶^{d}	۷۰	۳۴/۷^{b}	۱۰۲
ارگ	صفر	۵/۱۳^{a}	۱۰۰	۰/۳۱۴^{a}	۱۰۰	۱۶/۳^{cd}	۱۰۰	۱/۵۶^{a}	۱۰۰	۴۵/۷^{a}	۱۰۰	۳۴/۰^{cd}	۱۰۰	۳۰/۴^{b}	۱۰۰
	۵۰	۵/۱۰^{a}	۹۹/۴	۰/۲۴۰^{b}	۷۶/۴	۲۱/۳^{abcd}	۱۲۹	۱/۵۸^{a}	۱۰۱	۴۴/۳^{a}	۹۷	۳۵/۷^{cd}	۱۰۵	۳۱/۳^{b}	۱۰۲
	۱۰۰	۴/۸۰^{a}	۹۳/۵	۰/۲۲۳^{bc}	۷۱	۲۲/۸^{abc}	۱۳۹	۱/۶۰^{a}	۱۰۲	۴۳/۷^{a}	۹۵/۶	۳۷/۰^{bcd}	۱۰۸	۳۳/۳^{b}	۱۰۹
	۱۵۰	۴/۳۰^{bc}	۸۳/۸	۰/۱۷۴^{de}	۵۵/۴	۲۴/۷^{ab}	۱۵۱	۱/۴۰^{b}	۸۹	۴۱/۹^{ab}	۹۱/۶	۳۳/۸^{cd}	۹۹	۳۳/۰^{b}	۱۰۸
تجن	صفر	۳/۰۸^{d}	۱۰۰	۰/۲۱۵^{bcd}	۱۰۰	۱۴/۷^{d}	۱۰۰	۱/۳۸^{b}	۱۰۰	۳۱/۹^{d}	۱۰۰	۴۳/۶^{ab}	۱۰۰	۴۵/۰^{a}	۱۰۰
	۵۰	۳/۰۲^{d}	۹۸	۰/۱۶۰^{e}	۷۴/۶	۱۹/۵^{bcd}	۱۳۲	۱/۳۵^{b}	۹۷/۸	۳۵/۰^{cd}	۱۰۷	۳۹/۶^{abc}	۹۱	۴۴/۶^{a}	۹۹
	۱۰۰	۳/۰۷^{d}	۹۹/۵	۰/۱۵۵^{e}	۷۲	۲۰/۱^{bcd}	۱۳۵	۱/۳۵^{b}	۹۷/۸	۳۳/۴^{d}	۱۰۴	۴۰/۳^{abc}	۹۲	۴۴/۰^{a}	۹۷/۷
	۱۵۰	۲/۵۵^{e}	۸۲/۷	۰/۱۰۰^{f}	۴۶/۷	۲۷/۷^{a}	۱۸۸	۱/۱۶^{c}	۸۴	۳۱/۹^{d}	۱۰۰	۳۶/۳^{cd}	۸۳	۴۵/۵^{a}	۱۰۱
LSD (1٪)		۰/۴۷۲		۰/۰۴۵		۷/۳		۰/۱۵		۶/۵		۶/۸		۵/۸۸	

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

شاهد: تغییر مقدار صفت مورد نظر در تیمارهای مختلف در مقایسه با تیمار شاهد برحسب درصد.

مهدوی به‌ترتیب ۱۰ و ۱۴ درصد و رقم تجن ۱۶ درصد کاهش عملکرد از خود نشان داد (جدول ۵). اثر شوری بر وزن هزار دانه غیر معنی‌دار اما بر تعداد دانه معنی‌دار شد (جدول ۱). شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار بر تعداد دانه اثر معنی‌داری نداشت اما شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تعداد دانه را ۱۷/۵ درصد کاهش داد (جدول ۳). تعداد دانه در رقم ارگ با افزایش شوری بدون تغییر ماند اما در رقم مهدوی و تجن افزایش شوری تعداد دانه را کاهش داد. وزن هزار دانه در رقم ارگ و تجن تغییر معنی‌داری از خود نشان نداد اما رقم مهدوی در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری از خود نشان داد (جدول ۵). اثر شوری بر شاخص برداشت غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱) و هیچ یک از سطوح شوری اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشتند (جدول ۳). در ارقام مختلف و سطوح مختلف شوری نیز تغییری در شاخص برداشت مشاهده نشد (جدول ۵). مقدار سدیم در همه بافت‌های گیاه (ریشه، پهنک برگ سوم، غلاف برگ پرچم و پهنک برگ پرچم) با افزایش غلظت شوری افزایش یافت.

