

ارتباط بین صفات رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم نان در شرایط تنش شوری

شکوه فخری^{۱*}، افراسیاب راهنما^۲ و موسی مسکر باشی^۳

۱، ۲ و ۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات،

دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۴/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۷/۷)

چکیده

توسعه سیستم ریشه‌ای اصلی و فرعی نقشی اساسی در میزان دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی در شرایط تنش‌های غیرزیستی به ویژه شوری دارد. به منظور درک ارتباط بین پاسخ‌های رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک اندام هوایی دو رقم گندم نان با تحمل شوری متفاوت (کویر و شیراز)، آزمایشی گلخانه‌ای با استفاده از لوله‌های پی‌وی سی در دو سطح شوری (۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) انجام شد. شوری سبب کاهش رشد طولی ریشه، طول کل ریشه، هدایت روزنه‌ای، محتوای آب نسبی، شاخص سبزینه‌گی (کلروفیل) و وزن خشک اندام هوایی و ریشه در مقایسه با شاهد شد. اگرچه مقادیر اندازه‌گیری شده برای بیشتر صفات در رقم متحمل بیشتر از رقم حساس بود، ولی رشد طولی ریشه، طول کل ریشه و محتوای آب نسبی تحت تأثیر تیمار شوری کاهش بیشتری نسبت به رقم حساس نشان داد. بین ویژگی‌های رشدی ریشه و پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه در شرایط شوری همبستگی معنی‌داری مشاهده شد. با توجه به اثرهای به نسبت همسان شوری بر ویژگی‌های رشدی ریشه و اندام هوایی به نظر می‌رسد از پاسخ‌های رشدی ریشه می‌توان به عنوان معیاری برای غربالگری تحمل به شوری استفاده کرد. زیرا شوری خاک سبب کاهش توانایی گیاه برای جذب آب و در نتیجه کاهش سریع میزان رشد همراه با مجموعه‌ای از تغییرات فیزیولوژیکی بوده و در نهایت منجر به بروز اثرهای ناشی از تنش اسمزی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تحمل شوری، تنش اسمزی، ریشه.

مقدمه

گیاهان زراعی و عملکرد دانه است (Munns, 2002). در چنین شرایطی برای دستیابی به عملکرد مطلوب، پس از شناخت ویژگی‌های آب‌وخاک (Manschadi *et al.*, 2006)، آگاهی از رفتار گیاه و سازوکارهای تحمل به شوری ضروری است (Munns *et al.*, 2006).

یک عامل مهم در میزان تحمل به شوری گیاهان چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آن‌هاست (Shelden *et al.*, 2013). مطالب زیادی در ارتباط با واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه در رویارویی با تنش‌های مختلف

شوری آب‌وخاک از مهم‌ترین چالش‌های بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که به‌طور معنی‌داری بر پایداری کشاورزی تأثیر می‌گذارند (Shelden & Roessner, 2013; Munns, 2002). با افزایش شوری آب آبیاری بر شوری خاک نیز افزوده می‌شود (Aroca *et al.*, 2012). کاهش پتانسیل اسمزی ناشی از افزایش شوری خاک به دلیل جلوگیری از جذب آب و عناصر به درون گیاه، عامل اصلی کاهش رشد

ریشه (Shelden *et al.*, 2013; Rahnama *et al.*, 2010; Tavakkoli *et al.*, 2010) در رقم‌های حساس به شوری گیاهان زراعی به مراتب بیشتر از رقم‌های متحمل است و این کاهش‌ها می‌تواند مرتبط با اثرهای اسمزی شوری و یا تأثیر سمیت یونی سدیم باشد (Rahnama *et al.*, 2010; Shelden *et al.*, 2013;) (Marcinińska *et al.*, 2013).

رشد اندام هوایی در مقایسه با ریشه به شوری حساس‌تر است (Munns *et al.*, 2006). تنش اسمزی می‌تواند باعث پسابیدگی و کاهش آماس یاخته ریشه شده و با کاهش طویل شدن ریشه و بازداری پدیده فتوسنتز سبب کاهش رشد اندام هوایی شود (Shelden & Roessner, 2013; Munns & Tester, 2008). پسابیدگی بافت‌ها به دلیل نبود تعادل بین جذب آب توسط ریشه و تعرق برگ رخ می‌دهد (Aroca *et al.*, 2011). بنابراین، درصد رطوبت نسبی بافت‌ها، یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های نشان‌دهنده وضعیت آبی گیاه است و از طریق ارتباط مستقیم با حجم یاخته می‌تواند تعادل بین آب گیاه و سرعت تعرق را بهتر نشان دهد. با بروز پسابیدگی برگ‌ها، گیاهان به‌طور معمول آغاز به بستن روزنه‌ها می‌کنند (Aroca *et al.*, 2011). زیرا تنش اسمزی به سرعت انبساط یاخته را در نوک ریشه و برگ‌های جوان کاهش می‌دهد و سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Munns *et al.*, 2006). عمده‌ترین دلیل فیزیولوژیکی برای حفاظت مؤثرتر از آب بافت‌ها از طریق کاهش بیشتر هدایت روزنه‌ای است و به‌نظر می‌رسد عامل‌های روزنه‌ای فتوسنتز نظیر هدایت روزنه‌ای در مقایسه با عامل‌های غیرروزنه‌ای نظیر شاخص سبزینه‌گی، نسبت به اثرهای اسمزی حاصل از نمک اطراف ریشه حساس‌تر باشند (James *et al.*, 2008). همچنین طبق نتایج Hummer *et al.* (2009)، تغییر معماری سیستم ریشه و استخراج آب از خاک، بر میزان تجمع زیست‌توده در گیاهان زراعی مؤثر است. زیرا همبستگی بین ظرفیت جذب آب ریشه (برآورد هدایت هیدرولیکی ریشه) و وزن خشک اندام هوایی برنج در شرایط محدودیت آب مشخص شده است (Matsuo *et al.*, 2009). بنابراین هدف از اجرای این پژوهش

