Ar of SID

تولیدات گیاهی (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۴۱ شماره ۱، بهار ۹۷

بررسی تجمع سدیم در برگ‌های ارقام حساس و متحمل به شوری گندم (*Triticum aestivum* L.)

وحید اطلسی پاک*

***نویسنده مسئول:** استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، همدان، ایران (V.atlassi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴

چکیده

انتقال مقادیر اندک سدیم به اندام هوایی و تحمل غلظت‌های بالای املاح در برگ از طریق محفظه‌بندی سدیم در واکوئل دو مکانیسم مهم تحمل به شوری در گیاهان می‌باشد. به منظور درک مکانیسم‌های تحمل به شوری و الگوی تجمع یون سدیم در برگ‌ها، سه رقم گندم نان (کویر، مهدوی و تجن) که از لحاظ مقاومت به شوری متفاوت بودند در چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در سال ۱۳۹٤ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. در واکنش به افزایش شوری، سدیم برگ‌ها پس از ١٤ روز در همه ارقام افزایش یافت، اما غلظت آن در رقم حساس تجن بیش از ارقام متحمل کویر و مهدوی بود. اختلاف معنی‌داری در سرعت رشد نسبی و نسبت اندام هوایی به ریشه بین ارقام مختلف مشاهده نشد. نتایج نشان داد که اختلاف بین ارقام در انتقال سدیم موجب تفاوت در غلظت سدیم اندام هوایی می‌باشد. غلظت سدیم ریشه در همه ارقام یکسان بود اما ارقام متحمل دارای مقدار بیشتری از نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی بودند. وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت اما مقدار این کاهش در همه ارقام تقریباً مشابه بود. به نظر می‌رسد اثر مهم شوری بر وزن خشک اندام هوایی به دلیل تأثیر اسمزی املاح می‌باشد نه اثرات ویژه یونی در داخل گیاه. نتایج نشان داد رقم کویر دارای تحمل بیشتری نسبت به غلظت‌های بالای سدیم در برگ‌ها بوده و رقم مهدوی نیز نسبت به دو رقم دیگر دارای کمترین غلظت سدیم در برگ‌ها بود. در نهایت مقایسه ارقام نشان داد که حداقل دو مکانیسم مهم تحمل به شوری در گندم وجود دارد. اول میزان پایین تجمع سدیم در اندام هوایی و دوم تحمل غلظت‌های بالای سدیم توسط بافت‌ها.

کلید واژه‌ها: اثر اسمزی، انتقال سدیم، گندم، میزان رشد نسبی

مقدمه

گندم نان یکی از گونه‌های نسبتاً متحمل به شوری در غلات است و یکی از دلایل تحمل آن ممانعت از تجمع سدیم در برگ‌ها می‌باشد. Byrt *et al.* (2014) و Gorham *et al.* (1990 b) گزارش کردند جذب سدیم توسط ریشه در گندم نان و گندم دوروم مشابه بوده اما میزان انتقال آن به اندام هوایی در گندم نان کمتر از گندم دوروم می‌باشد. علاوه بر ممانعت از تجمع سدیم در بافت‌های فتوسنتزکننده، تحمل بافت‌ها نسبت به غلظت‌های بالای سدیم (که به دلیل محفظه‌بندی سدیم در واکوئل صورت می‌گیرد) به‌عنوان یکی دیگر از مکانیسم‌های تحمل به شوری معرفی گردیده است (Shelden *et al.*, 2013). تحمل به شوری در غلات دارای تنوع ژنتیکی بالایی می‌باشد و این تنوع ژنتیکی در گیاه جو و گندم نشان داده شده است (Munns and Tester, 2008؛ Rahnama *et al.*, 2011؛ Shavrukov *et al.*, 2010). گندم نان به دلیل تجمع کمتر سدیم در اندام هوایی و حفظ نسبت بالاتری از پتاسیم به سدیم نسبت به گندم

www.SID.ir

Archive of SID

دوروم از تحمل بیشتری نسبت به شوری برخوردار است، به‌طوری‌که از نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در گندم به‌عنوان شاخصی جهت بهبود تحمل به شوری استفاده می‌گردد (Munns and James, 2003؛ Shabala and Cuin, 2007). میزان پایین‌تر تجمع سدیم در برگ‌ها می‌تواند به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی در محدود ساختن جذب سدیم از خاک توسط ریشه، محدود نمودن انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی، نسبت بالای اندام هوایی به ریشه و یا سرعت رشد نسبی بیشتر باشد (Munns *et al*., 2006؛ Deinlin *et al*., 2014). تحقیق در مورد تنوع ژنتیکی در تجمع سدیم در برگ‌های گندم، تنوع بالایی را در غلظت‌های سدیم برگ و نیز تبعیض نسبت پتاسیم به سدیم نشان داده است (Munns and James, 2003؛ Rivelli *et al*., 2002). تحقیقات متعددی بر مکانیسم‌های تحمل به شوری در ارقام گندم با تأکید بر شناخت مکانیسم‌های مهم تحمل به شوری شامل تحمل اسمزی، تحمل بافت‌ها و ممانعت از تجمع سدیم در ریشه صورت گرفته و تأکید کمتری بر مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مؤثر بر کاهش تجمع سدیم در اندام هوایی صورت پذیرفته است، ضمن این‌که به عقیده محققین تنوع ژنتیکی در تحمل به شوری با میزان پایین انتقال سدیم به اندام هوایی مرتبط است (Rivelli *et al*., 2002). در برخی مطالعات ارتباطی بین غلظت سدیم اندام هوایی و تحمل به شوری مشاهده نشده است و یا ارتباط ضعیفی مشاهده گردیده است که دلیل آن می‌تواند نحوه طراحی آزمایشات باشد (Genc *et al*., 2007؛ Munns and James, 2007؛ Munns *et al*., 2006). نمونه‌برداری در یک مرحله مشخص رشدی می‌تواند گمراه‌کننده باشد زیرا اختلاف بین غلظت‌های سدیم برگ در ارقام مختلف در طی زمان می‌تواند مشهود و یا ناچیز باشد. هم‌چنین بررسی کل اندام هوایی از نظر غلظت سدیم می‌تواند گمراه‌کننده باشد زیرا تفاوت‌های ژنوتیپی بین پهنک برگ در گیاه زمانی که با برگ‌های دارای بافت مرده، ساقه‌ها و غلاف‌ها مخلوط می‌گردد به خوبی مشخص نخواهد شد (Munns, 2010). یکی از پارامترهای مؤثر بر میزان تجمع سدیم در برگ‌های گندم میزان سرعت رشد نسبی است. ارتباط منفی بین مقدار RGR و غلظت سدیم در برگ‌های گندم در آزمایشات متعددی گزارش شده است (Munns *et al*., 2006؛ Rivelli *et al*., 2002؛ Rahnama *et al*., 2011). بنابراین در مطالعه مکانیسم‌های مؤثر در میزان تجمع سدیم، بررسی مقدار سرعت رشد نسبی و مقایسه آن در ارقام مختلف گندم، ضروری به نظر می‌رسد. اما با توجه به مدت زمان اعمال تنش شوری در آزمایشات مختلف، زمان اندازه‌گیری RGR متفاوت می‌باشد (Husain *et al*., 2004؛ Schachtman and Munns, 1992). هدف از این آزمایش بررسی مکانیسم‌های مؤثر بر کاهش تجمع سدیم در اندام هوایی ارقام گندم است تا مشخص گردد با وجود تنوع بالای ژنتیکی در تجمع این یون سمی در اندام هوایی، مکانیسم‌های عمده درگیر در تعیین غلظت سدیم اندام هوایی کدامند، ضمن این‌که در طی زمان تحت تنش شوری، مقایسه‌ای در غلظت یون سدیم در برگ‌ها بین ارقام مختلف گندم نیز صورت گیرد تا با وجود تفاوت‌های ژنوتیپی ارقام در میزان جذب سدیم و تحمل سلولی نسبت به غلظت‌های بالای آن، الگوهای مختلف تجمع سدیم در طی زمان رشد مشخص گردد، با این هدف که مکانیسم‌های مهم تحمل به شوری در گندم در طول دوره رشد به‌طور دقیق‌تری مورد بررسی قرار گیرد (Husain *et al*., 2004؛ Davenport *et al*., 2005).