تجمع سدیم در ریشه و غلاف برگ پرچم در هر سه رقم یکسان بود اما رقم ارگ کنترل مطلوب‌تری در تجمع سدیم در برگ سوم داشت (جدول ۴). همچنین رقم ارگ ممانعت بیشتری نسبت به تجمع سدیم در پهنک برگ پرچم اعمال نمود. رقم مهدوی و تجن در همه بافت‌ها به‌جز برگ پرچم دارای مقدار سدیم یکسانی بودند (جدول ۴). غلظت سدیم از ریشه به سمت اندام هوایی کاهش معنی‌داری داشت و در بافت‌های هوایی، برگ سوم سدیم بیشتری را نسبت به برگ پرچم در خود تجمع داد. در هر سه رقم مقدار سدیم برگ پرچم با افزایش شوری افزایش داشت اما تفاوت بین غلظت سدیم برگ پرچم در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار غیر معنی‌دار بود (جدول ۷). در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مقدار سدیم برگ پرچم در رقم ارگ نسبت به ارقام مهدوی و تجن کمتر بود اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بین ارقام مهدوی و ارگ تفاوتی ملاحظه نشد و مقدار سدیم برگ پرچم در رقم تجن در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار بیشتر از ارقام متحمل بود (جدول ۷). در همه ارقام درصد بالاتری از سدیم ورودی به برگ پرچم توسط غلاف برگ پرچم نگهداری شد و انتقال آن به پهنک برگ پرچم کنترل گردید. در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در رقم مهدوی حدود ۵۸ درصد از سدیم ورودی به غلاف برگ پرچم به پهنک برگ پرچم انتقال یافت درصورتی‌که در رقم تجن این مقدار به ۷۴ درصد افزایش یافت (جدول ۶ و ۷). با افزایش غلظت شوری مقدار پتاسیم در همه بافت‌های گیاه روندی کاهشی داشت اما در شوری ۵۰ میلی‌مولار این کاهش غیر معنی‌دار بود. در پهنک برگ پرچم شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نیز بر مقدار پتاسیم بی‌تأثیر بود (جدول ۴). اختلاف معنی‌داری بین پتاسیم ارقام در غلاف برگ پرچم و پهنک برگ پرچم وجود داشت و رقم حساس تجن نسبت به رقم مهدوی و ارگ پتاسیم کمتری داشت (جدول ۴). ارقام متحمل در هر سه سطح شوری نسبت به رقم حساس پتاسیم بیشتری را در پهنک برگ پرچم حفظ نمودند (جدول ۷).

بحث

در این آزمایش وزن خشک اندام هوایی در تیمار شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار تأثیر معنی‌دار نداشت، اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در همه ارقام کاهش معنی‌داری از خود نشان داد. وزن خشک اندام هوایی می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تحمل به شوری به‌کار رود (۲۳ و ۲۵). همبستگی منفی و معنی‌دار ($r = -۰/۴۹$) بین وزن خشک اندام هوایی و مقدار سدیم برگ (میانگین غلظت یون سدیم در برگ سوم و پرچم) نشان می‌دهد (جدول ۸) که غلظت سدیم در برگ‌ها می‌تواند به‌عنوان صفتی جهت ارزیابی تحمل به شوری در گندم به‌کار رود. همبستگی منفی بین غلظت سدیم در برگ‌ها و تولید ماده خشک در گندم در مطالعات متعددی گزارش گردیده است (۱۲، ۲۳ و ۲۴). نتایج این آزمایش نشان داد که در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار غلظت سدیم در برگ‌های ارقام متحمل و حساس متفاوت بوده اما نسبت کاهش وزن خشک اندام هوایی در هر سه رقم در

جدول ۶. اثر برهمکنش شوری و رقم بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه، برگ سوم و غلاف برگ پرچم