گزارش شده است، اما اطلاعات در زمینه واکنش ریشه در حضور تنش‌های مختلف محیطی و چگونگی تأثیر آن‌ها بر فرآیندهای رشد و نمو ناچیز است. گزارش شده که ریشه گیاه در رویارویی با تنش‌های مختلف محیطی از جمله خشکی و شوری، نقش مهمی در ثبات عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کند (Manschadi *et al.*, 2006; Shelden *et al.*, 2013). زیرا یکی از اثرگذاری‌های تنش شوری بر گیاه جلوگیری از جذب آب است (Grewal, 2010; Aroca *et al.*, 2012) و در برخی شرایط محیطی برای غلبه بر آسیب تنش، تنظیم جذب آب به وسیله ریشه بسیار مهم‌تر از تنظیم تعرق برگ است و بهبود ظرفیت جذب آب ریشه در مقایسه با بسته شدن روزنه‌ها، نقش مهمی در اجتناب از کاهش رشد ناشی از تنش ایفا می‌کند (Aroca *et al.*, 2012). بنابراین با توجه به اهمیت ریشه به‌عنوان مهم‌ترین اندام گیاهی برای جذب آب (Aroca *et al.*, 2011) و بررسی‌های محدود در زمینه پاسخ ریشه به تنش اسمزی (Shelden & Roessner, 2013)، بررسی ارتباط پاسخ‌های رشدی ریشه و اندام هوایی در شرایط تنش مهم است، زیرا پاسخ‌های فیزیولوژیک و رشدی گیاهان به تنش شوری و آبی اغلب یکسان بوده و در چرخه زمان در دو مرحله اسمزی و سمیت یونی به شوری پاسخ می‌دهند. به عبارتی رشد گیاهان تحت تأثیر تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از تنش شوری قرار می‌گیرد (Munns & Tester, 2008).

به هر جهت، اثر تنش اسمزی روی رشد در مقایسه با تنش یونی بیشتر است (Munns, 2002). به‌طوری‌که کمبود آب ناشی از خشکی و تنش اسمزی قادر خواهد بود ساختار ظاهری (مورفولوژی)، محتوای آب، تبادلات گازی و شاخص سبزینه‌گی را تحت تأثیر قرار دهد (Marcinińska *et al.*, 2013). اگرچه مشخص شده میزان کاهش صفاتی مانند طول ریشه (Rahnama *et al.*, 2011; Shelden *et al.*, 2013) هدایت روزنه‌ای (James *et al.*, 2008; Rahnama *et al.*, 2010) محتوای آب نسبی برگ (Rivelli *et al.*, 2002)، شاخص سبزینه‌گی (James *et al.*, 2008) و وزن خشک اندام هوایی و

لوله، دستیابی به سطح شوری یکنواخت را در عمق‌های مختلف لوله نشان داد.

اندازه‌گیری صفات

برای نمونه‌گیری، پنج عدد گیاهچه برای هر رقم و هر سطح شوری استفاده شد. سه هفته پس از اعمال شوری، اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر (Delta-T Devices Ltd, Burwell, UK) AP4 Delta-T بین ساعت ۱۰ صبح الی ۲ بعدازظهر، شاخص سبزینه‌گی (عدد اسپد) با استفاده از دستگاه سبزینه‌سنج (کلروفیل‌متر) دستی (SPAD-502) و محتوای آب نسبی برگ (Munns, 2010b) از آخرین برگ توسعه‌یافته (برگ چهارم) صورت گرفت. جداسازی ریشه‌ها از خاک به آرامی و با اشباع کردن خاک و ریشه در آب و سپس شستشوی ریشه با آب انجام شد. پس از جداسازی ریشه‌ها از خاک، طول محور اصلی ریشه‌ها با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. طول ریشه‌های اصلی و فرعی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح ریشه (DELTA-T SCAN, UK) انجام شد. وزن ماده خشک اندام هوایی و ریشه نیز با قرار دادن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس و توزین با ترازوی دقیق (چهار رقم اعشار) اندازه‌گیری شد. برای مقایسه میانگین‌ها و همبستگی بین صفات از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار، صفات طول ریشه‌های اصلی، طول کل ریشه‌های اصلی و فرعی، هدایت روزنه‌ای، محتوای آب نسبی برگ، شاخص سبزینه‌گی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شوری قرار گرفتند. بین رقم‌ها نیز از نظر صفات بررسی‌شده به‌جز برای شاخص سبزینه‌گی و محتوای آب نسبی برگ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین برهم‌کنش رقم و شوری تفاوت معنی‌داری را برای صفات هدایت روزنه‌ای و محتوای آب نسبی برگ، طول ریشه‌های اصلی و طول کل ریشه‌های اصلی و فرعی نشان داد (جدول ۱).

