



اثر تنش شوری بر ویژگی‌های ریشه و توزیع یونی شش رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

حمیده زارع بنادکوکي^۱، کاظم پوستینی^{۲*}، علیرضا عباسی^۲

۱. دانشجوی دکتری دانشگاه تهران، کرج

۲. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۲

چکیده

به منظور بررسی اثر شوری بر برخی ویژگی‌های ریشه و توزیع یونی، پژوهشی به صورت فاکتوریل خردشده در زمان در سه تکرار با دو سطح شوری ۲ (شاهد) و ۱۶ (شوری) دسی‌زیمنس بر متر بر روی شش رقم گندم (اترک، پیشتاز، چمران، روشن، قدس و شیراز) و در دو سطح برداشت (دو هفته و سه هفته پس از کاشت) در گلخانه اجرا گردید. صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک شاخساره، نسبت وزن خشک شاخساره به وزن خشک ریشه، طول و حجم کل ریشه، غلظت سدیم، پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و شاخساره، تعداد ریشه محوری و جانبی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در هفته دوم و سوم، شوری موجب کاهش وزن خشک ریشه، شاخساره، طول، حجم ریشه و تعداد ریشه جانبی اولیه در تمام رقم‌ها شد. چمران و روشن در تیمار شاهد به ترتیب توانایی بالایی در تولید وزن خشک ریشه و شاخساره داشتند. در شوری در هر دو هفته، رقم روشن از بیشترین وزن خشک ریشه (۱۴ و ۱۸ میلی‌گرم بر بوته) و حجم کل ریشه (به ترتیب ۷۸ و ۹۳ میلی‌متر مکعب بر بوته) برخوردار بود. رقم قدس با بیشترین شدت افت در هر دو هفته (به ترتیب ۵۴٪ و ۵۰٪) کمترین میزان وزن خشک ریشه را دارا بود. کمترین میزان حجم کل ریشه در شوری هفته دوم و سوم به ترتیب مربوط به رقم‌های قدس و شیراز (۴۰ و ۵۹ میلی‌متر مکعب بر بوته) بود. رقم قدس با ظرفیت زیاد تولید ریشه در شاهد، کاهش شدیدی در تولید ریشه‌های جانبی و مجموع طول ریشه در اثر شوری نشان داد. همچنین روشن با وجود داشتن بیشترین غلظت سدیم شاخساره در تیمار شوری، به دلیل حفظ یون پتاسیم در ریشه و شاخساره، توانست بیشترین میزان شاخساره را تولید کند. بر اساس صفات ارزیابی شده و واکنش رقم‌های مورد بررسی به شوری، متحمل بودن رقم روشن و حساس بودن رقم قدس به شوری، در این مرحله از رشد مطابق با گزارش‌های قبلی است.

واژه‌های کلیدی: حجم ریشه، طول ریشه، یون سدیم، یون پتاسیم

مقدمه

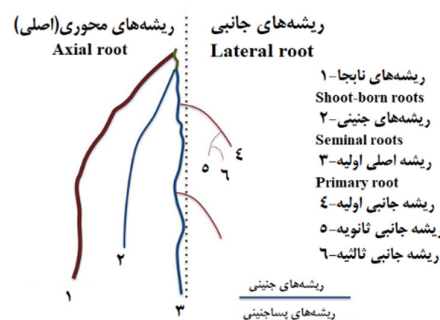
سبز دومی» را در جهت بررسی امکان بهبود عملکرد از طریق بهینه‌سازی سیستم ریشه، آغاز کرده‌اند (Koevoets et al., 2016). میزان مؤثر بودن ریشه‌ها به‌عنوان اندام‌های جذب‌کننده به وسعت سیستم ریشه‌ای بستگی دارد (Weaver, 1919). یک عامل مهم در میزان تحمل به شوری رقم‌های گندم چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آن‌هاست. ریشه اولین اندامی است که با شوری خاک مواجه می‌گردد.

آب‌و خاک شور از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. سیستم ریشه نقش‌های حیاتی را در جهت سازگاری گیاه با محیط ایفا می‌کند که از آن جمله می‌توان به جذب آب و مواد غذایی، استقرار گیاه در خاک و ایجاد فعل‌وانفعالات زیستی در محیط ریزوسفر اشاره نمود (Malamy and Benfey, 1997). با توجه به نقش‌های حیاتی ریشه در استقرار و عملکرد گیاهان، محققان «انقلاب

زمین‌گرایی، سرعت طول‌شدن و نرخ انشعاب‌زنی در اثر شوری تغییر و موجب تغییر در سیستم ریشه می‌شود. سازمان‌دهی ریشه‌های اولیه و جانبی و همچنین ریشه‌های فرعی (شامل دیگر انواع ریشه که در غلات یافت می‌شوند) به‌عنوان عامل کلیدی در تعیین کارایی گیاهان در جذب آب و مواد غذایی عمل می‌کنند. تغییر در سیستم ریشه می‌تواند بر روی ظرفیت جذب آب و مواد غذایی اثر بگذارد (Bates and Lynch, 2000). ترتیب انواع ریشه در گندم به‌صورت شماتیک در شکل ۱ مشخص شده است. سیستم ریشه در گیاهان تک‌لپه انواعی از ریشه‌های محوری را تولید می‌کند که بر اساس زمان و محل تولید، می‌توان آن را به دو گروه جنینی و پس‌جنینی طبقه‌بندی کرد. ریشه‌های تاجی و گرهی انواعی از ریشه‌های نابجا (پس‌جنینی) هستند که بسته به محل دقیق نمو و ضخامت از یکدیگر متمایز می‌شوند. ریشه‌های جنینی در استقرار گیاه در مراحل ابتدایی رشد و ریشه‌های نابجا در جذب آب و مواد غذایی از اهمیت بسزایی برخوردارند. (Koevoets et al., 2016).