رقم	شوری (میلی‌مولار)	ریشه			پهنک برگ سوم			غلاف برگ پرچم		
		سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم	سدیم	پتاسیم	سدیم/پتاسیم
		(میکرومول بر گرم ماده خشک)			(میکرومول بر گرم ماده خشک)			(میکرومول بر گرم ماده خشک)		
مهدوی	صفر	۱۴۲^{e}	۴۳۴^{a}	۳/۱۶^{a}	۱۳۲^{de}	۹۷۹^{a}	۷/۳۹^{b}	۱۱۶^{d}	۹۸۹^{cd}	۸/۵^{b}
	۵۰	۳۴۹^{cd}	۳۴۱^{bc}	۰/۹۷۶^{cd}	۱۷۶^{bcd}	۸۹۹^{a}	۵/۱۳^{cd}	۱۴۷^{bc}	۱۱۴۱^{ab}	۷/۷^{bc}
	۱۰۰	۳۹۹^{abc}	۲۷۰^{cd}	۰/۶۷۴^{de}	۲۲۸^{b}	۶۰۸^{e}	۲/۷۴^{fg}	۱۴۲^{bc}	۱۰۲۹^{bc}	۷/۲^{bc}
	۱۵۰	۴۶۱^{a}	۱۹۸^{de}	۰/۴۴۱^{e}	۳۵۹^{a}	۳۶۸^{f}	۱/۰۳^{h}	۲۰۵^{a}	۷۹۹^{de}	۳/۹^{de}
ارگ	صفر	۱۵۸^{e}	۳۳۱^{bc}	۲/۱۱^{b}	۱۴۵^{de}	۸۵۹^{ab}	۵/۸۹^{e}	۱۳۲^{c}	۱۰۴۹^{bc}	۷/۹^{bc}
	۵۰	۳۰۶^{d}	۳۶۹^{b}	۱/۲۱^{c}	۱۵۸^{cd}	۹۱۹^{a}	۵/۸۵^{e}	۱۴۷^{bc}	۱۰۱۹^{bc}	۶/۹^{c}
	۱۰۰	۳۳۵^{cd}	۲۶۷^{cd}	۰/۸۰۳^{cde}	۱۶۶^{cd}	۷۰۸^{cde}	۴/۲۵^{de}	۱۴۸^{bc}	۱۰۲۹^{bc}	۶/۹^{c}
	۱۵۰	۴۱۴^{abc}	۲۵۱^{cde}	۰/۶۰۴^{de}	۲۱۲^{bc}	۶۲۸^{de}	۳/۰۰^{efg}	۱۵۱^{b}	۱۰۳۹^{bc}	۶/۸^{c}
تجن	صفر	۱۵۸^{e}	۳۱۸^{bc}	۲/۰۳^{b}	۱۰۳^{e}	۹۰۹^{a}	۸/۸۵^{a}	۱۱۴^{d}	۱۲۲۰^{a}	۱۰/۶^{a}
	۵۰	۳۶۴^{bcd}	۳۶۴^{ab}	۱/۰۰^{cd}	۱۷۳^{cd}	۷۳۹^{bcd}	۴/۳۵^{d}	۱۳۳^{c}	۹۵۹^{cd}	۷/۲^{bc}
	۱۰۰	۴۱۱^{abc}	۲۱۱^{de}	۰/۵۲۴^{de}	۲۰۰^{bc}	۷۵۹^{bc}	۳/۹۹^{def}	۱۴۸^{bc}	۷۵۹^{ef}	۵/۱^{d}
	۱۵۰	۴۵۰^{ab}	۱۶۷^{e}	۰/۳۷۲^{e}	۳۱۲^{a}	۵۹۸^{e}	۱/۹۳^{gh}	۲۱۵^{a}	۶۰۸^{f}	۲/۸^{e}
		۸۶/۸	۹۱	۰/۵۰۳	۵۴/۵	۱۲۷	۱/۲۹	۱۶/۱	۱۶۳	۱/۴۹

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

جدول ۷. اثر برهمکنش شوری و رقم بر غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در پهنک برگ پرچم

رقم	شوری (میلی‌مولار)	سدیم (میکرومول بر گرم ماده خشک)	پتاسیم	سدیم/ پتاسیم
مهدوی	صفر	۸۶^{defg}	۱۰۸۹^{ab}	۱۲/۷^{ab}
	۵۰	۱۰۲^{cd}	۱۱۰۹^{a}	۱۰/۸^{bc}
	۱۰۰	۹۹^{cde}	۱۰۶۹^{ab}	۱۰/۸^{bc}
	۱۵۰	۱۲۰^{b}	۹۱۹^{bc}	۷/۶^{de}
ارگ	صفر	۸۴^{efg}	۹۱۹^{bc}	۱۰/۹^{bc}
	۵۰	۹۵^{cdef}	۱۰۱۹^{abc}	۱۰/۶^{bc}
	۱۰۰	۸۰^{fg}	۱۰۷۹^{ab}	۱۳/۵^{a}
	۱۵۰	۱۰۴^{bc}	۹۹۹^{abc}	۹/۵^{cd}
تجن	صفر	۷۷^{g}	۸۴۹^{cd}	۱۰/۹^{bc}
	۵۰	۱۱۰^{bc}	۶۶۸^{de}	۶/۱^{e}
	۱۰۰	۱۰۲^{cd}	۵۶۸^{e}	۵/۵^{ef}
	۱۵۰	۱۶۰^{a}	۵۷۸^{e}	۳/۶^{f}
LSD (1٪)		۱۶/۴	۱۸۶	۲/۴۷