ارزیابی چگونگی عمل سیستم ریشه‌ای و ارتباط بین صفات رشدی ریشه و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک اندام هوایی دو رقم گندم متحمل و حساس به شوری است.

مواد و روش‌ها

روش کاشت

این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو رقم گندم کویر (متحمل به شوری) و شیراز (حساس به شوری) (Poustini & Siosemardeh, 2004; Rahnama *et al.*, 2010) و دو سطح شوری (۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بود. به‌منظور تهیه محلول شوری از نمک کلرید سدیم آزمایشگاهی (ساخت شرکت مرک آلمان) استفاده شد. بستر کاشت حاوی ۶۰ درصد ماسه، ۳۵ درصد خاک با بافت لومی رسی و ۵ درصد کود دامی بود. سه عدد بذر هم‌اندازه و هم‌وزن پس از ضدعفونی با الکل اتانول ۷۰ درصد در لوله‌های پی‌وی‌سی (حاوی بستر کاشت) با اندازه‌های یکسان (قطر ۱۱ سانتی‌متر و طول ۵۰ سانتی‌متر) دارای روزنه‌های همسان روی دیواره طولی لوله‌ها، کشت شدند. سه روز پس از ظهور غلاف برگ اولیه (کلئوتیل)، شمار بوته‌ها با تنک کردن کاهش و در نهایت یک بوته در هر لوله نگهداری شد. لوله‌های حاوی گیاهچه در گلخانه با نور طبیعی و محدوده دمای روزانه بین 2 ± 25 و 2 ± 15 درجه سلسیوس (به ترتیب روز و شب) نگهداری شدند.

نحوه اعمال شوری

با ظهور برگ دوم، تنش شوری ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم اعمال شد. برای ایجاد غلظت یکنواخت شوری در خاک، لوله‌های پی‌وی‌سی روزانه به مدت ۱۵ دقیقه درون ظرف‌های محتوای محلول موردنظر به‌صورت شناور قرار داده شدند تا محلول به‌طور کامل از راه روزنه‌ها به درون لوله‌های پی‌وی‌سی نفوذ کند. این کار تا زمان نمونه‌برداری ادامه یافت. نمونه‌برداری و اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در قسمت‌های مختلف

جدول ۱. تجزیه واریانس صفات رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم نان در دو سطح شوری

Table 1. Analysis of variance for root characteristic and physiological traits of two bread wheat cultivars under two salinity levels

S.O.V	Mean squares						
	Seminal axil root length	Total Seminal and branch root length	Stomatal conductance	Relative water content	Chlorophyll index	Shoot dry weight	root dry weight
Cultivar	154.5 ^{ns}	449958 ^{ns}	0.005 ^{ns}	57.18*	53.79***	0.0008 ^{ns}	0.00004 ^{ns}
Salt	71186***	21482209***	2.66***	997.43***	15.13**	1.608***	0.046***
Cultivar × Salt	5250**	468939*	0.009*	68.00*	0.032 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
CV (%)	11.82	20.5	8.45	4.57	1.98	18.13	23.34

*, **, و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۰۱ درصد؛ ns: معنی‌دار نیست.

*** and ** Significant at 5%, 1% and 0.01% probability levels; ns: not significant, respectively.

جدول ۲. مقایسه میانگین صفات رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم نان در دو سطح شوری

Table 2. Means for root characteristic and physiological traits of two bread wheat cultivars under two salinity levels

Characteristic	Means						
	Seminal axil root length (cm)	Total Seminal and branch root length (cm)	Stomatal conductance (mol m ⁻² s ⁻¹)	Relative water content (%)	Chlorophyll index	Shoot dry weight (g)	Root dry weight (g)
Cultivars							
Kavir	195.80 a	1676.2 a	0.48 a	73.65 a	42.53 a	0.491 a	a 0.086
Shiraz	190.24 a	1376.3 a	0.45 a	70.27 b	39.25 b	0.478 a	a 0.083
Salt							
Control	252.68 a	2562.6 a	0.83 a	79.02 a	41.76 a	0.768 a	a 0.132
150 mM NaCl	133.36 b	489.9 b	0.01 b	64.89 b	40.02 b	0.0201 b	b 0.036

* میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون و هر عامل آزمایشی با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* Means followed by the same letters for each factor and each column are not significantly different by the LSD test at 5% probability level.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات رشدی ریشه و شاخص‌های فیزیولوژیک دو رقم گندم نان پس از سه هفته رویارویی با شوری

Table 3. Means for root characteristic and physiological traits of two bread wheat cultivars 3 weeks after exposure to salt stress