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز همدان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه رقم گندم کویر، مهدوی (متحمل به شوری) و تجن (حساس به شوری) و سطوح مختلف شوری بود (Poustini and Siosemardeh, 2004). هر سه رقم دارای تیپ رشدی بهاره بوده و زودرس می‌باشند، ارقام کویر و مهدوی جهت کشت در مناطق معتدل

www.SID.ir

Archive of SID

کشور به ویژه در شرایط محدودیت آب و شوری توصیه می‌شوند. رقم تجن ضمن حساسیت به شوری و کم‌آبی مناسب کشت در مناطق ساحلی خزربوده و مقاوم به ریزش دانه است. بذور سالم و هم اندازه و هم وزن توسط هیپوکلریت ۱ درصد ضدعفونی شده و سپس در داخل گلدان‌ها (قطر ۱۵ سانتی‌متر) که حاوی مخلوطی از پرلایت، کوکوپیت و ورمیکولایت (به نسبت ۳:۳:۱) بودند کشت گردید. هر واحد آزمایشی شامل ۱۰ گلدان بود. تعداد نهایی بوته‌ها در هر گلدان ۴ و هر واحد آزمایشی شامل ۴۰ عدد بوته بود. گلدان‌های حاوی گیاهچه‌ها در درجه حرارت گلخانه و در محدوده دمایی بین ۲±۲۵ و ۲±۱۵ درجه سانتی‌گراد (به‌ترتیب روز و شب) با نور طبیعی نگهداری شدند. به منظور تهیه محلول‌های شوری از نمک کلرید سدیم آزمایشگاهی (شرکت مرک آلمان) استفاده گردید. گلدان‌ها در ابتدا توسط آب شهری آبیاری شدند. پس از جوانه‌زنی گیاهان با غلظت نهایی محلول هوگلند مورد آبیاری قرار گرفتند. برای اعمال شوری، ۲۵ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌صورت روزانه مورد استفاده قرار گرفت تا به غلظت نهایی و مورد نظر برسد. به منظور اندازه‌گیری غلظت یون‌ها، بوته‌ها پس از تفکیک به ریشه و اندام هوایی و پس از شستشو با آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شدند. جهت تجزیه یون‌های سدیم و پتاسیم از روش اسیداستیک ۰/۱ نرمال استفاده شد و اندازه‌گیری یون‌ها توسط دستگاه نشر شعله‌ای (Jenway-PFP7) انجام گرفت. وزن خشک اندام هوایی و ریشه‌ها نیز پس از قرار گرفتن بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه در آون توسط ترازوی دقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری سرعت رشد نسبی ابتدا وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شده و سپس طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$RGR= (lnW_2- lnW_1)/(t_2-t_1)$$

که در این فرمول W_1 و W_2 مقدار وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب در زمان t_1 و t_2 می‌باشد. میزان انتقال یون سدیم از ریشه به اندام هوایی نیز مطابق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$Js= \frac{QS2-QS1}{t2-t1} \times \frac{lnWR2-lnWR1}{WR2-WR1}$$

در این فرمول QS_1 و QS_2 مقدار یون سدیم موجود در اندام هوایی در زمان t_1 و t_2 و WR_1 و WR_2 وزن‌تر ریشه به ترتیب در زمان‌های t_1 و t_2 می‌باشد (Storey, 1995). محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

آزمایش اول: در آزمایش اول فاکتورها شامل سه رقم گندم کویر، مهدوی و تجن و چهار سطح شوری (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. هر سه رقم بهاره بوده که ارقام کویر و مهدوی متحمل و رقم تجن حساس به شوری می‌باشد (Poustini and Siosemardeh, 2004). در زمان ظهور برگ دوم تیمار شوری اعمال شد و پس از حصول نهایی و مورد نظر سطوح شوری تیمارهای شوری به مدت ۱۴ روز تداوم یافت. هفت و چهارده روز پس از اعمال تیمار شوری برداشت انجام گرفت. صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شامل وزن خشک اندام هوایی و ریشه، سدیم برگ سوم و ریشه، پتاسیم برگ سوم، سرعت رشد نسبی بین زمان ۷ و ۱۴ روز پس از اعمال شوری، نسبت اندام هوایی به ریشه و میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی بود.

آزمایش دوم: در این آزمایش فاکتورها شامل سه رقم گندم کویر، مهدوی و تجن و دو سطح شوری (صفر و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. پس از توسعه کامل برگ دوم تنش شوری اعمال گردید. از زمانی که تیمار شوری به غلظت مورد نظر رسید هر ۴ روز یک بار به مدت ۴ هفته مقدار سدیم برگ سوم در ارقام مختلف مورد اندازه گیری قرار گرفت. ۸، ۱۸ و ۲۸ روز پس از اعمال تیمار شوری به منظور اندازه‌گیری سرعت رشد نسبی از گیاهان نمونه‌برداری به عمل آمد و مقدار RGR محاسبه گردید. همراه با آخرین نمونه‌برداری مقدار سدیم ریشه در ارقام، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

آزمایش اول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی، سرعت رشد نسبی، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه و میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی معنی‌دار بود. برهم‌کنش رقم و شوری تفاوت معنی‌داری را برای میزان انتقال سدیم نشان داد (جدول ۱). سدیم اندام هوایی در سطوح مختلف شوری در رقم تجن با ارقام کویر و مهدوی متفاوت بود و اختلاف بین آن‌ها در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار چشمگیر بود (شکل ۱). الگوی تجمع سدیم در رقم تجن با ارقام کویر و مهدوی متفاوت بود به شکلی که در شوری ۵۰ میلی‌مولار افزایش سدیم اندام هوایی رقم تجن نسبت به دو رقم دیگر با شیب تندتری اتفاق افتاد. اختلاف بین رقم کویر و مهدوی در سطوح مختلف شوری از نظر سدیم اندام هوایی غیرمعنی‌دار شد (شکل ۱). غلظت پتاسیم اندام هوایی با افزایش شوری در همه ارقام کاهش یافت. در تیمار شاهد مقدار پتاسیم اندام هوایی در رقم تجن کمتر از رقم کویر و مهدوی بود. غلظت پتاسیم اندام هوایی در رقم تجن در همه سطوح شوری کمتر از رقم کویر و مهدوی بود و رقم کویر نسبت به رقم مهدوی از این نظر برتری داشت (شکل ۱). نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در رقم کویر نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (جدول ۲). تأثیر شوری بر وزن خشک اندام هوایی در ارقام مختلف و سطوح شوری در شکل (۲) نشان داده شده است. در تیمار ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری کاهش قابل ملاحظه‌ای در وزن خشک اندام هوایی در ارقام ملاحظه نگردید اما در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری در هر سه رقم مشاهده شد به‌طوری‌که ارقام تجن، کویر و مهدوی به‌ترتیب دارای ۳۳، ۴۱ و ۳۷ درصد کاهش بودند