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

شوری ۱۵۰ میلی‌مولار یکسان (حدود ۱۷ درصد) است. این موضوع نشان‌دهنده این است که اثر املاح بر کاهش رشد در این سطح از شوری عمدتاً به‌دلیل اثرات اسمزی نمک بوده است نه اثرات ویژه یونی. مشخص شده است که شوری سبب ایجاد تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ‌های رشدی بدون ایجاد سمیت یونی ناشی از تنش شوری می‌گردد (۲۵ و ۲۷). آزمایشات متعدد نشان داده است که عامل عمده کاهش وزن خشک اندام هوایی در سطوح متوسط و بالای شوری اثرات اسمزی حاصل از املاح می باشد نه اثرات ویژه یونی (۱۱، ۱۲، ۱۷، ۲۶ و ۲۷). اثرات اسمزی املاح با تأثیر بر فتوسنتز و اسیمیلات کربن منجر به کاهش رشد و وزن خشک اندام هوایی می‌گردد (۱۸ و ۲۷). وزن خشک ریشه در همه ارقام با افزایش شوری دارای روندی کاهشی بود. در شوری ۵۰ میلی‌مولار رقم مهدوی کاهش ناچیزی در وزن خشک ریشه داشت اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار رقم تجن بیشترین کاهش را در وزن خشک ریشه (۵۴ درصد) از خود نشان داد. این موضوع نشان می‌دهد که وزن خشک ریشه می‌تواند به‌عنوان شاخص مهمی جهت بهبود تحمل به شوری به‌کار رود. در تحقیقات متعددی وزن خشک ریشه به‌عنوان ملاک انتخاب جهت تحمل به شوری در گندم معرفی گردیده است (۲۶، ۲۷ و ۲۸). محققین شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را غلظت مطلوبی جهت بروز اختلاف در رشد ریشه ارقام گندم معرفی نموده‌اند (۲۶). در این تحقیق روند تغییرات وزن خشک ریشه نسبت به وزن خشک اندام هوایی متفاوت بود به‌طوری‌که وزن خشک ریشه با افزایش شوری کاهش بیشتری از خود در مقایسه با وزن خشک اندام هوایی نشان داد. بنابراین به‌نظر می‌رسد در این آزمایش فراهمی اسیمیلات در اندام هوایی عامل کاهش رشد ریشه‌ها نبوده است. آزمایشات بر روی ریشه گندم نشان داده است که عامل کاهش رشد ریشه در سطوح متوسط و بالای شوری عمدتاً اثرات اسمزی املاح می‌باشد و دلیل آن این است که غلظت

جدول ۸. همبستگی بین عملکرد، تعداد دانه، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، وزن خشک اندام هوایی، سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم برگ

صفات	عملکرد	تعداد دانه	وزن هزار دانه	شاخص برداشت	اندام هوایی	سدیم برگ	پتاسیم برگ	پتاسیم/ سدیم
عملکرد	۱							
تعداد دانه	۰/۴۸۹**	۱						
وزن هزار دانه	۰/۲۰۲ns	-۰/۷۴۴**	۱					
شاخص برداشت	۰/۴۹۶**	۰/۳۶۱*	-۰/۶۳۳**	۱				
اندام هوایی	۰/۷۴۵**	-۰/۱۹۱ns	۰/۶۷۳**	-۰/۹۳۹**	۱			
سدیم برگ	-۰/۵۸۲**	-۰/۱۲۰ns	-۰/۳۰۱ns	۰/۳۲۳ns	-۰/۴۹۰**	۱		
پتاسیم برگ	۰/۵۹۸**	-۰/۰۲۷ns	۰/۴۴۴**	-۰/۷۴۰**	۰/۷۶۵**	-۰/۴۴۵**	۱	
سدیم/ پتاسیم	۰/۶۰۴**	۰/۰۹۰ns	۰/۳۴۳*	-۰/۶۱۶**	۰/۶۹۴**	-۰/۷۶۶**	۰/۸۵۹**	۱

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

با کلرید سدیم در اطراف محیط سدیم ریشه پایین‌تر از آستانه سمیت قرار دارد (۱۷ و ۲۶). تحقیقات نشان داده است که کاربرد مانیتول (زمانی که اثر اسمزی مشابهی ریشه اعمال نموده است) و کلرید سدیم اثرات مشابهی در کاهش رشد ریشه داشته است که این موضوع نشان‌دهنده این است که عامل محدود کننده رشد ریشه عمدتاً اثرات اسمزی املاح می‌باشد (۳۰ و ۳۲). نتایجی مبنی بر کاهش بیشتر وزن خشک ریشه نسبت به اندام هوایی تحت شرایط شوری در گیاه گندم وجود دارد (۲۶). از آنجا که با افزایش شوری رشد ریشه نسبت به اندام هوایی کاهش بیشتری داشته است نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه دارای روندی افزایشی بود، اما با توجه به کاهش کمتر رشد ریشه در بالاترین سطح شوری در رقم مهدوی این افزایش (۲۸ درصد) کمتر از رقم حساس تجن بود. به‌دلیل اینکه کاهش وزن خشک اندام هوایی در هر سه رقم در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار یکسان بود، نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه با توجه به کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در رقم تجن، نسبت به رقم مهدوی و ارگ افزایش بیشتری (۸۸ درصد) از خود نشان داد. اثرات مضر شوری بر کاهش بیشتر رشد ریشه نسبت به اندام هوایی و افزایش بیشتر نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه در ارقام حساس نسبت به ارقام مقاوم توسط محققین گزارش شده است (۲۶). عملکرد دانه در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار کاهشی از خود نشان نداد اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار در همه ارقام دارای کاهشی معنی‌دار بود. وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین غلظت سدیم برگ و عملکرد دانه ($r = -0/582$) (جدول ۸) نشان می‌دهد که فعالیت منبع، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و رقم حساس که سدیم بیشتری را در برگ‌های خود تجمع داده، از این نظر بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته است. همبستگی منفی بین غلظت سدیم برگ و تحمل شوری از لحاظ عملکرد دانه در سایر تحقیقات گزارش گردیده است (۲۳، ۲۷ و ۳۱). در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش عملکرد در رقم تجن بیشتر از رقم متحمل ارگ بود که با مقایسه مقدار یون سدیم برگ در این دو رقم می‌توان پیشنهاد نمود که غلظت سدیم برگ می‌تواند به‌عنوان شاخص مطلوبی از تحمل به شوری در نظر گرفته شود. همچنین این موضوع نشان می‌دهد که در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار با توجه به اینکه مقدار سدیم برگ در رقم حساس تجن بیشتر از ارگ می‌باشد، اثرات ویژه یون سدیم بر کاهش عملکرد دانه بیشتر از اثرات اسمزی املاح می‌باشد و