Wheat cultivars	Salinity levels (mM)	Seminal axil root length (cm)		Total Seminal and branch root length (cm)		Stomatal conductance (mM. m ⁻² s ⁻¹)		Relative growth rate (%)		Chlorophyll index		Shoot dry weight (g)		Root dry weight (g)	
		Mean	% C	Mean	% C	Mean	% C	Mean	% C	Mean	% C	Mean	% C	Mean	% C
Kavir	Control	271.7 a	100	2260 b	100	800 a	100	82.56 a	100	43.3 a	100	0.756 a	100	0.137 a	100
	150 mM NaCl	119.9 c	44.1	498 c	22.03	112 c	14.1	64.75 c	78.4	41.7 b	96.2	0.201 b	26.6	0.035 b	25.7
Shiraz	Control	233.7 b	100	2866 a	100	876 b	100	75.49 b	100	40.1 c	100	0.781 a	100	0.138 a	100
	150 mM NaCl	143.1 c	62.8	487 c	16.9	103 c	11.8	65.05 c	86.2	38.3 d	95.5	0.202 b	25.9	0.037 b	21.9

* برای هر صفت میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* Means followed by the same letters for each column and each factor are not significantly different by the LSD test at 5% probability level.

جدول ۴. ضریب‌های همبستگی صفات مورد بررسی دو رقم گندم نان در شرایط شوری

Table 4. Correlation for characteristic traits of two bread wheat cultivars under salt stress

Row	Characteristic	1	2	3	4	5	6	7
1	Stomatal conductance	1						
2	Chlorophyll index	0.39 ^{ns}	1					
3	Relative water content	0.85 ^{**}	0.57 ^{ns}	1				
4	Shoot dry weight	0.98 ^{***}	0.40 ^{ns}	0.84 ^{**}	1			
5	root dry weight	0.90 ^{**}	0.54 ^{ns}	0.88 ^{***}	0.90 ^{**}	1		
6	Seminal axil root length	0.85 ^{**}	0.60 ^{ns}	0.87 ^{**}	0.83 ^{**}	0.87 ^{**}	1	
7	Total Seminal and branch root length	0.98 ^{***}	0.33 ^{ns}	0.83 ^{**}	0.97 ^{***}	0.88 ^{**}	0.84 ^{**}	1

*, **, و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۰/۰۱ درصد و غیر معنی‌دار است.

***, ** and ns: Significant at 1%, 0.01% probability levels and not significant, respectively.

طول ریشه‌های اصلی و فرعی

مجموع طول ریشه‌های اصلی هر دو رقم در تیمار شوری در مقایسه با شاهد کاهش یافت (جدول ۲). اگرچه نتایج مقایسه میانگین دو رقم نشان داد که رقم کویر در شرایط شاهد مجموع طول ریشه‌های اصلی بیشتری در مقایسه با رقم شیراز دارد، ولی برخلاف انتظار در تیمار شوری میزان کاهش طول ریشه‌های اصلی در رقم کویر اندکی بیشتر از رقم شیراز بود. مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی نیز در پاسخ به تیمار شوری در رقم کویر و شیراز به ترتیب ۷۸ و ۸۳ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت، ولی مقایسه میانگین دو رقم در شرایط شاهد و شوری نشان می‌دهد که رقم شیراز مجموع طول ریشه‌های اصلی و فرعی بیشتری در مقایسه با رقم کویر دارد (جدول ۳ و شکل ۱). در این پژوهش تنش شوری سبب کاهش رشد محور اصلی و کل ریشه‌های اصلی و فرعی شد، ولی با توجه به کاهش شدید ریشه‌های اصلی و فرعی به نظر می‌رسد که رشد ریشه‌های فرعی نیز کاهش یافته باشد. مشخص شده که دلیل اصلی کاهش رشد طولی کل ریشه‌های اصلی و فرعی در تیمار شوری کاهش شمار پنجه‌ها (Munns et al., 2006) و در نتیجه کاهش بیشتر ریشه‌های اصلی و فرعی است که این امر در هر دو رقم مورد بررسی به روشنی قابل مشاهده بود. اگرچه نتایج تحقیقات در گندم دوروم نشان داده که تنش شوری در طی دوازده روز پس از تنش شوری سبب بازداری رشد محور اصلی ریشه، ولی القای انشعاب‌زنی و رشد ریشه‌های فرعی در ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به شوری شده است (Rahnama et al., 2011). همخوان با نتایج دیگر تحقیقات، شوری در مدت‌زمان کوتاه پس از تنش، طول ریشه هر دو رقم را به علت اثرهای اسمزی ناشی از شوری در مراحل اولیه رشد کاهش داد (Shelden et al., 2013; Marcińska et al., 2013; al., 2013)، زیرا شوری اثرهای مختلفی روی کاهش طول ریشه و آغازش ریشه جانبی دارد که ناشی از اثرهای اسمزی تنش شوری است (Rahnama et al., 2011) و به نظر می‌رسد پیام‌های هورمونی این کنترل را بر عهده دارند. از آنجایی که تنش اسمزی به سرعت انبساط