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر شوری بر برخی ویژگی‌های ریشه و توزیع یونی طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل خردشده در زمان در سه تکرار در محل گلخانه به اجرا درآمد. به دلیل کوچک بودن مقدار میانگین مربعات اثر متقابل زمان*تکرار، این مقدار در خطای کرت فرعی ادغام شد (جدول ۱ و ۲). شش رقم گندم نان با نام‌های اترک، قدس، شیراز، روشن، پیشتاز و چمران از محل بانک ژن گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران مورد آزمایش قرار گرفتند. بر اساس نتایج مطالعات گذشته رقم‌های اترک، قدس و شیراز، حساس به شوری و رقم‌های روشن، پیشتاز و چمران، متحمل به شوری گزارش شدند (Poustini and Siosemardeh, 2004; Tavakoli et al., 2016). سطوح شوری در دو سطح شاهد (معادل تقریباً $EC=2 \text{ dS.m}^{-1}$) و 150 میلی‌مولار (معادل تقریباً $EC=16 \text{ dS.m}^{-1}$) کلرید سدیم در نظر گرفته شد (Rahnama et al., 2011). برداشت گیاهان در دو مرحله دو هفته [زمانی که سیستم ریشه تنها دارای ریشه‌های جنینی است (Fricke et al., 2014)] و سه هفته [زمانی که ریشه‌های نابجا شروع به رشد می‌کنند (Fricke et al., 2014)] پس از کاشت صورت گرفت. کشت و آبیاری به‌روش جین و همکاران (Jin et al., 2015) درون گلدان‌های استوانه‌ای پلاستیکی به ابعاد 25×10 سانتی‌متر حاوی ماسه‌بادی (با دانه‌بندی 0.7 درصد $500 \mu\text{m}$ ؛ $7/3$ درصد $355 \mu\text{m}$ ؛ $28/4$ درصد $250 \mu\text{m}$ ؛ $41/5$ درصد $180 \mu\text{m}$ ؛ $19/2$ درصد $125 \mu\text{m}$ ؛ $2/4$ درصد $90 \mu\text{m}$ ؛ $0/5$ درصد $63 \mu\text{m}$) و قابلیت هدایت الکتریکی $1/5$ دسی‌زیمنس بر متر) صورت گرفت.



شکل ۱. انواع ریشه در گندم (منبع: Koevoets et al., 2016)
Fig. 1. Root types in wheat (Koevoets et al., 2016)

گندم در گروه گیاهان نیمه متحمل به شوری قرار دارد (Munns and Tester., 2008). دو مکانیسم اصلی تحمل به شوری در گیاهان عبارت‌اند از انتقال مقادیر کم یون سدیم به اندام‌های هوایی و دیگری تحمل غلظت‌های بالای یون سدیم در برگ‌ها از طریق نگهداری یون‌ها در داخل واکوئل سلول است (Greenway and Munns, 1980). جلوگیری از جذب یون‌ها به‌وسیله ریشه، کاهش حرکت یون‌ها به داخل گیاه از طریق غشا پلاسمایی سلول ریشه، انتقال مجدد یون‌ها از برگ به ریشه و خروج آن‌ها از ریشه از مهم‌ترین راهکارهای محدودیت انتقال و تجمع نمک در اندام‌ها هستند (Erdei

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مربوط به ماده خشک اندام هوایی و ریشه تفاوت معنی‌داری را بین سطوح شوری و نیز در بین رقم‌های گندم در هر دو زمان برداشت نشان داد (جدول ۱). تنش شوری منجر به کاهش وزن خشک شاخساره تمامی رقم‌ها در هفته دوم و هفته سوم شد. به نظر می‌رسد رقم پیشتاز و شیراز به دلیل عدم جذب سدیم در هفته دوم، تنها تحت تأثیر اثر اسمزی تنش شوری قرار داشتند و در نتیجه کمترین شدت کاهش وزن خشک شاخساره (به ترتیب ۱۲٪ و ۱۶٪ افت) را نشان دادند (جدول ۲). در شوری رقم قدس با کاهش ۲۸٪ در هفته دوم و ۴۴٪ در هفته سوم نسبت به شاهد و تولید کمترین میزان وزن خشک شاخساره در هر دو هفته از حساسیت زیادی نسبت به شوری برخوردار بود (جدول ۲) و در مقابل رقم روشن با تولید بیشترین میزان وزن خشک شاخساره در تیمار شاهد و شوری در هر دو هفته متحمل است. همچنین در تیمار شاهد رقم روشن توانایی زیادی در تولید شاخساره دارد.

به جز رقم‌های شیراز و روشن در هفته دوم، تنش شوری منجر به کاهش وزن خشک ریشه در تمامی رقم‌ها در هفته دوم و سوم شد (جدول ۲). در تیمار شاهد رقم چمران با تولید بیشترین میزان وزن خشک ریشه در هر دو هفته (به ترتیب ۲۰ و ۲۹ میلی‌گرم بر بوته) از توانایی زیادی در تولید ریشه برخوردار بود (جدول ۲). تحت تنش شوری در هر دو هفته، رقم روشن با کمترین شدت کاهش نسبت به شاهد، از بیشترین وزن خشک ریشه (۱۴ و ۱۸ میلی‌گرم بر بوته) در بین رقم‌ها برخوردار بود. در شوری رقم قدس با بیشترین شدت افت در هر دو هفته (به ترتیب ۵۴٪ و ۵۰٪) کمترین میزان وزن خشک ریشه را دارا بود (جدول ۲). با توجه به میزان کاهش و مقدار وزن خشک ریشه، حساسیت رقم قدس و متحمل بودن رقم روشن تحت تنش شوری، در این مرحله از رشد مورد تأیید است.

در هر دو هفته، نسبت وزن خشک شاخساره به وزن خشک ریشه در تیمار شاهد در مقایسه با تیمار شوری در رقم روشن، کاهش و در مقابل در رقم قدس افزایش یافت. رقم پیشتاز در هفته دوم افزایش و در هفته سوم کاهش نشان داد. به نظر می‌رسد این رقم تحت تنش شوری، ابتدا رشد شاخساره را افزایش داده و با افزایش زمان اعمال تنش، رشد شاخساره را کاهش و در مقابل میزان رشد ریشه را افزایش داده است. تأثیر تنش شوری بر کاهش نسبت وزن خشک اندام هوایی به وزن خشک ریشه، در سایر گزارش‌ها نیز مورد

ابتدا بذرها بر روی کاغذ صافی و در پتری‌دیش کشت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ ساعت نگهداری شدند. سپس از بین گیاهچه‌های یکسان (در مرحله Zadox 07)، برای هر گلدان یک عدد انتخاب و در آن کاشته شد. گیاهان شاهد به مدت هفت روز با آب شهری و سپس با غلظت نهایی محلول هوگلند ($EC=2 \text{ dS.m}^{-1}$) آبیاری شدند. در گیاهان تحت تنش، تیمار شوری طی هفت روز به $EC=16 \text{ dS.m}^{-1}$ رسید. برای اعمال تیمار شوری از ابتدای کاشت، به‌طور مساوی ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، یک‌مرته در هرروز مورد استفاده قرار گرفت و سپس به‌منظور حفظ سطح شوری، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره حاصل از گل اشباع با استفاده از دستگاه EC متر مدل Inolab اندازه‌گیری شد. تیمار شوری به مدت دو هفته تداوم یافت. قابلیت هدایت الکتریکی بستر کاشت با استفاده از محلول هوگلند ($EC=2 \text{ dS.m}^{-1}$) و یا محلول هوگلند حاوی کلرید سدیم ($EC=16 \text{ dS.m}^{-1}$) به میزان مطلوب حفظ شد.