می‌تواند اثرات منفی بر تشکیل اندام‌های زایشی و عملکرد دانه داشته باشد (۱۸ و ۲۷). وجود اختلاف در سدیم برگ در سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ارقام مختلف و عدم کاهش عملکرد در هر سه رقم ثابت کرد که در این سطح از شوری اثرات ویژه یونی در کاهش عملکرد فاقد تأثیر مهم و معنی‌دار می‌باشد. وزن هزار دانه در رقم ارگ بدون تغییر بود اما در رقم مهدوی شوری ۱۵۰ میلی‌مولار موجب افزایش وزن هزار دانه (۲۴ درصد) شد. گاهی اوقات کاهش تعداد مخازن فیزیولوژیکی در اثر تنش موجب افزایش وزن دانه می‌گردد اما از آنجا که تعداد دانه در گندم نقش تعیین کننده‌تری در تولید عملکرد دارد، افزایش وزن دانه‌های باقی‌مانده جبران کاهش تعداد دانه را نخواهد کرد (۹). افزایش وزن هزار دانه در اثر تنش شوری در برخی آزمایشات مورد تأیید قرار گرفته است (۱۰). در رقم تجن شوری ۱۵۰ میلی‌مولار موجب کاهش معنی‌داری در تعداد دانه شد. قابلیت دسترسی به اسیمیلات قبل از گرده‌افشانی تعیین کننده تعداد دانه و بعد از گرده افشانی تعیین کننده وزن دانه می‌باشد (۹ و ۲۳). در رقم متحمل ارگ درسطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تعداد دانه و وزن هزار دانه دچار تغییر معنی‌داری نشد و در نهایت تغییر میزان عملکرد نسبت به رقم حساس پایین‌تر بود. بین وزن هزار دانه و عملکرد هیچ‌گونه همبستگی مشاهده نگردید (جدول ۸) که این نشان می‌دهد که تحت شرایط شوری وزن هزار دانه نسبت به تعداد دانه از ثبات بیشتری برخوردار است. همبستگی مثبت و معنی‌دار (r =۰/۴۸۹) بین تعداد دانه و عملکرد در این آزمایش تأیید کننده اهمیت بیشتر تعداد دانه در تولید عملکرد می‌باشد. در نتیجه کاهش عملکرد تحت تأثیر شوری عمدتاً به‌دلیل کاهش تعداد دانه صورت می‌گیرد و کاهش وزن دانه از اهمیت کمتری برخوردار است (۲۳ و ۲۷). شاخص برداشت در سطوح مختلف شوری در این آزمایش بدون تغییر بود. وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین تجمع سدیم و وزن خشک اندام هوایی (r = −۰/۴۹۰) و عملکرد (r = −۰/۵۸۲) و عدم وجود همبستگی معنی‌دار با شاخص برداشت نشان می‌دهد که وزن خشک اندام هوایی و عملکرد تقریباً به یک نسبت مشابه تحت تأثیر اثرات سوء ناشی از املاح قرار گرفته‌اند. گزارشاتی مبنی بر عدم تغییر شاخص برداشت در ارقام مختلف گندم تحت تنش شوری وجود دارد (۲۳ و ۲۷).