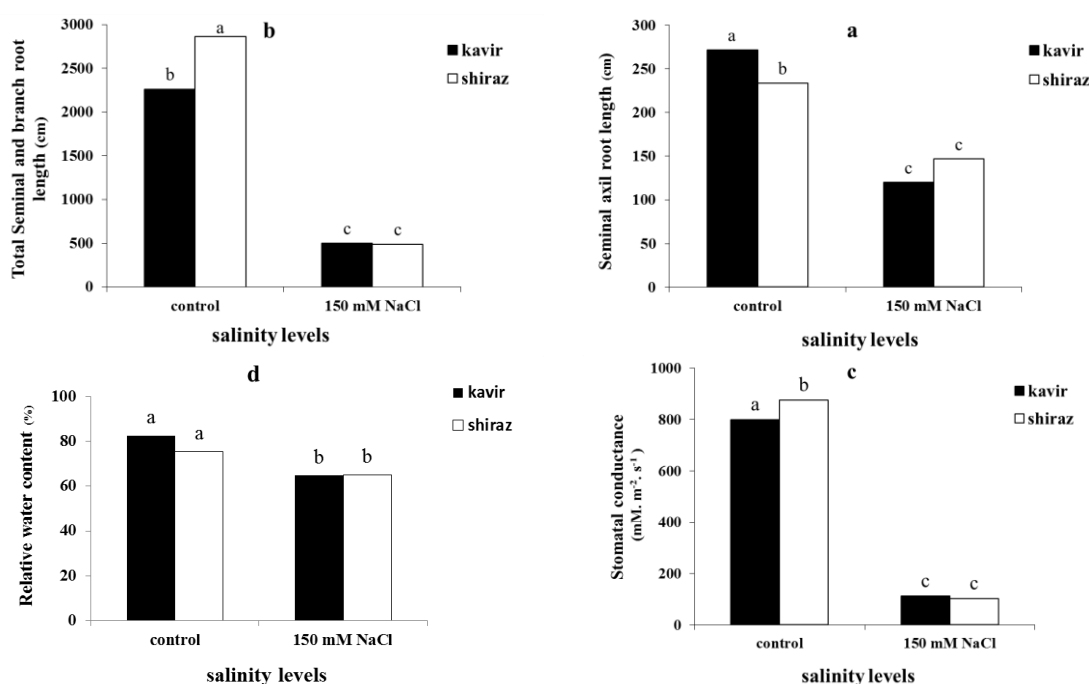
یاخته‌های نوک ریشه و برگ‌های جوان را کاهش می‌دهد و سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود (Munns et al., 2006)، بنابراین می‌تواند دلیلی برای همبستگی بین کاهش طول ریشه با کاهش میزان هدایت روزنه‌ای باشد (جدول ۴). مشخص شده پتانسیل اسمزی پایین خاک، عمق توسعه سیستم ریشه، کل حجم ریشه، میزان طولی شدن ریشه و شمار ریشه‌های جانبی را در شمار زیادی از گیاهان از جمله علف تال (آرابیدوپسیس) تغییر می‌دهد (Deak & Malamy, 2005) و گیاهان دارای ریشه اصلی طولی‌تر و شمار ریشه‌های جانبی بیشتر، تحمل شوری بالاتری دارند. به هر جهت، گفته می‌شود که گیاهان زراعی از لحاظ ویژگی‌های رشدی ریشه در شرایط شوری تا حدودی متفاوت هستند. برای مثال، در بررسی‌های انجام شده در محیط‌های همگن روی ژنوتیپ‌های جو (Shelden et al., 2013) و گندم دوروم (Rahnama et al., 2011)، تفاوت شایان توجهی بین ژنوتیپ‌های حساس و متحمل از نظر طول ریشه در مراحل اولیه تنش شوری مشاهده شده است. به هر جهت، رشد کل ریشه‌های اصلی و فرعی در مقایسه با رشد ریشه‌های اصلی در شرایط شوری بیشتر کاهش یافت و تفاوت بین رقم‌ها از نظر طول ریشه‌های اصلی و فرعی بیشتر مشهود بود.

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای هر دو رقم در پاسخ به تیمار شوری کاهش یافت، به گونه‌ای که مقادیر هدایت روزنه‌ای در رقم کویر و شیراز به ترتیب ۸۶ و ۸۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت و میزان کاهش آن در رقم شیراز بیشتر از رقم کویر بود (جدول ۳ و شکل ۱). نتایج همسانی نیز مبنی بر کاهش بیشتر هدایت روزنه‌ای و میزان رشد نسبی ژنوتیپ‌های حساس در مقایسه با ژنوتیپ‌های متحمل گندم پس از اعمال شوری وجود دارد (Rivelli et al., 2002; James et al., 2008; Rahnama et al., 2010). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان کاهش هدایت روزنه‌ای با محتوای آب نسبی برگ و طول ریشه وجود داشت (جدول ۴). کاهش هدایت روزنه‌ای می‌تواند ناشی از

کاهش هدایت روزنه‌ای نمی‌تواند ناشی از کاهش محتوای آب برگ باشد، زیرا در چنین شرایطی آماس یاخته‌ای کاهش نمی‌یابد. به هر جهت، اگرچه محتوای آب نسبی تحت تیمار شوری کاهش می‌یابد، ولی این مشخصه در چرخه‌ی زمان تغییرات چندانی ندارد، در صورتی‌که هدایت روزنه‌ای در چرخه‌ی زمان کاهش می‌یابد. بنابراین، گفته می‌شود که کنترل هورمونی هدایت روزنه‌ای با پیام‌های ارسالی از ریشه آغاز می‌شود.

