



ارزیابی ارتباط دمای برگ با میزان تحمل به شوری و الگوی تجمع سدیم در اندام هوایی برخی ارقام گندم

وحید اطلسی پاک^{۱*}، امید بهمنی^۲، حسین یادگاری^۳

۱. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور

۲. استادیار علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۱

چکیده

درک مکانیسم‌های تحمل به شوری در گسترش ارقام متحمل ضروری به نظر می‌رسد. دو رقم گندم نان (ارگ و تنج) متفاوت از لحاظ تجمع سدیم اندام هوایی و یک رقم گندم دوروم (بهرنگ) از نظر دمای برگ و الگوی تجمع سدیم در آزمایش گلخانه‌ای تحت سطوح متفاوت شوری (شاهد: بدون تنش، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در واکنش به افزایش شوری غلظت سدیم ریشه و اندام هوایی افزایش پیدا کرد اما این افزایش در ریشه‌ها بیشتر بود. تنش شوری وزن خشک اندام هوایی را در ارقام گندم نان ۳۲ درصد و در رقم بهرنگ ۶۳ درصد کاهش داد. در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، ۴۵ روز پس از اعمال تنش شوری نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در همه ارقام حدود ۶۰ درصد کاهش یافت و بالاترین مقدار کاهش کلروفیل در این سطح از شوری مربوط به رقم بهرنگ و به مقدار ۷۵ درصد بود. اختلاف بین غلظت سدیم برگ‌ها در ارقام گندم نان ۴۵ روز پس از اعمال تنش شوری قابل ملاحظه بود اما در مراحل دیگر رشد تفاوت چندانی مشاهده نشد. رقم ارگ در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش ناچیز و غیرمعنی‌داری در دمای برگ (۰/۸۷ درجه سانتی‌گراد) داشت اما در رقم تنج (۱/۷۴ درجه سانتی‌گراد) و در رقم بهرنگ (۴/۳۰ درجه سانتی‌گراد) این افزایش معنی‌دار بود. در طی زمان ممکن است الگوهای متفاوتی از تجمع سدیم در ارقام گندم وجود داشته باشد، به نظر می‌رسد در مراحل اولیه رشد گیاه، عوامل روزنه‌ای فتوسنتز نسبت به میزان کلروفیل از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و از آنجا که دمای برگ تابعی از هدایت روزنه‌ای می‌باشد احتمالاً می‌توان از آن در ارزیابی تحمل به تنش اسمزی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تحمل به شوری، تنش اسمزی، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

جذب آب توسط ریشه را محدود نموده و موجب تنش آبی در گیاه می‌گردد و کاهش رشد و هدایت روزنه‌ای در گیاه را بدنبال دارد (James et al., 2008). سنجش دمای برگ در علوم کشاورزی و فیزیولوژی گیاهی مورد استفاده قرار گرفته (Urrestarazu, 2013) و در بررسی وضعیت آبی تحت تنش شوری هم در مزرعه و هم در کشت‌های گلخانه‌ای کاربرد دارد (James and Sirault, 2012; Urrestarazu, 2013). از

شوری یکی از مهمترین عوامل محدود کننده تولید غلات در بیشتر مناطق دنیاست (Zhang and Shi, 2013). بیشتر تحقیقات در زمینه تحمل گیاهان به شوری، بر دو عامل ممانعت از ورود و همچنین نحوه به حداقل رساندن آسیب املاح در گیاه تاکید دارد (Zhu et al., 2016). البته رشد گیاهان زراعی به مقدار زیادی بوسیله اثرات اسمزی حاصل از املاح در اطراف ریشه محدود می‌گردد (Munns and Tester, 2008). اثر اسمزی بخشی از اثرات شوری است که

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ تحت شرایط گلخانه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور مرکز همدان به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و به صورت گلدانی اجرا گردید. فاکتور اول شامل سه سطح شوری شاهد: بدون شوری، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، فاکتور دوم شامل دو رقم گندم نان ارگ و تجن متفاوت از لحاظ تجمع سدیم اندام هوایی (Poustini and Siosemardeh, 2004; Atlasi, 2018) و نیز یک رقم گندم دوروم به رنگ بود. دمای گلخانه در روز حدود ۲۴ و در شب ۱۶ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. ابتدا بذور سالم، هم اندازه و هم وزن توسط هیپوکلریت ۱٪ ضدعفونی شده و سپس تعداد ۱۲ عدد بذر در داخل هر گلدان (قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی-متر) که حاوی مخلوطی از خاک با بافت لومی شنی (۶۰ درصد)، ماسه (۳۰ درصد) و کود دامی (۱۰ درصد) بودند کشت گردید. پس از اطمینان از استقرار بوته‌ها عملیات تنک انجام شد و در نهایت در هر گلدان ۵ بوته باقی ماند. هر واحد آزمایشی نیز شامل ۵ گلدان بود. پس از ظهور کامل برگ دوم، تیمارهای شوری بوسیله نمک کلرید سدیم اعمال شد و از ۵ روز بعد از آن، دمای برگ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در طول دوره آزمایش، به طور هفتگی هدایت الکتریکی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و سپس شوری عصاره اشباع خاک طی رشد گیاه در محدوده مقادیر مورد نظر حفظ گردید. دمای برگ توسط دما سنج مادون قرمز مدل KIMO-KIRAY 300 (ساخت فرانسه) اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که از اندام هوایی هر بوته به طور متوسط دمای برگ از ۲۰ نقطه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (James and Sirault, 2012; Esmaeili et al., 2017). اندازه‌گیری دما بین ساعت ۱۱ ظهر تا ۲ بعد از ظهر از برگ دوم هر بوته صورت گرفت. در زمان اندازه‌گیری، دما سنج با فاصله حداکثر ۲۰ سانتی‌متر از برگ قرار داده شد. از ۱۵ روز پس از اعمال شوری مقدار سدیم و پتاسیم اندام هوایی اندازه‌گیری شد و هر ۱۵ روز یکبار به مدت ۶۰ روز ادامه یافت. همچنین ۴۵ روز پس از اعمال شوری مقدار سدیم و پتاسیم ریشه، وزن خشک اندام هوایی و همچنین مقدار کلروفیل برگ اندازه‌گیری گردید. جداسازی ریشه‌ها از خاک از طریق اشباع کردن خاک به همراه ریشه در آب و شستشوی ریشه با آب و سپس عبور از صافی صورت گرفت. بوته‌ها پس از تفکیک به ریشه و اندام هوایی با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفته و به مدت