هر سه رقم مقدار مشابهی از سدیم را در ریشه خود تجمع داده اما اختلاف معنی‌داری بین ارقام از لحاظ انتقال سدیم ریشه به برخی بافت‌های اندام هوایی مشاهده گردید. درصورتی‌که مقدار سدیم در ریشه ارقام مقاوم و حساس به شوری یکسان باشد، اختلاف بین غلظت سدیم در بافت‌های اندام هوایی می‌تواند به‌دلیل اختلاف در میزان بارگیری سدیم در آوندهای چوبی ریشه باشد (۶). در این آزمایش انتقال سدیم از ریشه به برگ سوم در رقم ارگ نسبت به تجن کمتر و میزان انتقال این یون به برگ پرچم در رقم تجن نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود. انتقال کمتر سدیم از ریشه به اندام هوایی به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم تحمل به شوری در گندم به‌شمار می‌آید (۱۷ و ۱۸). مقدار سدیم در همه ارقام در غلاف برگ پرچم بیشتر از پهنک برگ پرچم بود. رقم مهدوی در انتقال یون سدیم از غلاف برگ پرچم به پهنک برگ پرچم کنترل بیشتری نسبت به تجن اعمال نمود و غلظت این یون در پهنک برگ پرچم در این رقم در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به ۱۲۰ میکرومول بر گرم ماده خشک افزایش یافت (۵۸ درصد غلظت آن در غلاف). اما در رقم تجن در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کنترل کمتری در انتقال این یون به پهنک برگ پرچم صورت گرفت و غلظت آن به ۱۶۰ میکرومول بر گرم ماده خشک افزایش یافت (۷۸ درصد غلظت آن در غلاف). تجمع سدیم در غلاف برگ پرچم و نگهداری آن در این بافت موجب تأخیر در تجمع یون سدیم در پهنک برگ پرچم می‌گردد (۶). این نوع توزیع یونی در گیاه گندم (۶) و ذرت (۲۲) گزارش گردیده است. تجمع یون سدیم در غلاف برگ پرچم و ممانعت از انتقال آن به پهنک این برگ یکی از عوامل مهم تنوع ژنتیکی در انتقال سدیم به برگ‌های فتوسنتز کننده و جوان در بین ارقام می‌باشد (۶). رقم ارگ در این آزمایش با انتقال کمتر سدیم از ریشه به اندام هوایی و رقم مهدوی با حفظ سدیم بیشتر در غلاف برگ پرچم و پایین نگه

داشتن غلظت سدیم در پهنک آن موجب تجمع پایین‌تر سدیم در پهنک برگ پرچم شده و میزان فتوسنتز در این برگ را به مقدار بیشتری نسبت به رقم حساس حفظ می‌نماید. پایین بودن مقدار سدیم در پهنک برگ پرچم در رقم مهدوی و ارگ این موضوع را تأیید می‌نماید که ریشه و غلاف برگ می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین بافت‌های محدود کننده انتقال سدیم به اندام هوایی و پهنک برگ‌ها به‌شمار آیند (۶ و ۸).

غلظت پتاسیم با افزایش شوری در ریشه و بافت‌های مختلف اندام هوایی کاهش یافت. غلظت پتاسیم از ریشه به سمت بافت‌های هوایی افزایش یافت به‌طوری‌که ریشه کمترین و برگ پرچم بیشترین مقدار را داشت ضمن این‌که غلظت سدیم اندام هوایی از ریشه به سمت برگ پرچم کاهش یافت. با افزایش غلظت سدیم اطراف ریشه، رقابت این یون با پتاسیم در جذب توسط ریشه افزایش یافته و در نتیجه جذب پتاسیم (۲۹) و غلظت آن را در بافت‌های مختلف کاهش می‌دهد (۴، ۷ و ۱۳). توانایی گیاه در انتقال بیشتر پتاسیم به بافت‌های جوان و فتوسنتز کننده با میزان تحمل به شوری مرتبط است (۲۵). در غلاف برگ پرچم در رقم مهدوی غلظت پتاسیم در شوری ۵۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد افزایش داشت. افزایش پتاسیم در برخی بافت‌های گیاه گندم با افزایش شوری مشاهده شده است (۲۷). غلظت پتاسیم در ریشه در رقم حساس اختلافی با دو رقم دیگر نداشت، اما مقدار آن در برگ پرچم نسبت به دو رقم دیگر پایین بود. این موضوع نشان‌دهنده عدم توانایی رقم حساس در انتقال مقادیر بالای پتاسیم به برگ های جوان تحت شرایط شوری می‌باشد. توانایی کمتر ارقام حساس نسبت به ارقام مقاوم در انتقال پتاسیم به بافت‌های جوان مورد تأیید قرار گرفته است (۲۵ و ۲۷). جدول ضرایب همبستگی (جدول ۸) نشان داد که همبستگی منفی و معنی‌داری ($r = -۰/۷۶۶$) بین نسبت پتاسیم به سدیم و سدیم وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که ممانعت از ورود سدیم به اندام هوایی باعث حفظ نسبت‌های بالایی از پتاسیم به سدیم می‌گردد. تجمع کمتر سدیم و حفظ مقادیر بالای پتاسیم در برگ گندم و در نتیجه حفظ مقادیر بالایی از نسبت پتاسیم به سدیم به‌عنوان عامل مقاومت به شوری معرفی گردیده است (۱۹ و ۲۱). نسبت پتاسیم به سدیم در برگ پرچم در ارقام متحمل در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار بالاتر از رقم حساس بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۶۰۴$) بین نسبت پتاسیم به سدیم برگ با عملکرد و نیز با وزن خشک اندام هوایی ($r = ۰/۶۹۴$) به‌دست آمد (جدول ۸) که نشان می‌دهد مکانیزم‌هایی که مانع از تجمع سدیم و حفظ مقادیر بالای پتاسیم در اندام هوایی می‌شوند از لحاظ عملکرد و وزن خشک موجب افزایش تحمل به شوری می‌گردند. افزایش نسبت پتاسیم به سدیم از ریشه به سمت اندام هوایی کاملاً مشهود بود که دلیل آن کاهش تجمع سدیم در بافت‌های جوان‌تر و حفظ غلظت‌های بالاتر پتاسیم در این بافت‌ها می‌باشد. در این آزمایش کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در پهنک برگ پرچم در ارقام متحمل با افزایش شوری کمتر از رقم حساس بود، که نشان می‌دهد رابطه مستقیمی بین نسبت پتاسیم به سدیم و تحمل به شوری در ارقام گندم وجود دارد. این موضوع در آزمایشات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (۳، ۱۸، ۲۳، ۲۷ و ۲۹).