همان‌طور که در شکل (۲) ملاحظه می‌گردد کاهش نسبت وزن خشک اندام هوایی در همه سطوح شوری در هر سه رقم مشابه بود. سدیم ریشه در همه ارقام با افزایش شوری افزایش یافت. غلظت سدیم در ریشه رقم مهدوی در سطوح مختلف شوری پایین‌تر از ارقام کویر و تجن بود هر چند که این اختلاف غیرمعنی‌دار شد (شکل ۲). در شوری ۵۰ میلی‌مولار افزایش چشمگیری در غلظت سدیم ریشه در همه ارقام مشاهده شد اما در شوری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار افزایش سدیم با شیب کمتری اتفاق افتاد. اختلافی بین سدیم ریشه در سطوح مختلف شوری بین ارقام مشاهده نگردید (شکل ۲). بررسی وزن خشک ریشه در سطوح مختلف شوری نشان داد که تیمار ۵۰ میلی‌مولار موجب افزایش غیرمعنی‌داری در وزن خشک ریشه همه ارقام گردید ولی در تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار روندی کاهشی از خود نشان داد. تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری باعث کاهش معنی‌داری در وزن خشک ریشه رقم تجن شد اما ارقام کویر و مهدوی کاهش معنی‌داری از این نظر در تیمارهای مختلف شوری نداشتند (شکل ۲). نتایج نشان داد سرعت رشد نسبی اندام هوایی با افزایش شوری کاهش یافت و تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار از این نظر دارای کمترین مقدار (۰/۱۶ گرم بر گرم در روز) بود، بین ارقام نیز از نظر سرعت رشد نسبی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه تحت تأثیر شوری قرار گرفت و مقدار این نسبت از ۳/۰۱ در تیمار شاهد به ۲/۲۶ در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش یافت اما تفاوت بین ارقام از این نظر غیرمعنی‌دار شد (جدول ۲). میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف تفاوت معنی‌داری داشت و بیشترین مقدار مربوط به رقم تجن (۲/۲۱ میکرومول بر گرم ماده تر در روز) بود. برهم‌کنش رقم و شوری روند متفاوتی را در میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف نشان داد و مقدار این صفت در رقم تجن بیشتر از رقم کویر و مهدوی بود. چنانچه در شکل (۳) ملاحظه می‌گردد شوری ۵۰ میلی‌مولار موجب افزایش زیادی در میزان انتقال سدیم در هر سه رقم گردید. از شوری ۵۰ به ۱۵۰ میلی‌مولار کاهش غیرمعنی‌داری در مقدار این صفت در رقم تجن مشاهده شد در صورتی که شوری ۱۰۰ نسبت به ۵۰ میلی‌مولار در رقم کویر افزایش معنی‌داری از این نظر داشت.

www.SID.ir

جدول ۱- تجزیه واریانس مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مختلف گندم تحت سطوح متفاوت شوری (آزمایش اول و دوم)

Table 1. Mean square analysis of variance of data for measured traits in wheat cultivars under different salinity levels (Experiment 1and 2)

منابع تغییرات Source of variation	میانگین مربعات Mean squares						
	آزمایشی اول Experiment 1				آزمایش دوم Experiment 2		
	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی K/Na ratio	سرعت رشد نسبی Relative Growth Rate	نسبت اندام هوایی به ریشه Shoot/Root	میزان انتقال سدیم Na transport rate	سرعت رشد نسبی روزهای ۱۸-۸ Relative Growth Rate (8-18 days)	سرعت رشد نسبی روزهای ۲۸-۱۸ Relative Growth Rate (18-28 days)	سدیم ریشه root Na
شوری Salinity	17.6**	0.003**	0.882**	7.4**	0.013**	0.006**	703693**
رقم Cultivar	19.1**	0.0001^{ns}	0.045^{ns}	1.19**	0.0008^{ns}	0.0003^{ns}	793^{ns}
شوری×رقم Salinity × Cultivar	0.593^{ns}	0.0001^{ns}	0.093^{ns}	0.355**	0.0003^{ns}	0.0003^{ns}	1077^{ns}
خطا Error	0.29	0.0002	0.058	0.046	0.0003	0.0002	617
ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)	12.5	7.8	8.9	11.6	9.3	7.4	7.9

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

ns: non-significant, **,* :significant at 1 and 5% probability level respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده در ارقام مختلف گندم تحت سطوح متفاوت شوری(آزمایش اول و دوم)

Table 2. Mean comparison of wheat cultivars under different salinity levels (Experiment 1and 2)