آنجا که دمای برگ تابعی از هدایت روزه‌ای می‌باشد، اندازه‌گیری آن می‌تواند در سنجش تحمل به تنش اسمزی مورد استفاده قرار گیرد (James and Sirault, 2012). تکنیک‌های دمایی در خیلی از جنبه‌های علوم کشاورزی از قبیل مطالعات مزرعه‌ای (Antonucci et al., 2011)، فیزیولوژی گیاهی (Glenn, 2012)، بررسی تنش‌های شوری در غلات و تشخیص اثرات شوری در محیط‌های بدون خاک (Urrestarazu, 2013) کاربرد دارد. برخی محققین عقیده دارند که تحمل به تنش اسمزی در ارقام گندم دارای تنوع ژنتیکی پایینی می‌باشد (James et al., 2008). مطالعات نشان داده است که حتی در گندم‌های دوروم برخی مواقع تحمل اسمزی با گندم‌های نان مشابه بوده و تفاوت در تحمل به شوری در گندم‌های دوروم و نان با توانایی آنها در تجمع سدیم بافت‌های هوایی مرتبط می‌باشد (Munns et al., 1995). حال از آنجا که اختلاف بین دمای برگ بدلیل تفاوت میزان تعرق می‌تواند تعیین گردد، این احتمال وجود دارد که با استفاده از مقایسه دمای برگ بتوان تحمل به تنش اسمزی را مورد بررسی قرار داد. چنانچه گفته شد توانایی ارقام در تجمع سدیم اندام هوایی با تحمل به شوری ارقام مرتبط می‌باشد، اما در برخی آزمایشات نتایج متفاوتی گزارش شده است و ارتباطی بین تجمع سدیم در اندام هوایی و تحمل به شوری مشاهده نشده است (Munns et al., 2006; Genc et al., 2007). زیرا نمونه برداری در یک مرحله رشدی مشخص، گمراه کننده بوده و اختلاف بین غلظت‌های سدیم برگ در ارقام مختلف در طی زمان می‌تواند زیاد و یا ناچیز باشد هوایی نیز از نظر غلظت سدیم می‌تواند گمراه کننده 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)؛ بنابراین الگوی تجمع سدیم در بافت‌های هوایی با توجه به موارد مذکور می‌تواند در ارقام مختلف متفاوت باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی وضعیت دمای برگ در ارقام مختلف گندم به عنوان روشی ساده، غیر تخریبی و سریع در تعیین تحمل به تنش اسمزی و نیز ارزیابی الگوی تجمع سدیم اندام هوایی و ارتباط آنها با برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و تحمل به شوری گیاه انجام شد.

تیمارها از آزمون LSD استفاده گردید. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم ریشه و نسبت‌های یونی اندام هوایی، ریشه و ماده خشک اندام هوایی تفاوت معنی‌داری را بین سطوح شوری و ارقام مختلف نشان داد. مقدار کلروفیل نیز تحت تاثیر شوری قرار گرفت اما اثر رقم بر آن غیر معنی‌دار شد. برهمکنش اثر رقم و شوری تفاوت معنی‌داری در همه صفات مورد مطالعه نشان داد (جدول ۱). روند تجمع سدیم در اندام‌های هوایی با گذشت زمان در همه-ی ارقام افزایش یافت اما تغییرات پتاسیم در اندام‌های هوایی روند مشخصی نداشت (شکل‌های ۲ و ۳). دمای برگ در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار نسبت به شاهد دارای تغییر معنی-داری نبود اما شوری ۲۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش دمای برگ در ارقام تنج و بهرنج گردید (جدول ۲).

۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. سپس ماده خشک اندام هوایی با استفاده از ترازوی دقیق مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. جهت تجزیه یون‌های سدیم و پتاسیم از روش اسید استیک ۰/۱ نرمال استفاده شد. در این روش ابتدا ۰/۱ گرم نمونه گیاهی آسیاب شده را درون فالكون ریخته و ۱۰ میلی‌لیتر اسید استیک ۰/۱ نرمال به آن اضافه نموده و در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار گرفته و پس از عبور دادن نمونه‌ها از کاغذ صافی، میزان سدیم و پتاسیم توسط دستگاه نشر شعله‌ای (Jenway-PFP7) قرائت گردید (Atlassi Pak et al., 2018). کلروفیل a و b نیز با استفاده از استون ۸۰ درصد استخراج شده و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Holden, 1967). سپس مجموع کلروفیل a و b بدست آمد و ملاک مقایسه قرار گرفت. جهت مقایسه دمای برگ تحت شرایط شوری و نرمال از آزمون T-Test استفاده شد (Esmaeili et al., 2017). محاسبات آماری توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام گرفت و برای مقایسه میانگین

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح مختلف شوری بر صفات مورد مطالعه در ارقام گندم

Table 1. The result of analysis of variance (Mean of squares) for effect of salinity levels on the evaluated traits in wheat cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سدیم ریشه Root Na ⁺	پتاسیم ریشه Root K	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی Shoot K ⁺ /Na ⁺ ratio	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K ⁺ /Na ⁺ ratio	کلروفیل Chlorophyll	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight
شوری Salinity (S)	2	209694**	17339**	29**	5.3**	11**	73**
رقم Cultivar (C)	2	1630*	125*	17**	0.01**	0.05 ^{ns}	47**
شوری×رقم S×C	4	1575*	1637**	5.1**	0.008**	2.62**	5.3**
خطا Error	18	369	28	0.86	0.001	0.04	0.53
CV(%) ضریب تغییرات		7.1	5.9	19	5.4	6.5	8.6

ns, **, * به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

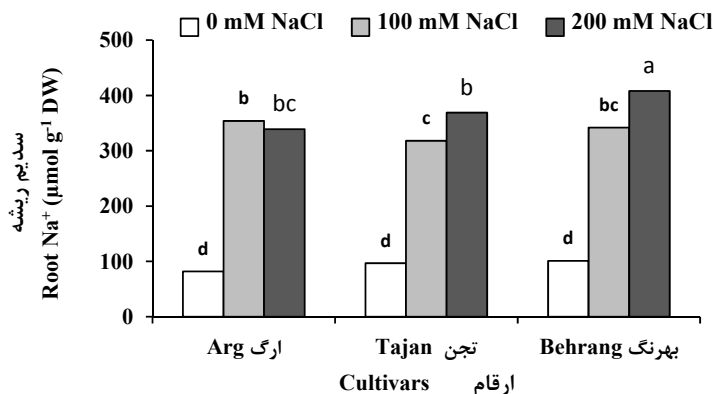
ns, **, *: Non significant, significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