جهت برداشت گیاهان، ریشه‌ها به آرامی و با کمک آب از داخل محیط ماسه خارج و پس از شست‌وشوی کامل در ظرف شیشه‌ای حاوی آب غوطه‌ور و با کمک پنس از هم باز شدند. تصویربرداری از ریشه‌ها به وسیله دوربین عکاسی (Canon Powershot SX610) ثابت‌شده، از فاصله ۲۰ سانتی‌متری از کف ظرف انجام شد. وزن خشک نمونه‌ها پس از جدا کردن ریشه و ساقه و قرار گرفتن در آون ۷۵ درجه به مدت سه روز، با ترازو اندازه‌گیری شد. ۰/۵ گرم از نمونه‌های خشک‌شده ابتدا پودر شده و پس از سوختن کامل در کوره با دمای ۵۵۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، استخراج یون‌ها با استفاده از اسیدکلریدریک ۲ نرمال و آب (۴:۱) از خاکستر خشک انجام و محلول‌های حاوی یون‌ها تهیه شد. مقدار سدیم و پتاسیم ریشه و شاخساره با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر بر پایه محلول‌های استاندارد تهیه‌شده اندازه‌گیری شد (Kingsbury et al., 1984). صفات مجموع طول ریشه و حجم ریشه پس از پردازش تصاویر توسط نرم‌افزار Gia root (Galkovskiy et al., 2012) ثبت شد. تعداد ریشه‌های محوری و جانبی از روی تصاویر شمارش شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام و برای مقایسه میانگین صفات از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

تولید ماده خشک

تأیید قرار گرفته است (Munns and Termaat, 1986). همچنین به نظر می‌رسد کاهش بیوماس گیاه در شوری، ناشی از اثرات منفی یون سدیم باشد. چنانچه گزارش شده است که تجمع بالای یون سدیم در برگ‌های گیاه گندم تحت تنش شوری می‌تواند فعالیت‌های متابولیکی گیاه را مختل کرده و بیوماس گیاه را به شدت کاهش دهد (Akram et al., 2007).

وجود همبستگی منفی بین میزان تجمع سدیم و تحمل شوری از لحاظ تولید ماده خشک در گیاه گندم (Chhipa and Lal, 1995; Schachtman and Munns, 1992) نیز یافت شده است. شواهد نشان می‌دهند که اثرات اسمزی تنش شوری نمی‌تواند سبب تفاوت در پاسخ‌های رشدی اولیه شود (Wei et al., 2003).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک شش رقم گندم نان در پاسخ به شوری

Table 1. Analysis of variance for the physiological traits investigated in 6 wheat cultivars in response to salinity stress

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک		نسبت ساقه / ریشه	ریشه	
			Dry weight Root	Shoot		Length	Volume
			ریشه	ساقه	Shoot/root ratio	طول کل	حجم کل
Cultivar (C)	رقم	5	34**	393**	1.08**	447758**	6359**
Salinity (S)	شوری	1	1125*	7398**	0.12**	3294726**	225839**
C × S	رقم × شوری	5	23**	58**	1.49**	7686637**	4748**
Error	خطا	24	0.489	2/218	0.01	271	43
Time (T)	زمان	1	775**	9325**	0.0001**	2042860**	83016**
T × S	شوری × زمان	1	109**	2409**	2.35**	9568308**	47068**
T × C	رقم × زمان	1	52**	4**	0.56**	424463**	2502**
T × S × C	رقم × شوری × زمان	5	29**	10**	0.54**	366502**	3132**
Error	خطا	24	0.106	0/209	1	214	43

Table 1. Continued

جدول ۱. ادامه

S.O.V	منابع تغییر	درجه آزادی	Root number		تعداد ریشه	
			Largest length	Axial	FOL	SOL
			بلندترین	محوری	جانبی اولیه	جانبی ثانویه
Cultivar (C)	رقم	5	16**	0.756	4791**	7269**
Salinity (S)	شوری	1	2434**	12.5*	42680**	35244**
C×S	رقم × شوری	5	99**	0.8	1532**	5961**
Error	خطا	24	0.319	1.861	5.7	1.677
Time (T)	زمان	1	222**	50**	80334**	10880**
T×S	شوری × زمان	1	47**	3.55**	3294**	33411**
T×C	رقم × زمان	1	9**	4.1**	1452**	7380**
T×S×C	رقم × شوری × زمان	5	3**	0.056 ^{ns}	2133**	5464**
Error	خطا	24	0.254	0.028	1.403	0.927

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

* and ** are significant in the level of probability of 1% and 5% respectively, and ns are not significant.

FOL: first-order lateral root; SOL: second-order lateral root

سوم شد (جدول ۲). رقم قدس تحت تنش شوری در هفته

دوم و سوم، بیشترین میزان کاهش را در مجموع طول ریشه نسبت به تیمار شاهد نشان داد و همچنین در مقایسه با دیگر

طول و حجم کل ریشه

تنش شوری موجب کاهش طول بلندترین ریشه و مجموع طول ریشه و حجم کل ریشه در تمامی رقم‌ها در هفته دوم و

رقم‌ها دارای کمترین مجموع طول ریشه در تیمار شوری بود. طول ریشه به‌عنوان شاخصی از توانایی گیاهان برای جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک و نفوذپذیری بهتر ریشه‌ها در خاک محسوب می‌شود (Watt and McCully, 2008). گزارشی مبنی بر کاهش شدید طول ریشه رقم قدس در اثر شوری، نتیجه این مطالعه را تأیید می‌کند (Fakhri et al., 2016). تنش شوری رشد طولی ریشه‌های محوری و انشعاب‌زنی ریشه را در بسیاری از گونه‌ها تحت تأثیر قرار داده و این کاهش ممکن است به دلیل کاهش دسترسی ریشه به مواد فتوسنتزی اندام هوایی و تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از تنش شوری در اطراف ریشه باشد (Saqib and Qureshi, 2004). کاهش رشد ریشه در تیمار شوری در گیاه گندم نیز گزارش شده است (Rahnama et al., 2011; Robin et al., 2016).

بیشترین میزان حجم کل ریشه در تیمار شاهد در هفته دوم و سوم به ترتیب مربوط به رقم روشن (۲۰۰ میلی‌متر مکعب بر بوته) و رقم پیشتاز (۳۱۵ میلی‌متر مکعب بر بوته) بود (جدول ۲). علی‌رغم افت شدید حجم ریشه تحت تنش شوری، رقم روشن بیشترین میزان حجم کل ریشه را در مقایسه با سایر رقم‌ها در هفته دوم و سوم تولید کرد (به ترتیب ۷۸ و ۹۳ میلی‌متر مکعب بر بوته) (جدول ۲). کمترین میزان حجم کل ریشه در تیمار شوری هفته دوم و سوم به

جدول ۲. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیولوژیک شش رقم گندم رشد یافته در تیمار شاهد و شوری

Table 2. Mean values for physiological traits of 6 wheat cultivars grown under normal and saline conditions