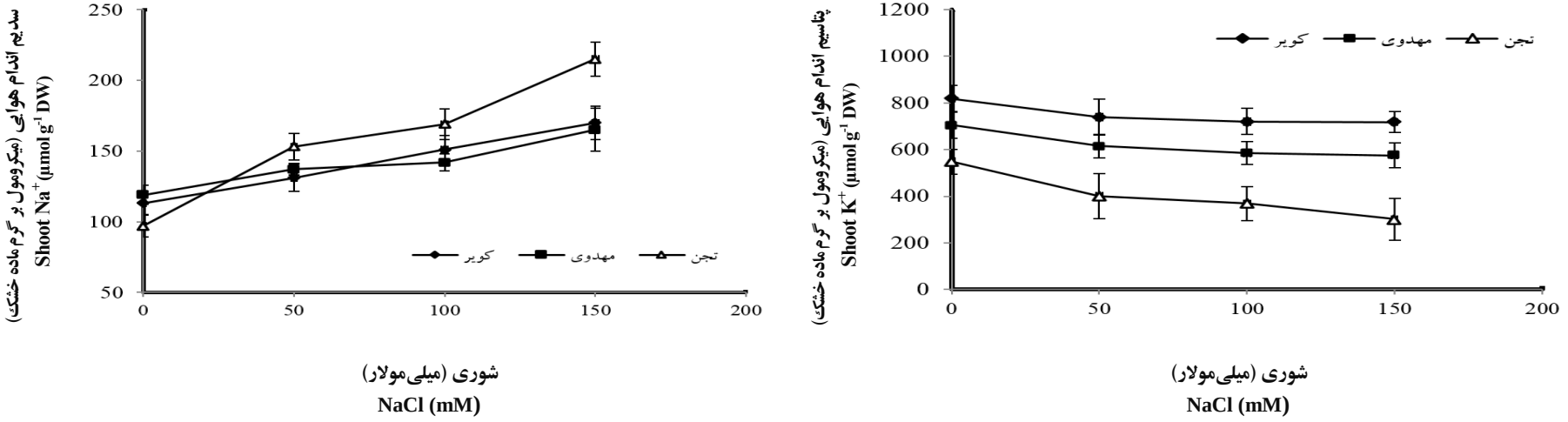
تیمار Treatment		نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی K/Na ratio	سرعت رشد نسبی Relative Growth Rate	نسبت اندام هوایی به ریشه Shoot/Root	سرعت رشد نسبی روزهای ۱۸-۸ Relative Growth Rate (8-18 days)	سرعت رشد نسبی روزهای ۲۸-۱۸ Relative Growth Rate (18-28 days)	سدیم ریشه root Na
شوری (میلی‌مولار) Salinity (mM)	0	6.2^{a}	0.21^{a}	3.01^{a}	-	-	-
	50	4.2^{b}	0.19^{b}	2.71^{b}	0.21^{a}	0.21^{a}	509^{a}
	100	3.6^{c}	0.18^{b}	2.79^{ab}	0.15^{b}	0.17^{b}	113^{b}
	150	3.0^{d}	0.16^{c}	2.26^{c}	-	-	-
رقم Cultivar	کویر	5.4^{a}	0.19^{a}	2.69^{a}	0.18^{ab}	0.19^{a}	307^{a}
	مهدوی	4.4^{b}	0.18^{a}	2.76^{a}	0.17^{b}	0.18^{a}	303^{a}
	تجن	2.9^{c}	0.18^{a}	2.63^{a}	0.19^{a}	0.19^{a}	324^{a}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر تیمار بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Means values within a column followed by the same letter are not significantly different (p=0.05) according to the LSD test.

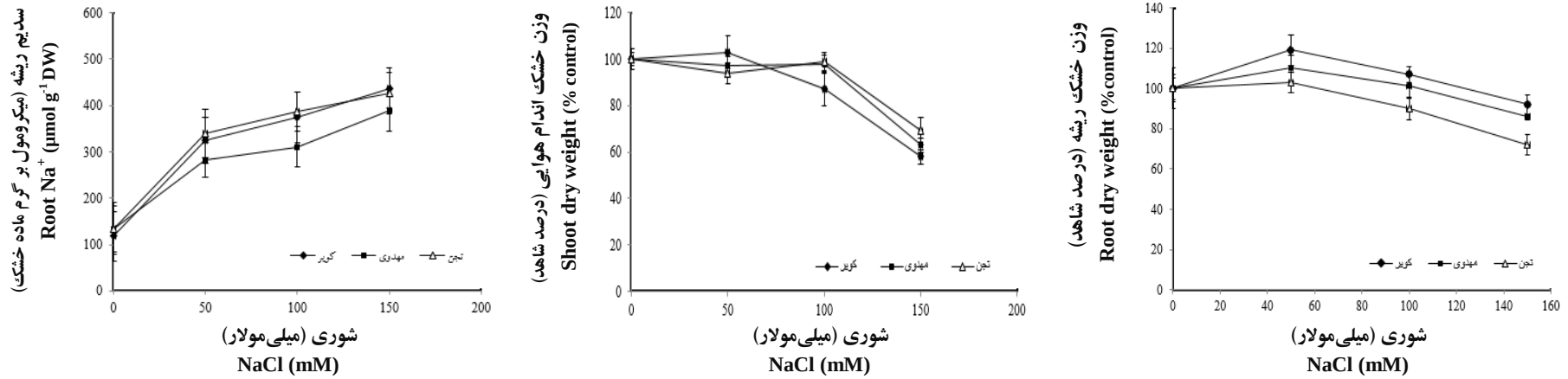
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- اثر شوری بر غلظت سدیم و پتاسیم برگ سوم در ارقام مختلف گندم ۱۴ روز پس از اعمال تیمار شوری (آزمایش اول). میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند

Figure 1. Effect of salinity on concentration of Na^+ and K^+ in 3rd leaf of wheat cultivars after 14 d of salt treatment (experiment 1). Bars show the standard error

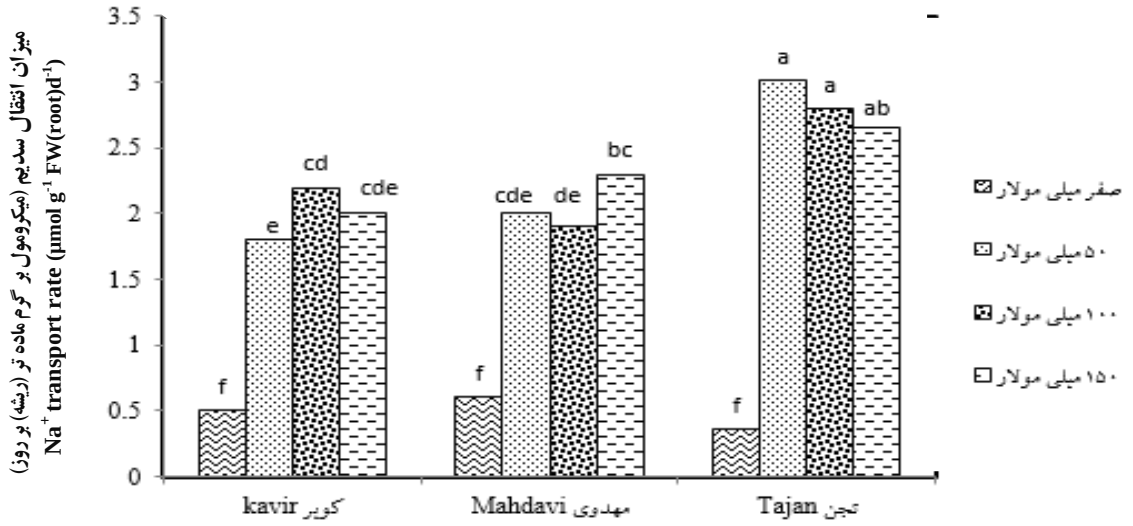


شکل ۲- اثر شوری بر وزن خشک اندام هوایی، غلظت سدیم و وزن خشک ریشه در ارقام مختلف گندم ۱۴ روز پس از اعمال تیمار شوری (آزمایش اول). میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند

Figure 2. Effect of salinity on shoot dry weight, root Na^+ and root dry weight of wheat cultivars after 14 d of salt treatment (experiment 1). Bars show the standard error

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- اثر شوری بر میزان انتقال یون سدیم از ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف گندم ۱۴ روز پس از اعمال تیمار شوری (آزمایش اول)

Figure 3. Effect of salinity on Na^+ transport rate from roots to shoots of wheat cultivars after 14 d of salt treatment (experiment 1)