انتقال آن به اندام هوایی تحت تنش شوری به عنوان یکی از مکانیسم‌های تحمل به شوری در گندم مورد تایید قرار گرفته است (Davempourt et al., 2005; Rahnama et al., 2011). با مقایسه غلظت‌های یون سدیم ریشه در ارقام مختلف و تجمع سدیم در اندام هوایی در سطوح مختلف

نتایج نشان داد با افزایش شوری غلظت سدیم ریشه در هر سه رقم افزایش یافت و با گذشت زمان در هر دو سطح شوری، میزان سدیم اندام هوایی نیز دارای روند افزایشی بود (شکل ۱ و ۲)، اما در هر سه رقم غلظت این یون در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. تجمع سدیم در ریشه و ممانعت از

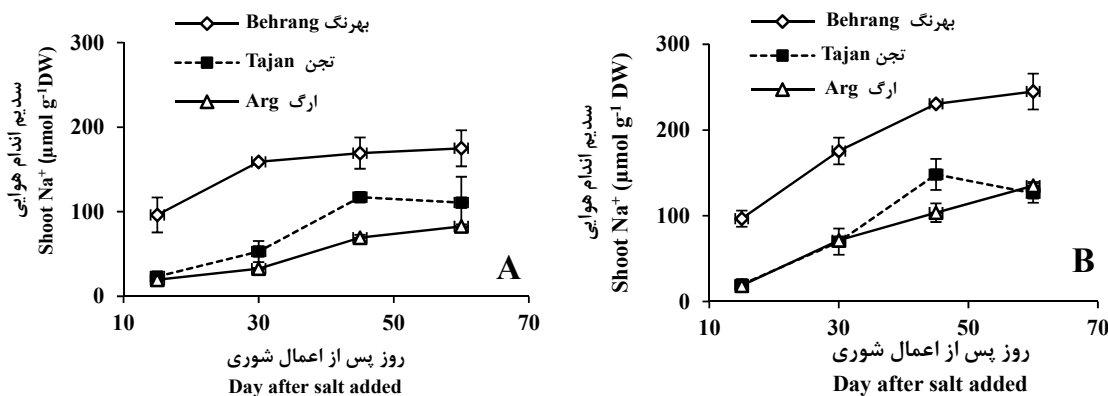
آزمایشات قبلی، مقدار سدیم اندام هوایی در دو رقم ارگ و تاجن متفاوت گزارش شده است (Poustini and Siosemardeh, 2004; Atlassi Pak et al., 2018)؛ اما نتایج این آزمایش نشان داد که تفاوت بین سدیم اندام هوایی در دو رقم فقط در ۴۵ روز پس از اعمال شوری قابل ملاحظه می‌باشد. این نتیجه تایید کننده این موضوع می‌باشد که بررسی غلظت سدیم اندام هوایی در یک مرحله مشخص رشدی می‌تواند گمراه کننده باشد چرا که اختلاف بین غلظت سدیم برگ در ارقام مختلف در طی زمان می‌تواند قابل ملاحظه و یا ناچیز باشد (Schachtman and Munns, 1992; Atlassi Pak, 2018). با این وجود غلظت سدیم در رقم بهرنگ در طی زمان همواره بالاتر از ارقام ارگ و تاجن بود؛ بنابراین به نظر می‌رسد مقایسه ارقام یک گونه از نظر غلظت سدیم اندام هوایی در یک زمان مشخص صحیح نیست، زیرا غلظت سدیم بافت‌های هوایی در ارقام مختلف با گذشت زمان ممکن است متغیر باشد (Atlassi Pak, 2018). در منابع رقم ارگ رقم متحمل و رقم تاجن حساس معرفی گردیده است و غلظت سدیم اندام هوایی در رقم ارگ بیشتر از رقم تاجن گزارش شده است (Poustini and Siosemardeh, 2004; Atlassi Pak et al., 2018).

شوری، به نظر می‌رسد که تفاوت در غلظت یون سدیم اندام هوایی ارقام مورد بررسی، به تفاوت در بارگیری سدیم در آوند چوب ریشه و نیز انتقال این یون به اندام هوایی مرتبط می‌باشد. تفاوت ژنتیکی در بارگیری سدیم در ریشه موجب تفاوت در انتقال یون سدیم به اندام هوایی می‌گردد (Blumwald, 2000; Davemport et al., 2005). با توجه به نتایج، علی‌رغم غلظت بالای سدیم ریشه در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در رقم ارگ نسبت به تاجن (شکل ۱)، غلظت این یون در طول دوره رشد در اندام هوایی آن مشابه و یا کمتر از رقم تاجن بوده و به طور چشمگیری پایین‌تر از رقم بهرنگ می‌باشد بطوریکه نشان می‌دهد به احتمال زیاد میزان بارگیری سدیم این رقم در ریشه‌ها در مقایسه با دو رقم دیگر پایین‌تر بوده است. کاهش انتقال یون سدیم از ریشه، برگ‌های مسن و غلاف برگ‌ها به برگ‌های جوان و فتوسنتز کننده از جمله مکانیسم‌های تحمل به شوری در گندم گزارش شده است (Atlassi Pak et al., 2018). روند تجمع سدیم اندام هوایی ارقام در سطوح مختلف شوری (شکل ۲) نشان داد که تفاوت بین غلظت سدیم در همه مراحل رشد بین رقم بهرنگ با دو رقم دیگر قابل ملاحظه بوده اما بین رقم ارگ و تاجن این تفاوت در ۴۵ روز پس از اعمال شوری مشاهده گردید. ضمناً در هر دو سطح شوری تفاوت بین سدیم اندام هوایی در رقم بهرنگ با دو رقم دیگر حفظ شد. با وجود اینکه در