زمان نمونه‌برداری	Cultivar	رقم	سطوح شوری		نسبت		طول بلندترین ریشه Largest root length ⁴
			دS/m	Dryweight ¹ ریشه Root	وزن خشک شاخساره Shoot	ساقه/ریشه Shoot/root ratio	
هفته دوم - Second week	Atrak	اترک	2	13.57	37.8 ^k	2.785 ^{d-f}	22 ^d
	Atrak	اترک	16	8.29 ^o	24.6 ^f	2.969 ^d	4 ^f
	Pishtaz	پیشتاز	2	18.68 ^g	35.3 ^m	1.893 ^l	12 ^j
	Pishtaz	پیشتاز	16	9 ^o	30.9 ^o	3.435 ^c	11 ^{kl}
	Chamran	چمران	2	20.4 ^f	38.8 ⁱ	1.903 ^l	19 ^f
	Chamran	چمران	16	11.59 ⁿ	29.3 ^p	2.531 ^{g-j}	6.9 ^p
	Roshan	روشن	2	14.35 ^k	47.6 ^g	3.322 ^c	20 ^e
	Roshan	روشن	16	14.29 ^k	36.5 ^l	2.555 ^{g-i}	10 ^m
	Shiraz	شیراز	2	12.89 ^m	28.2 ^q	2.194 ^k	18 ^g
	Shiraz	شیراز	16	12.5 ^m	23.5 ^s	1.886 ^l	9 ⁿ
هفته سوم - Third week	Qods	قدس	2	13.99 ^{kl}	32.9 ⁿ	2.353 ^{i-k}	16.9 ^h
	Qods	قدس	16	6.29 ^p	23.6 ^s	3.753 ^b	7 ^p
	Atrak	اترک	2	27.3 ^c	70.9 ^c	2.597 ^{f-h}	30 ^a
	Atrak	اترک	16	16.73 ⁱ	37.0 ^{kl}	2.212 ^k	5.831 ^q
	Pishtaz	پیشتاز	2	23.92 ^d	67.9 ^d	2.839 ^{de}	20 ^e
	Pishtaz	پیشتاز	16	16.59 ⁱ	41.1 ⁱ	2.485 ^{h-j}	15 ⁱ
	Chamran	چمران	2	29.33 ^a	73.7 ^b	2.514 ^{g-j}	20.65 ^e
	Chamran	چمران	16	15.32 ^j	37.3 ^{kl}	2.434 ^{h-j}	8.327 ^{no}
	Roshan	روشن	2	21.3 ^e	86.3 ^a	4.054 ^a	23 ^c
	Roshan	روشن	16	18.7 ^g	46.5 ^h	2.486 ^{h-j}	11.83 ^{jk}
Shiraz	شیراز	2	27.1 ^c	62.3 ^f	2.304 ^{ik}	24.58 ^b	
Shiraz	شیراز	16	13.7 ^{kl}	37.2 ^{kl}	2.714 ^{e-g}	10.51 ^m	
Qods	قدس	2	28.13 ^b	65.6 ^e	2.331 ^{-k}	20.67 ^e	
Qods	قدس	16	13.8 ^{kl}	36.5	2.648 ^{e-g}	7.83 ^{op}	

Table 3. Continued

جدول ۲. ادامه

زمان نمونه‌برداری	Cultivar	رقم	سطوح شوری dS/m	تعداد ریشه			مجموع طول ریشه Root length ²	حجم کل ریشه Root volume ³	
				محوری Axial	جانبی اولیه FOL	جانبی ثانویه SOL			
هفته دوم Second week	Atrak	اترک	2	5 ^f	89 ^m	0 ^m	1102 ^k	132.00 ^e	
	Atrak	اترک	16	5 ^g	94 ^l	0 ^m	635 ^r	55.9 ^k	
	Pishtaz	پیش‌تاز	2	5 ^g	71 ^p	0 ^m	1028 ^l	92.4 ^{gh}	
	Pishtaz	پیش‌تاز	16	5 ^g	42 ^s	1 ^m	737 ^p	65 ^{ik}	
	Chamran	چمران	2	5 ^g	136 ^g	0 ^m	1219 ⁱ	110.2 ^f	
	Chamran	چمران	16	5 ^g	73 ^o	0 ^m	808 ^o	78.48 ⁱ	
	Roshan	روشن	2	6 ^e	100 ^k	5 ^k	1663 ^h	200.6 ^c	
	Roshan	روشن	16	6 ^e	64 ^q	6 ^k	710 ^q	78.94 ⁱ	
	Shiraz	شیراز	2	6 ^e	65 ^q	3 ^l	963 ^{mm}	85.76 ^{hi}	
	Shiraz	شیراز	16	5 ^g	43 ^s	0 ^m	567 ^s	60.83 ^k	
	Qods	قدس	2	5 ^g	124 ^h	6 ^k	1688 ^g	123.60 ^e	
	Qods	قدس	16	4 ^h	59 ^r	0 ^m	462 ^t	40.33 ^l	
	هفته سوم Third week	Atrak	اترک	2	7 ^c	200 ^b	158 ^b	4247 ^a	283.00 ^b
		Atrak	اترک	16	6 ^d	109 ^j	84 ^d	1033 ^l	75.00 ^{ij}
		Pishtaz	پیش‌تاز	2	8 ^b	156 ^d	94 ^e	2837 ^d	315.00 ^a
		Pishtaz	پیش‌تاز	16	7 ^c	87 ⁿ	46 ^g	982 ^m	77.00 ⁱ
Chamran		چمران	2	7 ^c	150 ^f	82 ^e	2293 ^f	167.00	
Chamran		چمران	16	6 ^e	150 ^f	8 ⁱ	1037 ^l	98.00 ^g	
Roshan		روشن	2	7 ^c	227 ^a	72 ^f	3216 ^e	284.00 ^b	
Roshan		روشن	16	6 ^e	152 ^e	5 ^k	939 ⁿ	93.00 ^{gh}	
Shiraz		شیراز	2	7 ^c	137 ^g	46 ^g	2378 ^e	202.00 ^c	
Shiraz		شیراز	16	5 ^g	111 ⁱ	42 ^h	1137 ^j	59.00 ^k	
Qods		قدس	2	9 ^a	198 ^c	287 ^a	3458 ^b	206.00 ^c	
Qods		قدس	16	7 ^c	86 ⁿ	30 ⁱ	810 ^o	74.00 ^{ij}	

ns, * and **: Non significant and significant at P<0.05 and P<0.01, respective

در تمام رقم‌ها مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین تعداد ریشه محوری در تیمار شاهد در هفته دوم در رقم شیراز و روشن (۶ عدد) و در هفته سوم در رقم قدس (۹ عدد) مشاهده شد (جدول ۲). کمترین تعداد ریشه محوری در تیمار شوری در هفته دوم و سوم به ترتیب در رقم قدس (۴ عدد) و در رقم شیراز (۵ عدد) بود (جدول ۲).

بیشترین تعداد ریشه جانبی اولیه در تیمار شاهد در هفته دوم و سوم به ترتیب در رقم چمران و در رقم روشن (۱۳۶ و ۲۲۷ عدد) و در تیمار شوری در هفته دوم مربوط به رقم اترک و در هفته سوم مربوط به رقم روشن (۱۵۲ عدد) بود (جدول ۲).