نتیجه‌گیری

ارتباط نزدیکی بین وضعیت یونی و تحمل به شوری در ارقام گندم وجود دارد. ضمن تجمع یکسان یون سدیم در ریشه ارقام متحمل و حساس، انتقال این یون از ریشه به اندام هوایی در ارقام متحمل کمتر می‌باشد. نگهداری بیشتر یون سدیم در غلاف برگ‌های جوان و نیز حفظ نسبت‌های بالایی از پتاسیم به سدیم در بافت‌های فتوسنتز کننده منجر به افزایش تحمل به شوری می‌گردد. کاهش عملکرد تحت شرایط شوری عمدتاً به‌دلیل کاهش تعداد دانه اتفاق می‌افتد. انتخاب به‌منظور تحمل به شوری براساس صفات فیزیولوژیک مانند ممانعت از ورود سدیم به اندام هوایی و نسبت بالای پتاسیم به سدیم در بافت‌های هوایی در مقایسه با ارزیابی عملکرد و وزن خشک اندام هوایی گیاه مطلوب‌تر می‌باشد. با توجه به اینکه تنش اسمزی تأثیر عمده‌ای بر کاهش رشد تحت تنش شوری دارد، افزایش تحمل نسبت به

آن می‌تواند منجر به بهبود تحمل ارقام مختلف گندم گردد. از این‌رو ضروری است که افزایش تحمل به تنش اسمزی در برنامه‌های اصلاحی توسط اصلاح‌کنندگان نبات مورد توجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Amini Sefidab, A., M. Vahabzadeh, E. Majidi Heravan, A. Akbari, D. Afyoni and M. H. Saberi. 2012. Arg, a new bread wheat cultivar for moderate climate zones of Iran with salinity of soil and water. *Seed and Plant Improvement Journal* 28(4): 724-726. (In Farsi).
2. Apse, M. and E. Blumwald. 2007. Na^+ transport in plants. *FEBS Letters* 581: 2247-2254.
3. Chen, Z., M. Zhou, I. A. Newman, N. J. Mendham, G. Zhang and S. Shabala. 2007. Potassium and sodium relations in salinized barley tissues as a basis of differential salt tolerance. *Functional Plant Biology* 34: 150-162.
4. Chippa, B. R. and P. Lal. 1995. Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 533-539.
5. Cuin, T. A., Y. Tian, S. A. Betts, R. Chalmandrier and S. Shabala. 2009. Ionic relation and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. *Functional Plant Biology* 36: 1110-1119.
6. Davenport, R., R. A. James, A.Z. Plogander, M. Tester and R. Munns. 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiology* 137: 807-818.
7. Flowers, T. J., R. Munns and T. D. Colmer. 2014. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Annals of Botany* 9: 1-13
8. Hasegava, P. M., R. A. Bressan, J. K. Zhu and H. J. Bohnert. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Plant Molecular Biology* 51: 463-499.
9. Hay, R. K. M. and A. J. Walker. 1989. An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longman Scientific Technical, New York.
10. Hendawy, S. E., Y. Hu, G. M. Yakout, A. M. Awad, S. E. Hafiz and U. Schmidhalter. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotype using multiple parameters. *European Journal of Agronomy* 22: 243-253.
11. Houshmand, S., A. Arzani, S. A. M. Maibody and M. Feizi. 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiment. *Field Crops Research* 91: 345-354
12. James, R. A., A. R. Rivelli, R. Munns and S. V. Caemmerer. 2002. Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology* 29: 1393-1403
13. James, R. A., R. J. Davenport and R. Munns. 2006. Physiological characterization of two genes for Nax_1 exclusion in durum wheat, Nax_1 and Nax_2. *Plant Physiology* 142: 1537-1547.
14. Mahlouji, M. and M. Akbari. 2001. Effect of water salinity in sprinkler irrigation on yield of different wheat cultivars. *Seed and Plant Improvement Journal* 17: 172-182. (In Farsi).
15. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
16. Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist* 167: 645-663.
17. Munns, R., R. A. James and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany* 57: 1025-1043.
18. Munns, R. and M. Tester. 2008. Mechanism of Salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59: 651-681.
19. Munns, R., R. A. James, M. R. Islam and T. D. Colmer. 2011. Hordeum marinum-wheat amphiploids maintain higher leaf K^+: Na^+ and suffer less leaf injury than wheat parents in saline conditions. *Plant and Soil* 348: 365-377.
20. Munns, R., R. A. James, B. Xu, A. Athman, S. J. Conn, C. Jordans, C. S. Byrt, R. A. Hare, S. D. Tyerman, M. Tester, D. Plett and M. Gilliham. 2012. Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral Na^+ transporter gene. *Nature Biotechnology* 30: 360-366.
21. Munns, R. and M. Gilliham. 2015. Salinity tolerance of crops-what is the cost? New Phytologist. Available online at: http://www.newphytologist.com. Accessed 15 December 2015.
22. 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 Science* 44: 797-805.
23. Poustini, K. and A. Siosemardeh. 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research* 85: 125-133.
24. Poustini, K., A. Siosemardeh and M. Ranjbar. 2007. Proline accumulation as a response to salt stress in 30 wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 925–934.
25. Rahnama, A., K. Poustini, R. Tavakkol-Afshari, A. Ahmadi and H. Alizadeh. 2010. Evaluation of sodium exclusion from different tissues of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Iranian Journal of Field Crop Science* 41: 79-92. (In Farsi).