شکل ۱. غلظت یون سدیم ریشه در ارقام گندم ۴۵ روز پس از اعمال تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند

Fig. 1. Root Na⁺ concentration of wheat cultivars 45 days after salt stress. Means with the same letter has no significant difference at P≤0.05

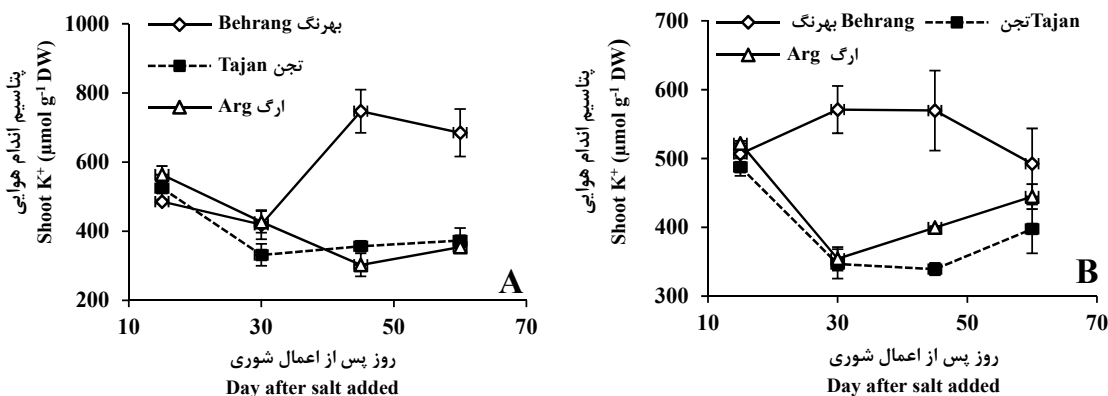


شکل ۲. غلظت سدیم اندام هوایی در ارقام مختلف گندم طی ۶۰ روز پس از اعمال تیمار ۱۰۰ (A) و ۲۰۰ (B) میلی‌مولار شوری. میله‌ها نشان دهنده خطای استاندارد می باشند.

Fig. 2. Shoot Na^+ concentration of wheat cultivars for 60 days after 100 (A) and 200 (B) mM NaCl was added. Bars show the standard error.

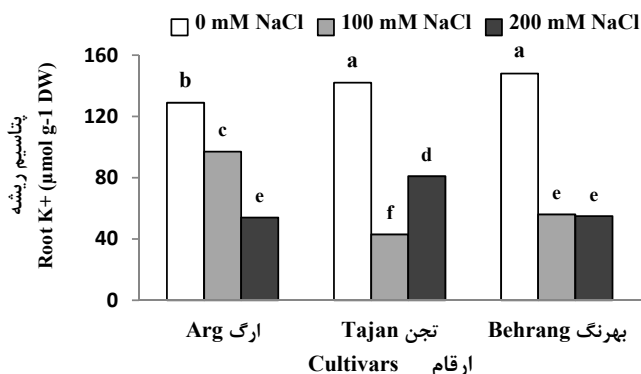
در (Rahnema et al., 2011 ; Rahnema et al., 2010) رقم بهرنگ پتاسیم در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در ۴۵ و ۶۰ روز پس از اعمال شوری، افزایش چشمگیری داشت در صورتی که در شوری ۲۰۰ نسبت به ۱۰۰ میلی‌مولار روند تغییرات کمتر بود. برخی ارقام گندم با انتقال پتاسیم بیشتر از ریشه به اندام هوایی، با شوری مقابله نموده و از این طریق موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی می‌گردند (Rahnema et al., 2011; Atlasi pak et al., 2018). به نظر می‌رسد رقم بهرنگ در سطوح بالای شوری، به دلیل رقابت بیشتر سدیم با پتاسیم در محیط ریشه قادر به افزایش غلظت پتاسیم اندام هوایی نسبت به شوری متوسط نبوده است. چنانچه در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار در روزهای ۴۵ و ۶۰ پس از اعمال شوری رقم بهرنگ غلظت یون پتاسیم را در سطحی بالاتر نسبت به شوری ۲۰۰ میلی‌مولار حفظ نموده است، بنابراین پایین بودن مقدار پتاسیم اندام هوایی در شوری بالا می‌تواند یکی از عوامل آسیب شدید ارقام گندم دوروم باشد. در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار تفاوتی بین غلظت پتاسیم در روز ۴۵ در ارقام ارگ و تاجن متناسب با غلظت یون سدیم ملاحظه گردید و از آنجا که مقدار یون سدیم در رقم تاجن در روز ۴۵ بیشتر از رقم ارگ بود مقدار یون پتاسیم آن نیز کمتر شد و این موضوع تاییدی بر وجود رقابت بین جذب سدیم و پتاسیم تحت تنش شوری می باشد.

در هر سه رقم گندم مورد مطالعه با افزایش شوری غلظت پتاسیم ریشه کاهش یافت اما در اندام هوایی روند تغییرات پتاسیم با گذشت زمان در رقم بهرنگ در مقایسه با دو رقم دیگر متفاوت بود (شکل‌های ۳ و ۴). ارتباط منفی و معنی‌داری بین جذب پتاسیم و سدیم در گندم وجود دارد (Rahnema et al., 2011). غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم ریشه در هر سه رقم نشان داد که افزایش یون سدیم در ریشه با کاهش یون پتاسیم در این آزمایش همراه بوده است. جذب یون سدیم به شدت با جذب یون پتاسیم رقابت نموده و سبب کاهش جذب آن می‌گردد (Munns et al., 2011). کاهش غلظت یون پتاسیم ریشه در گیاه جو نیز در شرایط شوری در مطالعات پیشین گزارش شده است (Shelden et al., 2013; Chen et al., 2005). روند تغییرات پتاسیم اندام هوایی با گذشت زمان در سطوح شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار در ارقام متفاوتی بود. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تفاوتی بین ارقام ارگ و تاجن در غلظت پتاسیم اندام هوایی با گذشت زمان مشاهده نگردید و روندی کاهشی از خود نشان داد، اما در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در این دو رقم غلظت پتاسیم اندام هوایی ابتدا روندی کاهشی و سپس افزایشی از خود نشان داد. افزایش پتاسیم اندام هوایی تحت تنش شوری در گندم در مطالعات متعددی گزارش شده است (Glenn, 2012; Atlasi Pak, 2018; Atlasi Pak et al., 2018). محققان معتقدند تحمل به شوری در گندم با توانایی آن در حفظ مقادیر بیشتر پتاسیم در بافت‌های هوایی مرتبط می‌باشد.