ترتیب مربوط به رقم قدس (۴۰/۳ میلی‌متر مکعب بر بوته) و شیراز (۵۹ میلی‌متر مکعب بر بوته) بود (جدول ۲). گزارش شده است که رقم‌های متحمل به خشکی و شوری، نسبت به رقم‌های حساس، از ریشه‌های حجیم‌تر، طولی‌تر و نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی برخوردار می‌باشند (Nour and Weibel, 1978)

تعداد ریشه‌های محوری، جانبی اولیه و ثانویه

فرایند ریشه‌زایی تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفت (جدول ۱). در هفته سوم کاهش تعداد ریشه محوری تحت اثر شوری

در هفته دوم تغییر غلظت یون سدیم در ریشه و شاخساره شیراز و پیش‌تاز مشاهده نشد. در نتیجه این رقم‌ها یون سدیم را جذب نکرده و تنها تحت تأثیر اثر اسمزی تنش شوری قرار داشتند، نه اثرات ویژه یونی. در رقم روشن و قدس تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت یون سدیم در ریشه در تیمارهای شاهد و شوری در هفته دوم و سوم وجود نداشت (جدول ۴). این امر نشان‌دهنده آن است که انباشت یون سدیم در ریشه تحت تأثیر شوری قرار نگرفته است. در حالی که تیمار شوری در هفته دوم و سوم منجر به افزایش غلظت یون سدیم در شاخساره این دو رقم شد. شوری در رقم چمران در هفته دوم و سوم، موجب افزایش غلظت یون سدیم در ریشه و شاخساره شد. این میزان در هفته سوم بیشتر بود (جدول ۴).

رقم پیش‌تاز و شیراز به دلیل عدم جذب سدیم در هفته دوم، تنها تحت تأثیر اثر اسمزی تنش شوری قرار داشتند (جدول ۴) در حالی که رقم پیش‌تاز در هفته سوم همچون رقم روشن و قدس افزایش غلظت یون سدیم را در شاخساره نشان داد. همچنین رقم شیراز مشابه رقم چمران افزایش غلظت یون سدیم را در ریشه و شاخساره نشان داد (جدول ۴) این رقم با تأخیر نسبت به رقم چمران در جذب سدیم و انتقال آن به شاخساره عمل می‌کند. تفاوت در غلظت یون سدیم شاخساره در بین رقم‌ها احتمالاً به تفاوت در میزان انتقال یون سدیم از ریشه به شاخساره و یا تفاوت در میزان بارگیری سدیم در آوند چوب ریشه بستگی دارد. چنانچه گزارش شده است که تفاوت ژنتیکی در میزان بارگیری یون سدیم در ریشه‌ها موجب ایجاد تفاوت ژنتیکی در انتقال یون سدیم به اندام هوایی می‌شود (Davenport et al., 2005). در همه رقم‌ها غلظت سدیم در ریشه‌ها در مقایسه با شاخساره دارای مقادیر زیادتری بود (جدول ۴). پایین نگه‌داشتن غلظت یون سدیم در اندام هوایی یکی از راهکارهای تحمل گیاه در برابر شوری است و افزایش غلظت یون سدیم ریشه و اندام هوایی در مراحل اولیه رشد و کمتر بودن غلظت آن در اندام هوایی در مقایسه با ریشه در منابع متعددی گزارش شده است (Rahnema et al., 2011; Shelden et al., 2013).

اثر تنش شوری بر غلظت یون پتاسیم

در گندم اهمیت هومئوستازی پتاسیم در تحمل به شوری، شناخته شده است (Dvořák and Gorham, 1992) و گزارش شده است که تحمل به شوری با محتوای پتاسیم

شدیدترین کاهش ریشه جانبی اولیه تحت اثر شوری، در هفته دوم و سوم مربوط به رقم قدس (به ترتیب ۵۲٪ و ۵۶٪) بود (جدول ۲). همچنین رقم روشن و قدس به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد ریشه جانبی اولیه را تحت تنش شوری در هفته سوم داشتند.

در هفته دوم رقم‌های اترک، پیش‌تاز و چمران فاقد ریشه جانبی ثانویه و رقم‌های روشن، شیراز و قدس به تعداد اندک تولید کردند. هفته سوم، بیشترین تعداد ریشه جانبی ثانویه در تیمار شاهد و شوری به ترتیب در رقم قدس (۲۸۷ عدد) و اترک (۸۴ عدد) و کمترین تعداد ریشه جانبی ثانویه در تیمار شاهد و شوری به ترتیب در رقم شیراز (۴۶ عدد) و روشن (۵ عدد) مشاهده شد (جدول ۲). در هفته دوم و سوم رقم قدس از نظر تولید ریشه (اصلی، اولیه و ثانویه) تعداد ریشه زیادی در تیمار شاهد تولید کرد. این در حالی است که در اثر شوری به شدت تعداد ریشه جانبی اولیه و ثانویه در این رقم کاهش یافت و در این صفت حساس‌ترین رقم بود. رقم شیراز در تیمار شوری در هفته سوم در مقایسه با سایر رقم‌ها کاراتر عمل نموده و کمترین میزان کاهش را در تعداد ریشه جانبی اولیه و ثانویه نشان داد. به نظر می‌رسد شوری بر روی ظرفیت ریشه‌زایی اثر منفی داشته باشد. چنانچه گزارش شده است که تنش شوری در آراییدوپسیس به شدت ناحیه مریستمی را کاهش می‌دهد و موجب کاهش شدید تعداد ریشه‌های جانبی می‌شود (Nibau et al., 2008). ونگ و همکاران (Wang et al., 2009) علت این امر را تجمع هورمون اکسین در رأس ریشه‌ها دانستند و گزارش کردند که تجمع هورمون اکسین در رأس ریشه‌های آراییدوپسیس تحت تنش شوری موجب بازداری رشد ریشه اولیه و کاهش شدید در تشکیل پرایموردیای ریشه‌های جانبی می‌شود. در مقالات متعددی کاهش تعداد ریشه جانبی تحت تنش شوری در گندم (Robin et al., 2016) و سایر گیاهان (Bursens et al., 2009; Wang et al., 2009) گزارش شده است. همچنین گزارش شده است که شوری با جلوگیری از نمو ریشه جانبی موجب کاهش تعداد آن می‌شود (Malamy, 2005).