پیام‌های هورمونی (اسید آبسزیک) یا شیمیایی ارسالی از ریشه‌ها یا کاهش محتوای آب اندام هوایی باشد. به نظر می‌رسد کاهش طول ریشه، نبود تعادل بین جذب آب و تعرق و نیز افزایش پساییده شدن برگ‌ها (Aroca *et al.*, 2012) بر کاهش محتوای آب نسبی بافت‌ها مؤثر باشند که در نهایت منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Marcinińska *et al.*, 2013). هرچند نتایج Rivelli *et al.* (2002) و James *et al.* (2002) نشان دادند که



شکل ۱. تأثیر تنش شوری بر (a) طول ریشه‌های اصلی، (b) طول کل ریشه‌های اصلی و فرعی، (c) هدایت روزنه‌ای و (d) محتوای آب نسبی برگ دو رقم گندم. میانگین‌های دارای حروف مشترک بر پایه‌ی آزمون LSD، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند. Figure 1. The effect of salt stress on (a) Seminal axil root length, (b) Total Seminal and branch root length (cm), (c) Stomatal conductance and (d) Relative water content of two wheat cultivars. Means followed by the same letters are not significantly different by the LSD test, at 5% probability level.

مقایسه با شاهد ظرفیت نگهداری آب بیشتری داشته و احتمال دارد در شرایط تنش قادر به تنظیم پتانسیل اسمزی بهتری باشد. محتوای آب نسبی برگ با پتانسیل آب گیاه و تنظیم اسمزی مرتبط است. البته تفاوت‌های ژنوتیپی رقم‌های و توانایی آن‌ها از نظر جذب بیشتر آب خاک و حفظ پتانسیل اسمزی در شرایط شوری و خشکی، بر میزان محتوای نسبی آب در مراحل مختلف رشد مؤثر است (Sairam &

محتوای آب نسبی برگ

بنابر نتایج تجزیه‌ی واریانس، محتوای آب نسبی برگ در شرایط شوری کاهش یافت و میزان کاهش در هر دو رقم کویر و شیراز به ترتیب ۲۱/۶ و ۱۳/۸ درصد بود (جدول ۳ و شکل ۱). نتایجی نیز مبنی بر کاهش محتوای آب نسبی برگ پس از اعمال کلرید سدیم وجود دارد (Rivelli *et al.*, 2002). در این تحقیق برخلاف انتظار، رقم شیراز نسبت به رقم کویر در

وزن خشک اندام هوایی

وزن خشک اندام هوایی هر دو رقم در شرایط شوری به شدت کاهش یافت (جدول‌های ۱ و ۲). مقایسه میانگین رقم‌ها بیانگر اختلاف ناچیز بین دو رقم بود و میزان کاهش ماده خشک برای هر دو رقم به هم نزدیک و در حدود ۷۵ درصد مشاهده شد (جدول ۳). به هر جهت، هماهنگی با نتایج ریشه، به نظر می‌رسد وزن خشک اندام هوایی تنها به علت اثرهای اسمزی شوری کاهش یافته باشد (Rahnama *et al.*, 2010; James *et al.*, 2008). تفاوت معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی دو رقم در دو سطح شوری نشان می‌دهد که تأثیر تنش بر وزن اندام هوایی به مراتب بیشتر از دیگر صفات مربوط به اندام هوایی بوده است. نتایج تحقیق Tavakkoli *et al.* (2010) نیز بیانگر کاهش قابل توجه وزن خشک اندام هوایی دو ژنوتیپ جو تحت تأثیر تنش شوری در هر دو محیط آبکشت (هیدروپونیک) و خاک بود که می‌تواند ناشی از کاهش میزان رشد یا نورساخت باشد. وجود همبستگی معنی‌دار بین ماده خشک اندام هوایی و هدایت روزنه‌ای شاید به علت تأثیر مستقیم هدایت روزنه‌ای بر میزان نورساخت باشد. زیرا تنش شوری از طریق تأثیر منفی بر هدایت روزنه‌ای سبب کاهش سرعت نورساخت خالص شده و منجر به کاهش تولید ماده خشک می‌شود و برابر نتایج James *et al.* (2002) کاهش هدایت روزنه‌ای علت اصلی کاهش سرعت جذب دی‌اکسیدکربن است. زیرا تفاوت ژنتیکی در تولید ماده خشک به احتمال زیاد برآوردی از تفاوت در سرعت جذب خالص کربن باشد و این نیز ناشی از تفاوت نورساخت در واحد سطح برگ یا سطح نورساخت‌کننده خواهد بود.