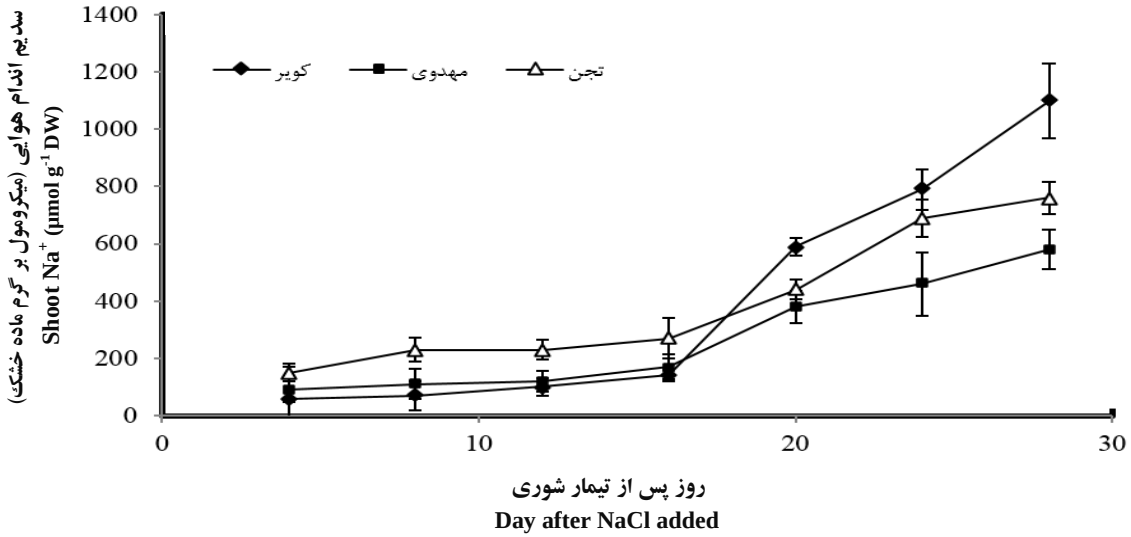
آزمایش دوم

بررسی روند تغییرات میزان سدیم اندام هوایی با گذشت زمان نشان داد که در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار چهار روز پس از اعمال شوری اختلاف معنی‌داری بین ارقام از این نظر وجود نداشت (شکل ۴). اما بعد از روز چهارم مقدار سدیم اندام هوایی در رقم تجن نسبت به ارقام کویر و مهدوی افزایش داشت و این روند به‌طور تقریباً ثابتی تا روز ۱۶ ادامه یافت. البته در روز ۱۶ هر چند مقدار سدیم در رقم تجن بیش از دو رقم دیگر بود اما این اختلاف ناچیز بود (شکل ۴).

از روز ۱۶ افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار سدیم اندام هوایی در ارقام کویر و مهدوی مشاهده گردید به‌طوری‌که این افزایش در رقم کویر نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود. البته در همین زمان افزایشی (اما به مقدار کمتر) نیز در مقدار سدیم اندام هوایی رقم تجن مشاهده گردید. در روز ۲۴ مقدار سدیم اندام هوایی در ارقام کویر و تجن مشابه و بیشتر از رقم مهدوی بود. اما در روز ۲۸ مقدار آن در رقم کویر بیشتر از ارقام مهدوی و تجن شد و رقم مهدوی در همین زمان کمترین مقدار را به خود اختصاص داد (شکل ۴). مقدار سرعت رشد نسبی نیز در روز ۸، ۱۸ و ۲۸ اندازه‌گیری شد. اثر شوری بر سرعت رشد نسبی معنی‌دار اما اثر رقم بر آن غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۱). شوری موجب کاهش سرعت رشد نسبی در زمان ۱۸–۸ و ۲۸–۱۸ روز پس از اعمال تیمار شوری گردید (جدول ۲). با وجود این‌که اثر رقم بر سرعت رشد نسبی در هر دو زمان غیرمعنی‌دار شد اما مقدار این صفت در زمان ۱۸–۸ در رقم مهدوی کمتر از رقم تجن بود (جدول ۲). در زمان ۲۸–۱۸ اختلافی بین ارقام از نظر این صفت مشاهده نشد. مقدار سرعت رشد نسبی در زمان ۱۸–۸ در تیمار شاهد در رقم مهدوی (۰/۱۹ گرم در گرم در روز) کمتر از رقم تجن (۰/۲۳ گرم بر گرم در روز) بود در صورتی که در تیمار شوری اختلافی بین ارقام از نظر سرعت رشد نسبی در ۱۸–۸ روز پس از اعمال شوری وجود نداشت و همین عامل موجب کاهش مقدار سرعت رشد نسبی در رقم مهدوی نسبت به رقم تجن شد. در همه ارقام در تیمار ۵۰ میلی‌مولار، سدیم اندام هوایی افزایش یافت اما رقم تجن نسبت به ارقام کویر و مهدوی ممانعت کمتری در تجمع این عنصر در اندام هوایی ایجاد نمود. تجمع سدیم در تیمار ۵۰ میلی‌مولار در رقم تجن نسبت به دو رقم دیگر بیشتر بود (شکل ۱). تفاوت سدیم اندام هوایی بین ارقام متحمل و حساس در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار چشمگیر بود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- غلظت سدیم اندام هوایی در ارقام مختلف گندم طی ۲۸ روز پس از اعمال تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری (آزمایش دوم)
میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد می‌باشند
Figure 4. Shoot Na^+ concentration of wheat cultivras for 28 days after 150 mM NaCl was added (experiment 2)
Bars show the standard error

تحمل شوری در ارقام گندم نان با تجمع مقادیر پایین یون سدیم در اندام هوایی مرتبط می‌باشد و غلظت بالای یون سدیم در برگ‌ها می‌تواند باعث کاهش فعالیت فتوسنتزی گردد (James *et al.*, 2006؛ Munns *et al.*, 2006). با افزایش شوری مقدار پتاسیم اندام هوایی هر سه رقم کاهش یافت و این کاهش در رقم تجن نسبت به رقم کویر و مهدوی بیشتر بود. کاهش غلظت پتاسیم اندام هوایی گندم تحت تنش شوری در مطالعات متعددی گزارش شده و ارقام متحمل گندم تحت تنش شوری دارای توانایی بیشتری در انتقال پتاسیم به اندام هوایی می‌باشد (Cuin *et al.*, 2009؛ James *et al.*, 2006؛ Munns *et al.*, 2011). در این آزمایش افزایش سدیم اندام هوایی کاهش غلظت پتاسیم را به همراه داشت. ارتباط منفی و معنی‌داری بین جذب پتاسیم و سدیم در گندم وجود دارد (Rahnama *et al.*, 2011). جذب سدیم به شدت با جذب پتاسیم رقابت نموده و سبب کاهش جذب پتاسیم می‌گردد (Munns *et al.*, 2011). نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی که یکی از ملاک‌های مهم تحمل به شوری در گندم به شمار می‌آید (Munns and Tester, 2008). در رقم کویر نسبت به دو رقم دیگر برتری داشت. رقم متحمل کویر از طریق جلوگیری از تجمع سدیم در اندام هوایی و حفظ پتاسیم بیشتر، موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی شده است. پیش‌تر گزارش شده است که ممانعت از ورود سدیم و حفظ مقادیر بالای پتاسیم در شرایط شوری موجب بالا نگه داشتن این نسبت در گندم شده و باعث حفظ فعالیت آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز می‌گردد (Munns *et al.*, 2006؛ Shabala and Cuin, 2007). تفاوت‌های ژنتیکی در میزان تجمع سدیم در اندام هوایی ممکن است بدلیل وجود تفاوت در میزان رشد نسبی، مکانیسم‌های انتقال یون از ریشه به اندام هوایی، نسبت اندام هوایی به ریشه و مقدار یون جذب شده توسط ریشه باشد (Munns, 2005؛ Munns *et al.*, 2006؛ Yeo *et al.*, 1990). در این آزمایش وزن خشک اندام هوایی هر سه رقم در تیمار شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به یک نسبت کاهش یافت و با توجه به غلظت‌های مختلف سدیم اندام هوایی ارقام به نظر می‌رسد وزن خشک اندام هوایی