اثر تنش شوری بر غلظت یون سدیم

نتایج تجزیه واریانس غلظت و نسبت‌های یونی ریشه و شاخساره، تفاوت معنی‌داری را بین سطوح شوری و نیز در بین رقم‌های گندم نشان داد (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ترکیب یونی شش رقم گندم نان در پاسخ به شوری

Table 3. Analysis of variance for the ion traits investigated in 6 wheat cultivars in response to salinity stress

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی dF	Mean of Squares		میانگین مربعات			
			[Na ⁺]		[K ⁺]		[K ⁺]/[Na ⁺]	
			ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)	ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)	ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)
Cultivar (C)	رقم	5	0.179**	0.113**	0.269**	0.037**	0.005**	0.028**
Salinity (S)	شوری	1	2.64**	1.923**	0.001	0.038**	0.056**	0.526**
C × S	رقم × شوری	5	0.497**	0.083**	0.325**	0.007**	0.003**	0.014**
Error	خطا	24	0.017	0.001	0.04	0.001	0.001	0.001
Time (T)	زمان	1	0.122 ^{ns}	0.457**	0.087 ^{ns}	0.02**	0.04 ^{ns}	0.101**
T × S	شوری × زمان	1	0.079 ^{ns}	0.775**	0.736**	0.072**	0.051**	0.247**
T × C	رقم × زمان	1	0.111*	0.051**	0.196**	0.005**	0.004**	0.011**
T × S × C	رقم × شوری × زمان	5	0.276**	0.037**	0.186**	0.006**	0.005**	0.008**
Error	خطا	24	0.043	0.002	0.045	0.001	0.001	0.001

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

* and ** are significant in the level of probability of 1% and 5% respectively, and ns are not significant

نیز مشاهده شده است (García-Lidón et al., 1998). در هفته سوم در تیمار شوری، غلظت یون پتاسیم شاخساره در رقم‌های قدس، پیشتاز، شیراز و چمران کاهش و در رقم اترک و روشن تغییر نیافت (جدول ۴) کاهش غلظت یون پتاسیم در تیمار تنش شوری در بافت‌های هوایی گیاه در بسیاری از مطالعات نیز گزارش شده است (Wei et al., 2003). در رقم روشن با وجود افزایش غلظت یون سدیم شاخساره در هفته دوم و سوم میزان غلظت یون پتاسیم ریشه و شاخساره در تیمار شوری، بدون تغییر ماند (جدول ۴). این رقم در تیمار شوری قادر به حفظ یون پتاسیم در ریشه و شاخساره در هر دو هفته بود. گزارش شده است که در گندم انتقال مقادیر کمی از یون سدیم به اندام هوایی و حفظ نسبت بالای یون پتاسیم به یون سدیم از راهکارهای تحمل به شوری است (ei et al., 2003).

اثر تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم

نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه

هفته دوم تحت تنش شوری؛ در رقم چمران به دلیل افزایش یکسان نسبت یون سدیم و یون پتاسیم ریشه، تغییری در نسبت K/Na مشاهده نشد. همچنین در رقم‌های قدس، شیراز و پیشتاز به دلیل عدم تغییر غلظت یون سدیم و یون پتاسیم ریشه تغییری در این نسبت ایجاد نشد و در نهایت رقم

همبستگی مثبت و با سدیم همبستگی منفی دارد و این رابطه را به عنوان یک ابزار قوی در شناسایی رقم‌های متحمل پیشنهاد کرده‌اند (Omielan et al., 1991). نتیجه این مطالعه نشان داد که در هر دو هفته رقم‌های اترک، روشن و شیراز تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت یون پتاسیم ریشه در تیمارهای شاهد و شوری نداشتند. در هفته سوم غلظت یون پتاسیم ریشه در رقم‌های قدس و پیشتاز تحت تأثیر شوری کاهش یافت (جدول ۴) کاهش غلظت یون پتاسیم ریشه تحت تنش شوری در بسیاری از مطالعات نیز گزارش شده است (Wei et al., 2003). محققان دلیل این امر را در رقابت جذب یون سدیم با جذب یون پتاسیم دانسته‌اند که سبب کاهش یون پتاسیم در ریشه می‌شود (Mittal and Dubey, 1991). برخلاف سایر رقم‌ها در رقم چمران با وجود افزایش سدیم ریشه، غلظت یون پتاسیم ریشه نیز در هر دو هفته تحت شوری افزایش یافت (جدول ۴). افزایش محتوای پتاسیم در برخی از رقم‌ها تحت تنش شوری می‌تواند به دلیل جذب کارآمد و انتخابی پتاسیم توسط سلول‌های لایه کورتکس باشد (Schachtman and Munns, 1992).

در هفته دوم تنها در رقم اترک افزایش غلظت یون پتاسیم شاخساره مشاهده شد و در سایر رقم‌ها تغییر معنی‌داری ثبت نشد. افزایش غلظت پتاسیم در برگ برخی گیاهان تحت تنش

به دلیل کاهش اندک در غلظت یون پتاسیم و افزایش اندک غلظت یون سدیم که معنی‌دار نبود، نسبت K/Na به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). در رقم پیشتاز و قدس به دلیل کاهش غلظت یون پتاسیم، نسبت K/Na کاهش یافت. رقم شیراز و رقم چمران به دلیل افزایش زیاد غلظت یون سدیم، نسبت K/Na کاهش یافت (جدول ۴).

اترک به دلیل افزایش غلظت یون سدیم ریشه نسبت K/Na کاهش یافت (جدول ۴). در رقم روشن باوجود عدم تغییر غلظت یون سدیم و پتاسیم در ریشه در هر دو هفته تحت تأثیر شوری، به میزان خیلی محدود نسبت K/Na کاهش یافت (جدول ۴). هفته سوم تحت تنش شوری؛ تمامی رقم‌ها کاهش نسبت K/Na را نشان دادند (جدول ۴). در رقم اترک

جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های یونی شش رقم گندم رشد یافته در تیمار شاهد و شوری

Table 4- Mean values for ion traits of 6 wheat cultivars grown under normal and saline conditions