شکل ۳. غلظت پتاسیم اندام هوایی در ارقام مختلف گندم طی ۶۰ روز پس از اعمال تیمار ۱۰۰ (A) و ۲۰۰ (B) میلی‌مولار شوری. میله‌ها نشان دهنده خطای استاندارد می باشند.

Fig. 3. Shoot K^+ concentration of wheat cultivars for 60 days after 100 (A) and 200 (B) mM NaCl was added. Bars show the standard error



شکل ۴. غلظت یون پتاسیم ریشه در ارقام گندم ۴۵ روز پس از اعمال تنش شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

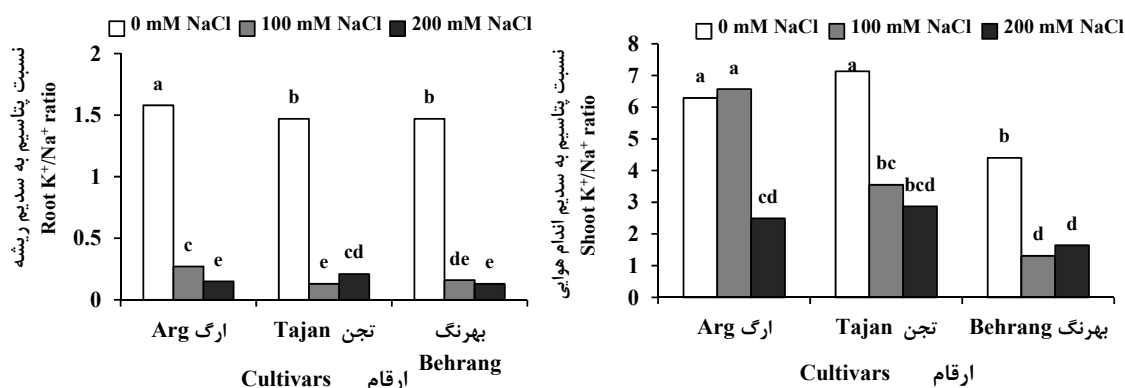
Fig. 4. Root K^+ concentration of wheat cultivars 45 days after salt stress. Means with the same letter has no significant difference at $P \leq 0.05$

اندام هوایی در هر سه رقم حدود ۶۰ درصد کاهش داشت و اختلاف آن‌ها غیرمعنی‌دار شد (شکل ۵). به نظر می‌رسد با افزایش غلظت سدیم در اطراف محیط ریشه انتخاب‌پذیری یون پتاسیم به سدیم نیز در رقم ارگ کاهش می‌یابد و نمی‌تواند این نسبت را در مقادیر بالا در اندام هوایی حفظ نماید؛ بنابراین برخلاف نتایج تحقیقات گذشته (Poustini and Siosemardeh, 2004; Munns and Tester, 2008) در سطوح بالای شوری نمی‌توان از نسبت سدیم به پتاسیم به عنوان معیاری به منظور ارزیابی تحمل به شوری در همه ارقام بهره‌گیری نمود. به گفته محققان نسبت پتاسیم به سدیم در سیتوسول سلول‌های بافت‌های هوایی معیار مناسب‌تری جهت

نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی نیز تحت تنش شوری در همه ارقام کاهش یافت اما این نسبت در رقم ارگ تحت شوری ۱۰۰ میلی‌مولار بدون تغییر بود (شکل ۵). در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش این نسبت در رقم بهرنگ حدود ۷۰ درصد بوده و بیشتر از دو رقم دیگر کاهش داشت. افزایش غلظت سدیم اندام هوایی و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم تحت تنش شوری در تحقیقات متعددی گزارش شده است (Munns et al, 2011; Sheldon et al., 2013). بالا بودن نسبت پتاسیم به سدیم به عنوان یکی از ملاک‌های مهم تحمل به شوری گندم ذکر گردیده است (Munns et al., 2011). در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار نسبت پتاسیم به سدیم

تعادل یونی و در نتیجه افزایش غلظت سدیم و کاهش پتاسیم بافت‌ها در پاسخ به تنش شوری می‌باشد (Munns and Tester, 2008). تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مختلف از نظر نسبت یون پتاسیم به سدیم در ریشه و اندام هوایی مشاهده شده است و به طور معمول این نسبت در همه ژنوتیپ‌ها در پاسخ به شوری نسبت به شاهد کاهش می‌یابد (Sheldon et al., 2013). با این حال، در برخی گونه‌ها نسبت پتاسیم به سدیم از اهمیت بیشتری نسبت به غلظت سدیم اندام هوایی برخوردار است (Munns and Tester, 2008).

ارزیابی تحمل به شوری می‌باشد و بررسی این نسبت در برخی سطوح شوری در اندام هوایی می‌تواند گمراه‌کننده باشد چون بخشی از سدیم تجمع یافته در بافت‌های گیاهی می‌تواند در واکنش ذخیره گردد (Cuin et al., 2010). در ریشه نیز این نسبت تحت تنش شوری در همه ارقام به نسبت بالایی کاهش یافت و به نظر می‌رسد که ارقام مورد بررسی به لحاظ جذب سدیم از محیط اطراف ریشه دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ای نبوده‌اند. به هر جهت در این آزمایش این نسبت حساس‌ترین صفت نسبت به تنش شوری بود که دلیل آن بهم خوردن



شکل ۵. نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه در ارقام گندم ۴۵ روز پس از اعمال شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

Fig. 5. Shoot and root K⁺/Na⁺ ratio of wheat cultivars 45 days after salt stress. Means with the same letter has no significant difference at P≤0.05.