www.SID.ir

Archive of SID

عمدتاً به دلیل اثرهای اسمزی شوری کاهش یافته باشد (Munns *et al.*, 1995؛ Husain *et al.*, 2003؛ Rahnama *et al.*, 2011). به نظر می‌رسد که مدت زمان انجام این آزمایش به اندازه‌ای نبوده که منجر به بروز اثرات ویژه یونی گردد، زیرا مدت زمان تنش در بروز اثرات ویژه یونی بسیار مؤثر است (Munns and Tester, 2008). در این آزمایش تفاوتی بین ارقام از لحاظ نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه ملاحظه نگردید و تأثیر ارقام بر سرعت رشد نسبی نیز غیرمعنی‌دار شد. از آنجا که در این آزمایش غلظت سدیم ریشه در ارقام مختلف در همه تیمارها یکسان است، به نظر می‌رسد غلظت‌های متفاوت سدیم در اندام هوایی ارقام مختلف عمدتاً به دلیل میزان متفاوت انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی باشد. نتایج در این آزمایش نشان داد میزان انتقال سدیم در رقم تجن بیش از دو رقم دیگر می‌باشد. از آنجا که سرعت رشد نسبی و نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه در ارقام مختلف، تفاوت معنی‌داری از خود نشان نداد به نظر می‌رسد که توانایی ریشه در کاهش انتقال سدیم به اندام هوایی در این آزمایش در ارقام متحمل موجب کاهش غلظت یون سدیم نسبت به رقم تجن شده است. توانایی ریشه در کاهش انتقال سدیم به اندام هوایی یکی از عوامل مهم در تعیین غلظت‌های سدیم اندام هوایی در ارقام گندم است (Husain *et al.*, 2004؛ Munns, 2005). مقادیر بالایی از سدیم که از ریشه به اندام هوایی منتقل می‌گردد، در اندام هوایی باقی خواهد ماند زیرا مقدار ناچیزی از آن توسط آوند آبکش قابل برگشت به ریشه است. بنابراین یکی از فرایندهای مهم تعیین‌کننده تجمع سدیم در اندام‌های هوایی مربوط به فرایندهای کنترل کننده انتقال آن به آوندهای آبکشی ریشه می‌باشد (Zhu *et al.*, 2016).

Rivelli *et al.* (2002) و Rahnama *et al.* (2011) مقایسه ارقام متحمل و حساس به شوری گندم در ۲۰ و ۳۳ روز پس از اعمال تیمار شوری در مرحله گیاهچه‌ای در شرایط هیدروپونیک نشان دادند که یکی از عوامل مهم تفاوت در مقدار سدیم اندام هوایی، تفاوت در مقدار RGR ارقام مختلف است، در صورتی که در مطالعه برخی محققین عامل تفاوت در سدیم اندام هوایی تفاوت در میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی عنوان شده است (Schachtman and Munns, 1992؛ Hussain *et al.*, 2004).

در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری تفاوتی در کاهش درصد وزن خشک ریشه در ارقام مختلف وجود نداشت اما در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار شوری کاهش آن در رقم تجن نسبت به رقم کویر و مهدوی معنی‌دار بود. عدم کاهش وزن خشک ریشه در ارقام متحمل و کاهش آن در رقم حساس تجن در تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار نشان می‌دهد که وزن خشک ریشه می‌تواند به‌عنوان شاخص مهمی جهت تحمل به شوری مورد توجه قرار گیرد. محققین شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم را غلظت مطلوبی جهت بروز اختلاف در رشد ریشه ارقام گندم معرفی نموده‌اند (Rahnama *et al.*, 2011).

در تحقیقات متعددی وزن خشک ریشه به‌عنوان ملاک انتخاب جهت تحمل به شوری در گندم معرفی گردیده است (Rahnama *et al.*, 2011؛ Shelden *et al.*, 2013). نتایج نشان داد که شوری باعث کاهش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی نسبت به وزن خشک ریشه شده است. کاهش بیشتر وزن خشک اندام هوایی نسبت به وزن خشک ریشه تحت تنش شوری در این آزمایش، در سایر تحقیقات مورد تأیید قرار گرفته است (Ghavami *et al.*, 2004؛ Rahnama *et al.*, 2011). در آزمایش دوم در شوری ۱۵۰ میلی‌مولار تجمع سدیم در ابتدا در رقم تجن بالاتر از رقم کویر و مهدوی بود اما از روز ۱۶ افزایشی ناگهانی در ارقام کویر و مهدوی ملاحظه گردید به‌طوری‌که غلظت سدیم در روز بیستم در رقم متحمل کویر بیشتر از ارقام مهدوی و تجن بود و در روز بیست و هشتم

www.SID.ir

Archive of SID

اختلاف بین هر سه رقم معنی‌دار گردید و مقدار سدیم در رقم تجن کمتر از رقم کویر و بیشتر از رقم مهدوی شد. بنابراین، علاوه بر کاهش تجمع سدیم در اندام هوایی، تحمل بافت‌ها نسبت به غلظت‌های بالای سدیم یکی دیگر از مکانیسم‌های تحمل به شوری می‌باشد (Munns and Tster, 2008). تحمل سلولی نسبت به افزایش سدیم یکی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل به شوری در غلاتی مانند برنج و گندم است و ارقام متحمل مقادیر بیشتری از سدیم را در بافت‌های خود تحمل می‌نمایند (Faiyue *et al*., 2012؛ Munns *et al*., 2006؛ Zhu *et al*., 2016). زمانی که سدیم توسط ریشه به برگ‌ها منتقل می‌گردد، امکان سمیت در سیمپلاست سلول‌های برگ وجود دارد و اگر یون سدیمی که به برگ‌ها منتقل می‌شود توسط سلول‌ها جذب و به واکوئل منتقل نگردد، در دیواره سلولی تجمع‌یافته و موجب از دست رفتن آب سلول‌ها می‌گردد (Flowers *et al*., 2015). حداکثر مقدار سدیم در رقم کویر بیش از رقم تجن و در رقم تجن بیش از رقم مهدوی بود (شکل ۴). مقدار سدیم ریشه در هر سه رقم در آزمایش دوم نیز اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). در این آزمایش به نظر نمی‌رسد که میزان رشد دارای تأثیر مهم و معنی‌داری بر تجمع سدیم باشد زیرا مقدار سرعت رشد نسبی در روزهای ۱۸-۸ و ۲۸-۱۸ دارای تفاوت معنی‌داری بین ارقام نبود. از طرفی تفاوت بین ارقام از نظر نسبت اندام هوایی به ریشه در آزمایش دوم غیرمعنی‌دار شد (داده‌ها نشان داده نشده است). به نظر می‌رسد مکانیسم فیزیولوژیک تعیین‌کننده‌ای در ریشه وجود دارد که موجب کاهش تجمع سدیم در اندام هوایی می‌گردد. قبل از این‌که سدیم از طریق آوند چوب به اندام هوایی برسد، ناقل‌های موجود در ریشه می‌تواند موجب برگشت آن از آوند چوب به سلول‌های ریشه شده و مانع از انتقال آن به اندام هوایی گردد (Munns and Tester, 2008؛ Zhu *et al*., 2016).