زمان نمونه‌برداری	Cultivar	رقم	سطوح شوری dS/m	نسبت غلظت پتاسیم به سدیم ([K ⁺]/[Na ⁺])					
				غلظت سدیم ([Na ⁺])		غلظت پتاسیم ([K ⁺])		سدیم	
				ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)	ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)	ریشه (Root)	شاخساره (Shoot)
هفته دوم - Second week	Atrak	اترک	2	4.55 ^{gh}	2.29 ^{h-j}	3.47 ^{b-g}	2.92 ^{b-e}	0.762 ^{ab}	1.27 ^{d-f}
	Atrak	اترک	16	5.14 ^{bc}	2.29 ^{hi}	3.40 ^{b-g}	3.03 ^a	0.662 ^g	1.32 ^{a-d}
	Pishtaz	پیشتاز	2	4.99 ^{b-e}	2.33 ^{gh}	3.44 ^{b-g}	2.79 ⁱ	0.689 ^{de}	1.19 ^{hi}
	Pishtaz	پیشتاز	16	5.26 ^b	2.27 ^{h-j}	3.65 ^{b-d}	2.80 ^{hi}	0.694 ^{de}	1.23 ^{f-h}
	Chamran	چمران	2	4.75 ^{c-h}	2.33 ^{gh}	3.24 ^{d-h}	2.83 ^{g-i}	0.683 ^{ef}	1.21 ^{g-i}
	Chamran	چمران	16	5.29 ^b	2.43 ^{ef}	3.68 ^{bc}	2.85 ^{f-i}	0.695 ^{de}	1.17 ^{ij}
	Roshan	روشن	2	4.80 ^{c-g}	2.22 ^{i-k}	3.27 ^{c-h}	2.89 ^{c-f}	0.682 ^{ef}	1.30 ^{b-e}
	Roshan	روشن	16	5.05 ^{b-d}	2.43 ^{ef}	3.24 ^{d-h}	2.86 ^{c-h}	0.642 ^h	1.17 ^{ij}
	Shiraz	شیراز	2	4.96 ^{b-g}	2.26 ^{h-j}	3.28 ^{b-h}	2.87 ^{d-g}	0.663 ^g	1.26 ^{d-g}
	Shiraz	شیراز	16	4.98 ^{b-f}	2.32 ^{gh}	3.42 ^{b-f}	2.89 ^{c-f}	0.686 ^g	1.24 ^{e-h}
	Qods	قدس	2	4.81 ^{c-g}	2.22 ^{i-k}	3.39 ^{b-g}	2.96 ^b	0.704 ^d	1.33 ^{a-c}
	Qods	قدس	16	5.04 ^{b-d}	2.61 ^d	3.70 ^b	2.93 ^{bc}	0.734 ^c	1.12 ^{jk}
هفته سوم - Third week	Atrak	اترک	2	4.57 ^{f-h}	2.21 ^{jk}	3.47 ^{b-g}	2.93 ^{b-d}	0.759 ^b	1.32 ^{a-d}
	Atrak	اترک	16	4.93 ^{b-g}	2.69 ^c	3.05 ^{gh}	2.88 ^{c-g}	0.618 ⁱ	1.06 ^{kl}
	Pishtaz	پیشتاز	2	4.68 ^{d-h}	2.17 ^k	3.65 ^{b-d}	2.93 ^{bc}	0.78 ^a	1.35 ^{ab}
	Pishtaz	پیشتاز	16	4.92 ^{b-g}	2.48 ^e	3.21 ^{e-h}	2.73 ^j	0.652 ^{gh}	1.10 ^k
	Chamran	چمران	2	4.39 ^h	2.38 ^{fg}	3.431 ^{b-g}	2.80 ^{hi}	0.781 ^a	1.17 ^{ij}
	Chamran	چمران	16	6.17 ^a	3.02 ^b	4.31 ^a	2.74 ^j	0.690 ^{de}	0.90 ^m
	Roshan	روشن	2	4.96 ^{b-g}	2.16 ^k	3.3 ^{b-h}	2.91 ^{b-f}	0.665 ^{fg}	1.34 ^{a-c}
	Roshan	روشن	16	4.80 ^{c-g}	3./10 ^a	3.07 ^{f-h}	2.85 ^{f-i}	0.641 ^h	0.91 ^m
	Shiraz	شیراز	2	4.58 ^{e-h}	2.15 ^k	3.56 ^{b-e}	2.94 ^{bc}	0.776 ^{ab}	1.37 ^a
	Shiraz	شیراز	16	5.00 ^{b-d}	2.51 ^e	3.18 ^{e-h}	2.73 ^j	0.635 ^h	1.08 ^{kl}
	Qods	قدس	2	4.79 ^{c-h}	2.29 ^{h-j}	3.49 ^{b-f}	2.94 ^{bc}	0.729 ^c	1.28 ^{c-f}
	Qods	قدس	16	4.84 ^{c-g}	2.76 ^c	2.89 ^h	2.87 ^{d-g}	0.598 ⁱ	1.041

میانگین‌های مربوط به سطوح هر تیمار در هر ستون که با حروف متفاوت مشخص شده‌اند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ از تفاوت معنی‌دار برخوردارند.

واحدها: غلظت یون سدیم و یون پتاسیم: میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بوته

The averages of the levels of each treatment in each column, indicated by different letters, differ significantly in the level of 5%, according to Duncan's Multiple Range Test

Units: [Na⁺] and [K⁺]: mg/g dry weight plant.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در مراحل ابتدایی رشد در غلظت زیاد شوری (۱۵۰ میلی‌مولار) رقم شیراز علی‌رغم حساسیت به شوری، از توانایی زیادی در حفظ ریشه‌زایی برخوردار است و رقم روشن از نظر وزن خشک، حجم و مجموع طول ریشه متحمل به شوری است. همچنین رقم قدس از نظر ویژگی‌های مرتبط با ریشه حساس است. رقم‌های شیراز و پیشتاز در ابتدای تنش، قادرند با عدم جذب سدیم از اثرات منفی آن اجتناب کنند هرچند که با تداوم تنش و جذب سدیم تحت تأثیر اثرات ویژه یونی قرار می‌گیرند. رقم‌های چمران و روشن در تیمار شاهد به ترتیب توانایی زیادی در تولید ریشه و شاخساره دارند.

نسبت پتاسیم به سدیم در شاخساره

در هفته دوم تحت تنش شوری، تنها در رقم‌های قدس و روشن و در هفته سوم در تمام رقم‌ها به دلیل افزایش غلظت یون سدیم شاخساره، نسبت K/Na کاهش یافت. افزایش غلظت یون سدیم و کاهش نسبت پتاسیم به سدیم در تنش شوری در منابع متعددی گزارش شده است (Schachtman and Munns, 1992; Weimberg, 1987). از آنجایی که جذب یون‌های سدیم و پتاسیم از طریق کانال‌ها یا ناقل‌های مشابه صورت می‌گیرد، لذا نسبت پتاسیم به سدیم نیز به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد (Munns and James, 2003).