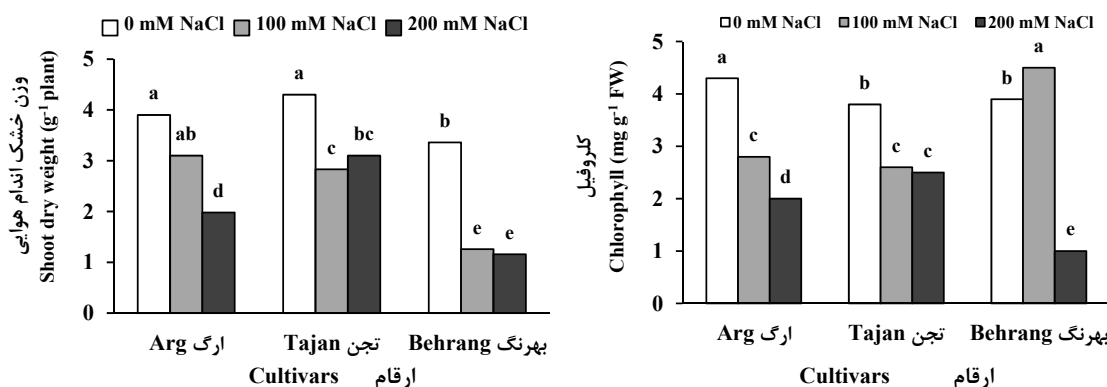
نسبت به ارقام گندم نان گردیده است. در شوری ۲۰۰ میلی مولار مقدار کلروفیل رقم بهرنگ ۷۵ درصد کاهش یافت اما این کاهش در رقم ارگ و تاجن به ترتیب ۵۴ و ۳۵ درصد بود. احتمالاً در سطوح بالای شوری رقم بهرنگ قادر به مدیریت مقادیر بالای سدیم نمی‌باشد و افزایش این یون سمی در سلول‌ها منجر به خسارت به کلروفیل می‌گردد. با وجود اینکه سدیم اندام هوایی در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در رقم ارگ در روز ۴۵ کمتر از رقم تاجن بود، اما مقدار کلروفیل آن کاهش بیشتری از خود نشان داد. تحمل سلولی و بافت‌ها نسبت به افزایش سدیم، یکی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی تحمل به شوری در ارقام گندم می‌باشد (Munns et al., 2006). محققان کاهش کمتر کلروفیل یا تأخیر در کاهش آن را تحت تنش شوری، به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تحمل بافت‌ها معرفی نموده‌اند (Cuin et al., 2010). نتایج نشان داد که مقدار ماده خشک اندام هوایی در سطوح شوری در

مقدار کلروفیل برگ تحت تأثیر شوری در همه ارقام کاهش یافت. در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار مقدار کلروفیل در رقم بهرنگ افزایش یافت اما در ارقام ارگ و تاجن کاهش داشت (شکل ۶). کاهش اندازه سلول و کاهش اندازه برگ در اثر تنش اسمزی حاصل از شوری و در نتیجه افزایش تراکم کلروپلاست در واحد سطح برگ از علل افزایش کلروفیل در سطوح متوسط شوری می‌باشد (Cuin et al., 2010). در ارقام ارگ و تاجن، شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به ترتیب موجب کاهش ۳۵ و ۳۲ درصدی کلروفیل گردید. نتایج آزمایشات نشان داده است که توانایی محفظه‌بندی سدیم در گندم دوروم بیشتر از گندم نان است و احتمالاً دلیل آن این است که از این طریق دفع کمتر سدیم را جبران می‌نماید (Zhu et al., 2016). احتمالاً در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار با وجود بالا بودن مقدار سدیم، مدیریت مطلوب تر این یون سمی در بافت‌های هوایی رقم بهرنگ موجب تخریب کمتر کلروفیل

در شرایط بدون شوری، دمای برگ در رقم بهرنگ از دو رقم دیگر پایین‌تر بود و در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار افزایش دمای برگ در هر سه رقم نسبت به شاهد غیر معنی‌دار شد. شوری ۲۰۰ میلی‌مولار موجب افزایش معنی‌داری در دمای برگ ارقام تجن و بهرنگ نسبت به شاهد شد (جدول ۲).

دمای برگ در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در رقم ارگ ۰/۸۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت که نسبت به شاهد معنی‌دار نبود اما ارقام تجن و بهرنگ در این سطح از شوری افزایش معنی‌داری به ترتیب ۱/۷۴ و ۴/۳۰ درجه سانتی‌گراد از خود نشان دادند. تنوع ژنوتیپی در تحمل به تنش اسمزی در شرایط شوری با هدایت روزه‌ای برگ‌ها مرتبط می‌باشد (James et al., 2008). تنوع در هدایت روزه‌ای می‌تواند منجر به تفاوت در دمای برگ‌ها گردد (Sirault et al., 2009). استفاده از دمای برگ در تعیین تحمل یا حساسیت به شوری در گیاه در مطالعات متعددی گزارش شده است (Jonnes., 1999; James and Sirault, 2012). از آنجا که تفاوت در دمای برگ در ارقام مختلف مرتبط با هدایت روزه-ای در برگ‌ها می‌باشد (Bayoumi et al., 2014) اثرات اسمزی ناشی از سطوح بالای شوری می‌تواند موجب بروز تنوع ژنوتیپی در تحمل به تنش شوری گردد. در مطالعه‌ای بر روی گندم در سطوح بالای شوری وجود این تنوع گزارش شده است (Esmacili et al., 2017). رقم