26. Rahnama, A., R. Munns, K. Poustini and M. Watt. 2011. A Screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. *Journal of Experimental Botany* 62: 69-77.
27. Rahnama, A., K. Poustini, R. Tavakkol-Afshari and H. Alizadeh. 2011. Growth properties and ion distribution in different tissues of bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.) differing in salt tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197: 21-30.
28. Sagi, M., N. A. Savidov, 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: 546-553.
29. Schachtman, D. and W. Liu. 1999. Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends in Plant Science* 4: 281-287.
30. Sun, F. F., W. S. Zhang, H. Z. HU, B. Li, Y. N. Wang, Y. K. Zhao, K. X. Li, M .Y. Liu and X. Li. 2008. Salt modulates gravity signaling pathway to regulate growth direction of primary roots in Arabidopsis. *Plant Physiology* 146: 178-188.
31. Zhu, J. K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science* 6(2): 66-71.
32. Zolla. G., Y. M. Heimer and S. Barak. 2010. Mild salinity stimulates a Stressed-induced morphogenic response in Arabidopsis thaliana roots. *Journal of Experimental Botany* 61: 211-224.

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 7, No. 1, Spring 2017, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Ion Distribution in Different Tissues of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Differing in Salt Tolerance

V. Atlassi Pak[1*] and O. Bahmani[2]

(Received: December 26-2015; Accepted: June 1-2016)

Abstract

An understanding of physiological mechanisms of salt tolerance is necessary for breeding programs to employ desirable selection criteria in wheat genotypes. Three bread wheat cultivars differing in salt tolerance were employed to assess ion distribution and growth responses under saline conditions. To evaluate ion distribution in plant, sodium and potassium concentrations as well as K^+/Na^+ ratios in different tissues including root, leaf 3 blade, flag leaf sheath and flag leaf blade were assessed in a pot experiment in the glasshouse using a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. Four levels of NaCl (0, 50, 100 and 150 mM NaCl) were imposed as the salinity treatments when the leaf 4 was fully expanded. Salinity had a similar effect on shoot biomass of all genotypes at 150 mM NaCl. Root biomass decreased in all genotypes with increasing salinity and this decrease was more pronounced in the sensitive one (Tajan) at 150 mM NaCl. The genotypes did not differ significantly in root uptake of sodium. Sodium contents reduced from root to shoot and salt tolerance in wheat genotypes was related to a lower sodium accumulation in leaves. The major differences of salt tolerant genotypes (Arg and Mahdavi) and sensitive one in sodium transport to the younger leaf were due to the rate of transfer from the root to the shoot, which was much lower in Arg and the capacity of the leaf sheath to extract and sequester sodium as it entered the flag leaf blade in Mahdavi. Salt tolerant genotypes maintained higher K^+/Na^+ ratios in flag leaf blade than in the salt sensitive one. It is likely that reduction in sodium transfer from the root to the shoot and leaf sheath sequestration specially in flag leaf are the traits that interact to control leaf blade sodium and appear to be the most important mechanisms contributing to the improved salt tolerance in tolerant genotypes.

Keywords: Salt Stress, Wheat, K^+/Na^+ ratios, Sodium transport

1. Assistant Professor of Agronomy, Department of Agriculture, Payame Noor University, P.O.Box, 19395-3697, Tehran, Iran.

2. Assistante Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

*. Corresponding Author, Email: v.atlassi@gmail.com