قبلاً گزارش شده است که اگر میزان جذب یون سدیم توسط ریشه، سرعت رشد نسبی و نسبت اندام هوایی به ریشه در ارقام مختلف مشابه باشد، میزان پایین‌تر انتقال یون سدیم از ریشه به اندام هوایی می‌تواند موجب غلظت پایین‌تر سدیم در اندام هوایی گردد (Munns *et al*., 2006). تغییرات در الگوی تجمع سدیم اندام هوایی با گذشت زمان در ارقام گندم در شوری ۵۰ میلی‌مولار نیز مشاهده گردیده است (Gorham, 1990). برخی ارقام گندم با محفظه‌بندی سدیم در واکوئل، غلظت این یون را در سیتوسول کاهش داده و موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم و در نتیجه حفظ ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌گردند (Munns *et al*., 2006؛ James *et al*., 2002). به نظر می‌رسد در این آزمایش رقم کویر تحمل بیشتری نسبت به غلظت‌های بالای سدیم دارد و به همین دلیل محققین عقیده دارند که همیشه ممانعت از ورود سدیم به اندام هوایی در گندم با تحمل به شوری مرتبط نمی‌باشد (Munns and Tester, 2008؛ James *et al*., 2002). ارقام متحمل با کاهش غلظت سدیم در سیتوسول و انتقال آن به واکوئل سدیم بیشتری را در بافت‌های خود تحمل می‌نمایند و از این رو کاهش غلظت سدیم در سیتوسول به عنوان مکانیسم مهم تحمل به شوری در گندم معرفی گردیده است (Munns and Gilliham, 2015). در این آزمایش از روز ۱۶ به بعد افزایشی ناگهانی در مقدار سدیم ارقام مختلف ملاحظه گردید و این افزایش در ارقام متحمل بیشتر بود. بررسی‌ها در مورد تغییرات غلظت سدیم با گذشت زمان در برگ‌های گندم نشان داده است که بعد از افزایش ثابتی در غلظت سدیم در برگ‌ها، افزایش چشمگیر و ناگهانی در غلظت این یون سمی اتفاق می‌افتد و دلیل آن را افزایش توانایی گیاه در کاهش انتقال سدیم به پهنک برگ‌های بالایی و جوان‌تر و حفظ آن در برگ‌های پایینی و پیرتر عنوان نموده‌اند به‌طوری‌که افزایش ناگهانی و چشمگیر سدیم برگ‌های پایین‌تر با کاهشی در تجمع سدیم برگ‌های

www.SID.ir

Archive of SID

بالایی همراه بوده است (Rivelli *et al*., 2002؛ Schachtman and Munns, 1992). نتایج دیگر آزمایشات نیز ثابت نموده است که پهنک برگ‌های مسن می‌تواند به‌عنوان یکی از موانع مهم جهت جلوگیری از انتقال یون سدیم به برگ‌های جوان عمل نماید (Rahnama *et al*., 2010؛ Huang *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بررسی مقدار سدیم در اندام هوایی به منظور مقایسه ارقام متحمل و حساس به شوری در یک مرحله مشخص از رشد گیاه ممکن است گمراه‌کننده باشد زیرا که ارقام مختلف گندم طی مدت زمان تنش شوری دارای الگوهای مختلفی از تجمع سدیم در اندام هوایی می‌باشند. ارقام گندم هگزاپلوئید توانایی مطلوبی در ممانعت از تجمع سدیم در اندام هوایی و کاهش جذب سدیم توسط ریشه‌ها دارند. در این آزمایش رقم مهدوی نسبت به دو رقم دیگر ممانعت بیشتری در تجمع سدیم اندام هوایی از خود نشان داد و رقم کویر توانست غلظت‌های بالاتری از سدیم در برگ‌ها را تحمل نماید. ممانعت از تجمع سدیم در اندام هوایی و تحمل غلظت‌های بالای سدیم توسط بافت‌ها دو مکانیسم تعیین‌کننده تحمل به شوری در گندم می‌باشد ضمن این‌که میزان غلظت سدیم اندام هوایی همیشه با مقاومت به شوری مرتبط نمی‌باشد. کاهش انتقال سدیم به اندام هوایی توسط ریشه یکی از مکانیسم‌های تعیین‌کننده فیزیولوژیک است که می‌تواند موجب کاهش تجمع این یون سمی در بافت‌های فتوسنتزکننده گردد.

References

Byrt, C. S., Xu, B., Krishnan, M., Lightfoot, D. J., Athman, A., Jacobs, A. K., Watson-Haigh, N. S., Plett, D., Munns, R., Tester, M. and Gilliham, M. (2014). The Na^+ transporter, TaHKT1; 5-D, limits shoot Na^+ accumulation in bread wheat. The Plant Journal, 80(3), 516-526.

Cuin, T. A., Tian, Y., Betts, S. A., Chalmandrier, R. and Shabala, S. (2009). Ionic relation and osmotic adjustment in durum and bread wheat under saline conditions. Functional Plant Biology, 36(12), 1110-1119.

Davenport, R., James, R. A., Plogander, A. Z., Tester, M. and Munns, R. (2005). Control of sodium transport in durum wheat. Plant Physiology, 137(3), 807-818.

Deinlein, U., Stephan, A., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J. I. (2014). Plant salt tolerance mechanisms. Trends in Plant Science, 14(6), 1-9.

Faiyue, B., Al-Azzawi, M. J. and Flowers, T. J. (2012). A new screening technique for salinity resistance in rice (*oriza sativa* L.) seedlings using bypass flow. Plant, Cell and Environment, 35(6), 1099-1108.

Flowers, T. J., Munns, R. and Colmer,T. D. (2015). Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. Annals of Botany, 115(3), 419-431.

Genc, Y., Mcdonald, G. K. and Tester, M. (2007). Reassessment of tissue sodium concentration as a criterion for salinity tolerance for bread wheat. Plant, Cell and Environment, 30(11), 1486-98.

Ghavami, F., Malmoobi, M. A., Ghannadha, M. R., Yazdi Samadi, B., Mozaffari, J. and

www.SID.ir

Archive of SID

Jafar Aghaei, M. (2004). An evaluation of salt tolerance in Iranian wheat cultivars at germination and seedling stages. Iranian Journal of Agricultural Science, 35(2), 453-464.