رقم بهرنگ به طور متوسط ۶۳ درصد و در ارقام ارگ و تجن به مقدار تقریباً مساوی و حدود ۳۲ درصد کاهش یافت (شکل ۶). با توجه به افزایش کلروفیل رقم بهرنگ در شوری ۱۰۰ میلی‌مولار و کاهش بیشتر ماده خشک آن نسبت به دو رقم دیگر، در این آزمایش کاهش ماده خشک عمدتاً در اثر عوامل روزه‌ای فتوسنتز اتفاق افتاده است. عوامل دیگری غیر از کلروفیل وجود دارد که در جذب کربن خالص از اهمیت بیشتری برخوردارند و حفظ کلروفیل نمی‌تواند تنها نشانه کارکرد دستگاه فتوسنتزی در شرایط شوری باشد. با توجه به مقادیر متفاوت سدیم اندام هوایی در ارقام، می‌توان گفت وقوع واکنش‌هایی که منجر به کاهش جذب کربن در گیاه می‌شود عمدتاً به دلیل اثرات اسمزی املاح می‌باشد (Rahnama et al., 2010; Zhang and Shi, 2013). کاهش میزان فتوسنتز و کاهش تعداد پنجه‌ها در گندم را از جمله این واکنش‌ها عنوان نموده‌اند (Cuin et al., 2010). کاهش به نسبت یکسان مقدار ماده خشک در شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار در رقم بهرنگ تاییدی بر اهمیت عامل روزه-ای کاهش رشد در این آزمایش می‌باشد. بنابر نتایج تحقیقات، تحت شرایط شوری مقدار فتوسنتز در گندم قبل از کاهش کلروفیل تحت تاثیر قرار می‌گیرد (James et al., 2011) و دلیل آن کاهش هدایت روزه‌ای می‌باشد (Rivelli et al., 2002).



شکل ۶. مقدار کلروفیل و وزن خشک اندام هوایی در ارقام گندم ۴۵ روز پس از اعمال شوری. میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

Fig. 6. Chlorophyll content and shoot dry weight of wheat cultivars 45 days after salt stress. Means with the same letter has no significant difference at $P \leq 0.05$

جدول ۲. مقایسه میانگین دمای برگ در ارقام گندم تحت شرایط نرمال و سطوح متفاوت شوری ۵ روز پس از اعمال شوری

Table 1. Mean comparison for leaf temperature of wheat cultivars grown under normal and saline conditions 5 days after salt stress.

رقم Cultivar	شاهد Control	شوری		تغییرات (درصد) Change (%)	سطح معنی‌داری (S)	شوری		تغییرات (درصد) Change (%)	سطح معنی‌داری (S)
		۱۰۰ میلی‌مولار Salinity (100 mM)	۲۰۰ میلی‌مولار Salinity (200 mM)			۲۰۰ میلی‌مولار Salinity (200 mM)	۲۰۰ میلی‌مولار Salinity (200 mM)		
Arg	ارگ	19.73	20.63	4.56	ns	20.60	4.39	ns	ns
Tajan	تجن	19.66	21.89	11.31	ns	21.40	8.81	**	**
Behrang	بهرنگ	18.43	19.46	5.60	ns	22.73	23.32	*	*

ns: غیر معنی‌دار، ** و * معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد T-Test: سطح معنی‌دار تغییرات بر اساس آزمون S
S: Significance levels of changes according to T-Test, ns: Non-significant, ** and * significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

بالای بافت‌ها در ارقام گندم، می‌تواند تخریب کلروفیل را تحت شرایط شوری به تعویق انداخته و از این طریق موجب تداوم رشد گیاه گردد. الگوی تجمع یون سدیم در مراحل مختلف رشد و با گذشت زمان در ارقام گندم متفاوت است و در یک مرحله مشخص رشدی در ارقام یک گونه از گندم نمی‌توان در تعیین تحمل به شوری، غلظت سدیم اندام هوایی را ملاک مقایسه قرار داد. همچنین نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی را نمی‌توان در ارقام مختلف و سطوح متفاوت شوری به عنوان ملاک تحمل به شوری در نظر گرفت. در سطوح بالای شوری احتمالاً می‌توان از دمای برگ به عنوان یک روش سریع، غیر تخریبی و آسان در تعیین تحمل به شوری ارقام گندم استفاده نمود.

تجن که به عنوان رقم حساس به شوری معرفی گردیده است، در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار افزایش معنی‌داری در دمای برگ از خود نشان داد. به نظر می‌رسد اثرات اسمزی حاصل از شوری ۱۰۰ میلی‌مولار به حدی نیست که بتواند در رقم بهرنگ نیز اختلاف بین هدایت روزنه‌ای را نسبت به ارقام گندم نان مشخص سازد اما در سطوح بالای شوری اثرات اسمزی ناشی از املاح می‌تواند با افزایش دما میزان تحمل یا حساسیت در گندم دوروم و ارقام گندم نان را تعیین نماید.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج آزمایش نشان داد که آسیب به گیاه عمدتاً بدلیل کاهش پتاسیم نبوده، بلکه در اثر افزایش غلظت سدیم است. تحمل

منابع

- Antonucci, F., Pallottino, F., Costa, C., Rimatori, V., Giorgi, S., Papetti, P., Menesatti, P., 2011. Development of a rapid soil water content detection technique using active infrared thermal methods for in field applications. *Sensors*. 11, 10114-10128.
- Atlasi Pak, V., Bahmani, O., Asadbegi, M., 2018. Evaluation N⁺ concentration and K⁺/Na⁺ ratio as a criterion for salinity tolerance in wheat and barley. *Journal of Crop Production and Processing*. 8, 133-143. [In Persian with English Summary].
- Atlasi Pak, V., 2018. Evaluation of sodium accumulation in leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Crop Production*. 41, 43-56. [In Persian with English Summary].
- Bayoumi, T.Y., El-Hendawy, S., Yousef, M.S. H., Emam, M.A.G., Okasha, S.A.A.G., 2014. Application of infrared thermal imagery for monitoring salt tolerant of wheat genotypes. *Journal of American Science*. 10, 1-8.
- Blumwald, E., 2000. Sodium transport and salt tolerance in plants. *Current Opinion in Cell Biology*. 12, 431-434.
- Chen, Z., Neman, I., Zhou, M., Mendham, M., Zhang, G., Shabala, S., 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K flux: a case study for barley. *Plant, Cell and Environment*. 28, 1230-1246.