وزن خشک ریشه

بنابر نتایج جدول تجزیه واریانس، وزن خشک ریشه هر دو رقم در شرایط شوری کاهش یافت (جدول ۱) و میزان کاهش در رقم کویر بیشتر از رقم شیراز بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد دلیل اصلی کاهش بیشتر وزن خشک ریشه در رقم کویر کاهش بیشتر طول ریشه‌های اصلی و فرعی در این رقم در مقایسه با رقم

(Srivastava, 2001) و محتوای آب نسبی در رقم‌های متحمل به مراتب بیشتر از رقم‌های حساس به تنش آب است (Rivelli *et al.*, 2002; Sairam *et al.*, 2004; Marcińska *et al.*, 2013). اگرچه در شرایط شوری، کاهش کمتر طول ریشه‌های اصلی و فرعی و در نتیجه جذب بهتر آب را شاید بتوان دلیل کاهش کمتر محتوای آب نسبی در رقم شیراز دانست. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین محتوای نسبی آب و طول ریشه‌های اصلی و فرعی ($r=0.83^{**}$) نیز نشان‌دهنده اهمیت طول ریشه در جذب آب و حفظ بهتر پتانسیل آب برگ است (جدول ۴). زیرا محتوای آب و املاح، میزان آماس یاخته را مشخص می‌کند و مهم اینکه محتوای هر دو با درجه شوری به‌طور دقیق همخوانی نشان می‌دهد.

شاخص سبزینه‌گی (عدد اسپد)

شاخص سبزینه‌گی هر دو رقم در شرایط شوری کاهش یافت، ولی میزان کاهش آن (۴ تا ۵ درصد کاهش) در مقایسه با عامل‌های روزنه‌ای چندان معنی‌دار نبود (جدول‌های ۱ و ۲) و مقایسه میانگین رقم‌ها نیز بیانگر اختلاف ناچیز بین دو رقم بود، هرچند تفاوت مشاهده شده معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به این نتایج مشخص می‌شود که نقش عامل‌های غیرروزنه‌ای در مقایسه با عامل‌های روزنه‌ای در مراحل اولیه تنش بر میزان رشد کمتر مشهود است. نتایج Marcinińska *et al.* (2013) نیز دلالت بر کاهش محتوای کل کلروفیل ژنوتیپ‌های گندم در شرایط کمبود آب دارد، اگرچه نتایج در دیگر گیاهان نشان‌دهنده تغییرات کم یا عدم تغییر این شاخص بوده است و کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند بر ظرفیت کمتر برای جذب نور دلالت داشته باشد. بین شاخص سبزینه و هدایت روزنه‌ای همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد و حتی کاهش هدایت روزنه‌ای ممکن است نشان‌دهنده غلظت بیشتر کلروفیل در برگ گیاهان تحت تأثیر شوری در مقایسه با گیاهان شاهد باشد و این امر به دلیل تغییرات ساختاری (آناتومیکی) برگ‌ها پس از اعمال شوری در اثر تغییر اندازه یاخته و تراکم روزنه‌ها است (James *et al.*, 2008).

متناسب با شاخص‌های فیزیولوژیک می‌تواند تحت تأثیر تنش شوری قرار گیرد و تفاوت‌های موجود در بین رقم‌ها به لحاظ صفات رشدی ریشه ممکن است تفاوت آن‌ها را در تحمل به تنش‌ها از جمله تنش شوری آشکار سازد و با توجه به اینکه گیاهان دارای ریشه اصلی طولی‌تر و شمار ریشه‌های جانبی بیشتر تحمل بالاتری به تنش شوری دارند، لذا می‌توان از این تفاوت‌ها جهت گزینش رقم‌ها و ژنوتیپ‌های متحمل به شوری استفاده کرد. با این اوصاف، با توجه به اینکه شوری خاک یک مشکل رایج در کشاورزی و بزرگ‌ترین علت کاهش عملکرد گیاهان زراعی در اراضی شور است، بنابراین توسعه گیاهان زراعی با صفات مطلوب ریشه و اندام هوایی در خاک‌های شور و دارای محدودیت آب امری ضروری است.

سپاسگزاری

از تلاش و همکاری کارشناسان محترم گروه زراعت و اصلاح نباتات و باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در راستای اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

شیراز باشد. در بررسی انجام‌شده روی ژنوتیپ‌های مختلف جو در محیط کشت آگار نیز وزن خشک ریشه جو در پاسخ به تیمار شوری با کاهش همراه بود (Shelden *et al.*, 2013). پیشتر نیز مشخص شده که با افزایش شوری، وزن خشک ریشه گندم کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند ناشی از کاهش طول ریشه باشد (Grewal, 2010). وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه ($r=0.90^{**}$) نیز گویای تأثیر مثبت و مستقیم پاسخ‌های رشدی ریشه بر رشد و تجمع ماده خشک اندام هوایی گیاه در شرایط تنش خواهد بود (جدول ۴). پیشتر نیز مشخص شده که ریشه گسترده و انبوه‌تر، سبب جذب آب و مواد غذایی بیشتر می‌شود و بدین ترتیب زیست‌توده هوایی گیاه و عملکرد دانه آن افزایش می‌یابد (Waines & Ehdai, 2005).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مؤید این نکته بود که یک عامل مهم در میزان تحمل به شوری گیاه گندم چگونگی توسعه سیستم ریشه‌ای آن است که