منابع

- Akram, M., Malik, M. A., Ashraf, M. Y., Saleem, M. F., Hussain, M., 2007. Competitive seedling growth and K/Na ratio in different maize (*Zea mays* L.) hybrids under salinity stress. *Pakistan Journal of Botany*. 39(7), 2553-2563.
- Bates, T.R., Lynch, J.P., 2000. The efficiency of *Arabidopsis thaliana* (Brassicaceae) root hairs in phosphorus acquisition. *American Journal of Botany*. 87(7), 964-970.
- Burssens, S., Himanen, K., Van de Cotte, B., Beeckman, T., Van Montagu, M., Inzé, D., Verbruggen, N., 2000. Expression of cell cycle regulatory genes and morphological alterations in response to salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*. 211(5), 632-640.
- Chhipa, B., Lal, P., 1995. Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 46(3), 533-539.
- Davenport, R., James, R.A., Zakrisson-Plogander, A., Tester, M., Munns, R., 2005. Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiology*. 137(3), 807-818.
- Dvořák, J., Gorham, J., 1992. Methodology of gene transfer by homoeologous recombination into *Triticum turgidum*: transfer of K⁺/Na⁺ discrimination from *Triticum aestivum*. *Genome*. 35(4), 639-646.
- Erdei, L., Taleisnik, E., 1993. Changes in water relation parameters under osmotic and salt stresses in maize and sorghum. *Physiologia Plantarum*. 89(2), 381-387.
- Fakhri, S., Rahnama, A., Meskarbashi, M., 2016. Effect of salinity stress on growth and distributions of tissue-specific ion in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 18(4). 302-318 [In Persian with English summary].
- Francois, L.E., Grieve, C.M., Maas, E.V., Lesch, S.M., 1994. Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. *Agronomy Journal*. 86(1), 100-107.
- Fricke, W., Bijanzadeh, E., Emam, Y., Knipfer, T., 2014. Root hydraulics in salt-stressed wheat. *Functional Plant Biology*. 41(4), 366-378.
- Galkovskiy, T., Mileyko, Y., Bucksch, A., Moore, B., Symonova, O., Price, C.A., Fang, S., 2012. GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. *BMC Plant Biology*. 12(1), 116.
- García-Lidón, A., Ortiz, J.M., García-Legaz, M.F., Cerda, A., 1998. Role of rootstock and scion on root and leaf ion accumulation in lemon trees grown under saline conditions. *Fruits*. 2(53), 89-97.
- Greenway, H., Munns, R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 31(1), 149-190.
- Jin, K., Shen, J., Ashton, R. W., White, R. P., Dodd, I. C., Phillips, A. L., 2015. The effect of impedance to root growth on plant architecture in wheat. *Plant and Soil*. 392(1-2), 323-332.
- Kingsbury, R.E., Epstein, R., Percy, W., 1984. Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. *Plant physiology*. 74, 417-425

- Koevoets, I.T., Venema, J.H., Elzenga, J.T., Testerink, C., 2016. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 7, 1335.
- Malamy, J., 2005. Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture. *Plant, Cell and Environment*. 28(1), 67-77.
- Malamy, J.E., Benfey, P.N., 1997. Down and out in Arabidopsis: the formation of lateral roots. *Trends in plant science*. 2(10), 390-396.
- Mittal, R., Dubey, R.S., 1991. Behaviour of peroxidases in rice: changes in enzyme activity and isoforms in relation to salt tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*. 29, 31-40 (France).
- Munns, R., James, R.A., 2003. Screening methods for salinity tolerance: A case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*. 253(1), 201-218.
- Munns, R., Termaat, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. *Functional Plant Biology*. 13(1), 143-160.
- Munns, R.M. Tester., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681.
- Nibau, C., Gibbs, D., Coates, J., 2008. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. *New Phytologist*. 179(3), 595-614.
- Nour, A.-E.M., Weibel, D., 1978. Evaluation of root characteristics in grain sorghum. *Agronomy Journal*. 70(2), 217-218.
- Omielan, J., Epstein, E., Dvořák, J., 1991. Salt tolerance and ionic relations of wheat as affected by individual chromosomes of salt-tolerant *Lophopyrum elongatum*. *Genome*. 34(6), 961-974.
- Poustini, K., Siosemardeh, A., 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*. 85(2), 125-133.
- Rahnama, A., Munns, R., Poustini, K., 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., 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.
- Robin, A.H.K., Matthew, C., Uddin, M.J., Bayazid, K.N., 2016. Salinity-induced reduction in root surface area and changes in major root and shoot traits at the phytomer level in wheat. *Journal of Experimental Botany*. 67(12), 3719-3729.
- Saqib, M., Akhtar, J., Qureshi, R.H., 2004. Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil: II. Root growth and leaf ionic relations. *Soil and Tillage Research*. 77(2), 179-187.
- Schachtman, D., Munns, R., 1992. Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. *Functional Plant Biology*. 19(3), 331-340.
- Shelden, M.C., Roessner, 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(5), 516-530.
- Tavakoli, M., Poustini, K., Alizadeh, H., 2016. Proline Accumulation and Related Genes in Wheat Leaves under Salinity Stress. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 18(3), 707-716. [In Persian with English summary].
- Wang, Y., Li, K., Li, X., 2009. Auxin redistribution modulates plastic development of root system architecture under salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Physiology*. 166(15), 1637-1645.
- Watt, M., Magee, L.J., McCully, M.E., 2008. Types, structure and potential for axial water flow in the deepest roots of field-grown cereals. *New Phytologist*. 178(1), 135-146.
- Weaver, J.E., 1919. *The Ecological Relations of Roots*. Carnegie Institute of Washington, Publication 286, Washington.
- Wei, W., Bilsborrow, P.E., Hooley, P., Fincham, D.A., Lombi, E., Forster, B.P., 2003. Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant and Soil*. 250(2), 183-191.
- Weimberg, R., 1987. Solute adjustments in leaves of two species of wheat at two different stages of growth in response to salinity. *Physiologia Plantarum*. 70(3), 381-388.



Original article

Effect of salinity on root characteristics and ionic distribution of six bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.)

H. Zare¹, K. Poustini^{2*}, A.R. Abbasi²

1. PhD student, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Faculty member, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Received 1 December 2018; Accepted 2 January 2019

Abstract

In order to investigate the effect of salinity on some root characteristics and ion distribution, a research was carried out in a split factorial on three replications with two salinity levels (2 dS.m^{-1}) and 16 dS.m^{-1} (salinity) on six wheat cultivars (Atrak, Pishtaz, Chamran, Roshan, Qods, and Shiraz) and in two levels of harvest (two weeks and three weeks after planting) in greenhouse. The traits of root dry weight, shoot dry weight, shoot dry weight/root dry weight ratio, root length, total volume, sodium ion concentration, potassium ion concentration, potassium/sodium ratio in root and shoot, number of axial root, number of first and second- order lateral roots were measured. The results showed that salinity in the second and third week reduced the dry weight of root, shoot, length, root volume, axial, and first-order lateral root number in all cultivars. In the control treatment Chamran and Roshan had the highest ability to produce root and shoot dry weight respectively. Under salinity the highest root dry weight (14 and 18 mg/plant) and total root volume (78 and 93 mm^3/plant) were related to Roshan in both weeks. Qods had the lowest root dry weight with the highest drop (54% and 50%, respectively) in second and third week. The lowest total root volume in salinity of second and third week respectively was related to Qods and Shiraz (40 and 59 mm^3/plant). Qods with high root producing potential in control showed a significant decrease in the production of lateral roots and total root length in salinity. Also, Roshan cultivar, despite having the highest sodium concentration of shoots in salinity treatment, it was able to produce the highest amount of shoots due to maintaining potassium ions in roots and shoots. Based on the traits evaluated and the response of the studied cultivars to salinity, tolerance of the Roshan cultivar and susceptibility of Qods cultivar to salinity are compatible with previous study at this stage of growth

Keywords: Potassium ion, Root length, Root volume, Sodium ion

*Correspondent author: Kazem Poustini; E-Mail: kpostini@ut.ac.ir