- Cuin, T.A., Parsons, D., Shabala, S., 2010. Wheat cultivars can be screened for NaCl salinity tolerance by measuring leaf chlorophyll content and shoot sap potassium. *Functional Plant Biology*. 37, 656-664.
- Davenport, R., James, R.A., Plogander, A.Z., Tester, M., Munns, R., 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiology*. 137, 807-818.
- Esmacili, A., Poustini, K., Ahmadi, H., Abbasi, A., 2017. Use of IR thermography in screening wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for salt tolerance. *Archive of Agronomy and Soil Science*. 63, 161-170.
- Genc, Y., McDonald, G.K., Tester, M., 2007. Reassessment of tissue sodium concentration as a criterion for salinity tolerance for bread wheat. *Plant, Cell and Environment*. 30, 1486-98.
- Glenn, D.M., 2012. Infrared and chlorophyll fluorescence imaging methods for stress evaluation. *Horticultural Science*. 47, 697-698.
- Holden, M., 1976. Chlorophylls. In Goodwin, T.W. (ed.), *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. Academic Press. New York.
- James, R.A., Caemmerer, S.V., Condon, A.G., Zwart, A.B., Munns, R., 2008. Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*. 35, 111-123.
- James, R. A., Blake, C., Byrt, C. S., Munns, R., 2011. Major genes for Na⁺ exclusion, Nax1 and Nax2 (Wheat HKT1;4 and HKT1;5), decrease sodium accumulation in bread wheat leaves under saline and waterlogged conditions. *Journal of Experimental Botany*. 62, 2939-2947.
- James, R.A., Sirault, X.R., 2012. Infrared thermography in plant phenotyping for salinity tolerance. *Plant salt tolerance: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology*, Springer Science. Business Media 913, 173-189.
- Jones, H.G., 1999. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell and Environment*. 22, 1043-1055.
- Munns, R., Schachtman, D.P., Condon, A. G., (1995). The significance of a two phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*. 22, 561-569.
- Munns, R., James, R.A., 2003. Screening method for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 253, 201-218.
- Munns, R., James, R. A., Lauchli, A., 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*. 57, 1025-1043.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanism of Salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
- Munns, R., 2010. Approaches to identifying genes for salinity tolerance and the importance of timescale. In: Sankar, R. (ed.), *Plant Stress Tolerance, Methods in Molecular Biology* (pp. 25-38). UK: Springer Science. National Academies Press.
- Munns, R., James, R.A., Islam, M.R., 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.
- Poustini, K., Siosemardeh, A., 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*. 85, 125-133
- Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R., Ahmadi, A., Alizadeh, H., 2010. Evaluation of sodium exclusion from different tissue of wheat (*Triticum aestivum* L), cultivars differing in salt tolerance. *Iranian Journal of Field Crop Science*. 41, 79-92. [In Persian with English Summary].
- Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R., 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, 21-30.
- Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R., Condon, A. G., 2002. Effect of salinity on water relation and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*. 29, 1065-1074.
- Schachtman, D.P., Munns, R., 1992. Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology*. 19, 331-340.
- Shelden, M., Roesnner, U., Sharp, R. E., Tester, M., Bacic, A., 2013. Genetic variation in the

- root growth response of barley genotypes to salinity stress. *Functional Plant Biology*. 40, 516-530.
- Sirault, X.R., James, R.A., Furbank, R.T., 2009. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. *Functional Plant Biology*. 36, 970-977.
- Urrestarazu, M., 2013. Infrared thermography used to diagnose the effect of salinity in a soilless culture. *Quantitative Infrared Thermography*. 10, 1-8.
- Zhang, J.L., Shi, H., 2013. Physiological and molecular mechanism of plant salt tolerance. *Photosynthesis Research*. 115, 1-22.
- Zhu, M., Shabala, S., Shabala, L., Fan, Y., Zhu, X., 2016. Evaluating predictive values of various physiological indices for salinity stress tolerance in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 202, 115-124.
- Zhu, M., Shabala, L., Cuin, T.A., Huang, X., Zhou, M., Munns, R., Shabala, S., 2016. Nax loci affect SOS1-Like Na⁺/H⁺ exchanger expression and activity in wheat. *Journal of Experimental Botany*. 67, 835-844.



Original article

Evaluation of relationship between leaf temperature and salinity tolerance and pattern of shoot sodium accumulation in wheat cultivars

V. Atlassi Pak^{1*}, O. Bahmani², H. Yadegari³

1. Assistance Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Iran

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

3. M.Sc Student of Irrigation and Drainage, Faculty of agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received 30 January 2019; Accepted 12 March 2019

Abstract

The understanding of salt tolerant mechanisms is crucial for development of varieties with high salinity tolerance. In this greenhouse experiment, two bread (Arg and Tajan) and a durum (Behrang) wheat cultivars were evaluated in terms of leaf temperature and patterns of Na⁺ accumulation under three salinity levels (Control, 100 and 200 mM NaCl). Shoot and root Na⁺ concentration was increased in response to increase in salinity and this increase was greater in roots. Salt stress decreased shoot dry weight in bread wheat cultivars (32%) and durum wheat (63%) as well. In the highest salinity level, after 45 days exposure to salt stress, shoot K⁺/Na⁺ ratio was reduced in all genotypes about 60% and in this level of salinity higher reduction in chlorophyll content occurred in Behrang (75%) cultivar. Differences in leaf Na⁺ concentration between two bread wheat cultivars was more obvious in 45 days after salt stress but in other growth stages were less obvious. At 200 mM NaCl, Arg showed the lowest and non-significant increase in leaf temperature (0.87° C) but in Tajan (1.74° C) and Behrang (4.30° C) this increase was significant. Different patterns of Na⁺ accumulation may be exist in wheat cultivars through time. This preferential in early growth stages, stomatal factors is more important than chlorophyll content and as leaf temperature is largely a function of stomatal conductance, this can probably be used to assess osmotic stress tolerance.

Keywords: Chlorophyll, Osmotic stress, Stomatal conductance, Salinity tolerance

*Correspondent author: Vahid Atlassi Pak; E-Mail: v.atlassi@gmail.com.