Gorham, J. (1990). Salt tolerance in Triticeae: K/Na discrimination in synthetic hexaploid wheat. Journal of Experimental Botany, 41(226), 623-627.

Gorham, J., Wyn Jones, R.G. and Bristol, A. (1990). Partial characterization of the trait for enhanced K^+:Na^+ discrimination in the D genome of wheat. Planta, 180(4), 590-597.

Huang, S., Spielmeyer, W., Lagudah, E. S., James, R. A., Platten, J. D., Dennis, E. S. and Munns, R. (2006). A sodium transporter (HKT7) is a candidate for Nax1, a gene for salt tolerance in durum wheat. Plant Physiology, 142(4), 1718-1727.

Husain, S., Caemmerer, S. V. and Munns, R. (2004). Control of salt transport from root to shoot. Functional Plant Biology, 31(11), 1115-1126.

Husain, S., Munns, R. and Caemmere, S. (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.

James, R. A., Davenport, R. J. and Munns, R. (2006). Physiological characterization of two genes for Nax1exclusion in durum wheat, *Nax1* and *Nax2*. Plant Physiology, 142(4), 1537-1547.

James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. and Caemmerer, S. V. (2002). Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. Functional Plant Biology, 29(12), 1393-1403.

Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist Journal, 167(3), 645-663.

Munns, R. (2010). Approaches to identifying genes for salinity tolerance and the importance of timescale. In R. Sankar (ed.), Plant stress tolerance, methods in molecular biology (pp. 25-38). UK: Springer Science, National Academies Press.

Munns, R. and Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops-what is the cost?. New Phytologist Journal, 208(3), 668-73.

Munns, R. and James, R. A. (2003). Screening method for salinity tolerance: A case study with tetraploid wheat. Plant and Soil, 253(1), 201-218.

Munns, R. and James, R. A. (2007). Recent advances in breeding wheat for production and salt stresses. In M. A. Jenks, P. M. Hasegawa, S. M. Jain (eds.), Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops (pp. 565-585.). New York: Springer, Business Media Press.

Munns, R. and Tester, M. (2008). Mechanism of Salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681.

Munns, R., James, R. A. and Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany, 57(5), 1025-1043.

www.SID.ir

Archive of SID

Munns, R., James, R. A., Islam, M. R. and Colmer, T. D. (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.

Munns, R., Schachtman, D. P. and Condon, A. G. (1995). The significance of a two phase growth response to salinity in wheat and barley. Australian Journal of Plant Physiology, 22(4), 561-569.

Poustini, K. and Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. Field Crops Research, 85(2-3), 125-133.

Rahnama, A., Munns, R., Poustini, K., and Watt, M. (2011). A Screening method to identify genetic variation in root growth response to a salinity gradient. Journal of Experimental Botany, 62(1), 69-77.

Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R., Ahmadi, A. and Alizadeh, H. (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(1), 79-92. [In Farsi]

Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R. and Alizadeh, H. (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(1), 21-30.

Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R. and Condon, A. G. (2002). Effect salinity on water relation and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. Functional Plant Biology, 29(9), 1065-1074.

Schachtman, D. P. and Munns, R. (1992). Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. Australian Journal of Plant Physiology, 19(3), 331-340.

Shabala, S. and Cuin, T. A. (2007). Potassium transport and plant salt tolerance. Physiologia Plantarum, 133(4), 651-669.

Shavrukov, Y., Gupta, N. K., Miyazaki, J., Baho, M. N., Chalmers, K. J. and Tester, M. (2010). HvNax3 a locus controlling shoot sodium exclusion derived from wild barley (*Hordeum vulgar* ssp spontaneum). Functional & Integrative Genomics, 10(2), 277-291.

Shelden, M., Roesnner, U., Sharp, R. E., Tester, M. and Bacic, A. (2013). Genetic variation in the root growth response of barley genotypes to salinity stress. Functional Plant Biology, 40(5), 516-530.

Storey, R. (1995). Salt tolerance, ion relation and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. Australian Journal of Plant Physiology, 22(1), 101-114.

Yeo, A. R., Yeo, M. E., Flowers, S. A. and Flowers, T. J. (1990). Screening of rice (*Oriza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship overall performance. Theoretical and Applied Genetics, 79(3), 377-384.

www.SID.ir

Archive of SID

Zhu, M., Shabala, L., Cuin, T. A., Huang, X., Zhou, M., Munns, R. and Shabala, S. (2016). *Nax* loci affect SOS1-Like Na^+/H^+ exchanger expression and activity in wheat. Journal of Experimental Botany, 67(3), 835-844.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of Sodium Accumulation in Leaves of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Cultivars Differing in Salt Tolerance

V. Atlassi Pak*

***Corresponding Author:** Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Hamedan, Iran (V.atlassi@gmail.com)

Received: 21 October, 2016 Accepted: 5 July, 2017

Abstract

Background and Objectives

Two main mechanisms for salt tolerance in plants are low rate of salt transport to shoots and tolerance of high leaf salt concentrations by sequestration of Na^+ within cells vacuoles. Recently research for genetic variation in Na^+ accumulation within bread wheat has revealed large variation in leaf Na^+ concentration. The control of Na^+ accumulation in leaf is an important physiological process conferring salt tolerance to wheat. Many studies have shown that low sodium concentration in leaves correlate with salt tolerance. Sodium concentration in leaves may be influenced by sodium uptake by roots and transport from root to shoot.

Materials and Methods

In order to understand the salt tolerance mechanisms and the pattern of Na^+ accumulation, 3 bread wheat cultivars differing in salt tolerance (Kavir, Mahdavi and Jajan), were evaluated through two factorial experiments based on completely randomized design in three replications. Experiment 1 used 3 cultivars (Kavir, Mahdavi and Jajan) with four salt treatments (0, 50, 100 and 150 mM NaCl) and experiment 2 used three cultivars (Kavir, Mahdavi and Jajan) with two salt treatments (0 and 150 mM NaCl).

Results

Leaf Na^+ concentration of genotypes was increased in response to increasing salinity after 14 days but Na^+ concentration was greater in sensitive genotype (Tajan) than tolerant genotypes (Kavir and Mahdavi). There were no significant differences between genotypes in RGR and shoot: root ratio. Results showed that the differences between genotypes in Na^+ transport were responsible for differences in shoot Na^+ concentrations. Na^+ concentration in the root of all genotypes was the same but salt tolerant genotypes maintained higher K^+: Na^+ ratio in shoot. Shoot biomass was significantly reduced at 150 mM NaCl, whereas this reduction was almost the same for all genotypes. Kavir had the highest ability to tolerate high leaf tissue concentrations of Na^+ and leaf Na^+ concentrations were much lower in Mahdavi than two other cultivars.

Discussion

It seems that the major effect of salinity on shoot biomass was due to the osmotic effect of salt, not due to Na^+-specific effects within the plant. Differences in Na^+ transport rates from roots to shoots may cause different patterns of sodium accumulation through time. The comparison of genotypes suggests that at least there are two main mechanisms for salt tolerance in hexaploid wheat. One is a lower rate of Na^+ accumulation in shoot and the other is tolerance of tissue to high concentrations of Na^+.

***Keywords:* Osmotic effect, Relative growth rate, Na^+ transport, Wheat**

www.SID.ir