REFERENCES

1. Aroca, R., Porcel, R. & Ruiz-Lozano, J.M. (2012). Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 63, 43-57.
2. Deak, K.I. & Malamy, J. (2005). Osmotic regulation of root system architecture. *The Plant Journal*, 43, 17-28.
3. Galvan-Ampudia, C.S. & Testerink, C. (2011). Salt stress signals shape the plant root. *Plant Biology*, 14, 296-302.
4. Grewal, H.S. (2010). Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agricultural Water Management*, 97, 148-156.
5. Hammer, G.L., Dong, Z., McLean, G., Doherty, A., Messina, C., Schussler, J., Zinselmeier, C., Paszkiewicz, S. & Cooper, M. (2009). Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the US corn belt?. *Crop Science*, 49, 299-312.
6. James, R.A., Rivelli, A.R., Munns, R. & von Caemmerer, S. (2002). Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 1393-1403.
7. 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.
8. Manschadi, A.M., Christopher, J., deVoil, P. & Hammer, G.L. (2006). The rool of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology*, 33, 823-837.
9. Matsuo, N., Ozawa, K. & Mochizuki, T. (2009). Genotypic differences in root hydraulic conductance of rice (*Oryza sativa* L.) in response to water regimes. *Plant and Soil*, 316, 25-34.
10. Marcińska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Filek, M., Grzesiak, S., Grzesiak, M.T., Janowiak, F., Hura, T., Dziurka, M., Dziurka, K., Nowakowska, A. & Quarrie, S.A. (2013). Impact of osmotic stress on physiological and biochemical characteristics in drought-susceptible and drought-resistant wheat genotypes. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35, 451-461.

11. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell and environment*, 25, 239-250.
12. 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.
13. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-81.
14. Munns, R. (2010b). Plant water content. In: Prometheus Wiki, Version1, <http://www.publish.csiro.au/prometheuswiki>, accessed: 17.05.10.
15. Ogawa, A., Shirado, S. & Toyofuku, K. (2011). Comparison of effect of salt stress on the cell death in seminal root and lateral root of rye seedlings by the modified TUNEL method. *Plant Root*, 6, 5-9.
16. Poustini, K. & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, 85, 125-133.
17. Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R. & Tavakoli, A. (2010). Growth and stomatal responses of bread wheat genotypes in tolerance to salt stress. *International Journal of Biological and Life Sciences*, 6(4), 216-221.
18. 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, 69-77.
19. Rivelli, A.R., James, R.A., Munns, R. & Condon, A.G. (2002). Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. *Functional Plant Biology*, 29, 1065-1074.
20. Sairam, R.K. & Srivastava, G.C. (2001). Water Stress Tolerance of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Variations in Hydrogen Peroxide Accumulation and Antioxidant Activity in Tolerant and Susceptible Genotypes. *Agronomy and Crop Science*, 186, 63-70.
21. Sairam, R.K. & Tyagi, A. (2004). Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Current Science*, 86, 407-421.
22. 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.
23. Shelden, M.C. & Roessner, U. (2013). Advances in functional genomics for investigating salinity stress tolerance mechanisms in cereals. *Frontiers in Plant Science | Plant Biotechnology*, 4(123), 1-8.
24. Tavakkoli, E., Rengasamy, P. & McDonald, G.K. (2010). The response of barley to salinity stress differs between hydroponic and soil systems. *Functional Plant Biology*, 37, 621-633.
25. Waines, J.G. & Ehdai, B. (2005). Optimizing root characters and grain yield in wheat. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 41, 1-5.

Relation between root growth traits and physiological indices of two bread wheat cultivars under salt stress

Shokoo Fakhri^{1*}, Afrasyab Rahnama² and Mousa Meskarbashi³

1, 2, 3. M.Sc. Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(Received: Jul. 6, 2014 - Accepted: Sep. 29, 2015)

ABSTRACT

The development of seminal and lateral root system plays a major role in plant access to water and nutrients under abiotic stress, especially salinity. In order to understand the relation between root growth responses and shoot physiological indices of two bread wheat cultivars contrasting in salt tolerance (Kavir and Shiraz), a greenhouse experiment was conducted with two salinity levels (0 and 150 mM NaCl), growing in PVC tubes. Salinity decreases seminal root length, total root length, stomatal conductance, relative water content, chlorophyll index, shoot and root dry weight when compared to control. Although, the values for most traits in salt-tolerant cultivar were more, but seminal root length, total root length and relative water content were less than susceptible ones under salt stress. A significant correlation was observed between root growth characteristics and physiological responses under salt stress. Thus, given the similar effects of salinity on growth characteristics of roots and shoots, it seems that root growth responses can be used as a valuable index for screening salinity tolerance. Because, salinity is caused to reduce the plant's ability to absorb water, resulting in a rapid decline in growth rates associated with a series of physiological changes and finally leads to osmotic stress effects.

Keywords: Osmotic stress, root, salt tolerance.