Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 52, No 1, Spring 2021 (177-189)
DOI: 10.22059/ijfcs.2018.242878.654386

علوم گیاهان زراعی ایران
دورۀ ۵۲، شمارۀ ۱، بهار ۱۴۰۰ (ص۱۸۹-۱۷۷)

اثر تنش شوری بر توزیع یونی و برخی ویژگی¬های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام گندم

زهره دیانت مهارلویی[۱]، کاظم پوستینی[۲]، علیرضا عباسی[۳]
دانش آموخته دکتری، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۷ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱/۱۷)

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی واکنش ارقام گندم به تنش شوری از نظر صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و درک بهتر ساز و کارهای تحمل به تنش شوری و همچنین دستیابی به منابع ژنتیکی مطلوب انجام گرفت. آزمایش بر روی ۵ رقم گندم و دو سطح شوری (شاهد و ۱۶ دسی زیمنس بر متر) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. نتایج نشان داد، تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار تقریبا ۵۰ درصدی وزن اندام هوایی و ریشه گیاه، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم ارقام مختلف گندم گردید. میزان سدیم گیاه در نتیجه تنش شوری افزایش یافت به طوری‌که همبستگی منفی و معنی‌داری بین ماده خشک شاخساره و غلظت یون سدیم بخش هوایی (۰/۸۸۶-) وجود داشت.علاوه بر این، ارقام متحمل در مقایسه با ارقام حساس با بالا نگه داشتن نسبت پتاسیم به سدیم در شاخساره و ریشه، عملکرد مناسب‌تری را در شرایط تنش شوری از خود نشان دادند. چنانچه نسبت پتاسیم به سدیم، همبستگی مثبت و معنی داری (۰/۷۹۸) را با ماده خشک شاخساره ارقام نشان داد. ارقام متحمل شامل شعله و اروند سدیم کم‌تری را به بافت‌های بالایی خود انتقال دادند و ارقام حساس اترک و گلستان میزان سدیم بیشتری در بافت‌های خود داشتند. غلظت یون پتاسیم اندام‌های هوایی همبستگی مثبت و معنی‌داری (۰/۸۴۲) با ماده خشک شاخساره داشت. با توجه به همبستگی منفی و معنی دار بین غلظت سدیم و کلروفیل (۰/۹۲۷-)، می‌توان گفت متابولیسم گیاه تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرد. ارقام متحمل در مقایسه با ارقام حساس پرولین بالاتری را در بافت های خود داشتند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت ارقام متحمل با حفظ تنظیمات اسمزی ازجمله با بالا نگه داشتن نسبت یون پتاسیم به سدیم و پرولین و همچنین با حفظ رنگدانه‌های فتوسنتزی خود عملکرد بیشتری را در تنش شوری داشتند.

واژه‌های کلیدی: گندم، تنش اسمزی،توزیع یونی

Effect of salt stress on some physiological and biochemical characteristics of wheat cultivar

Zohreh Dianat Maharluei, Kazem Poustini, Alireza Abbasi
Agronomy and Plant Breeding Dept., University College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
(Received: September 29, 2019 - Accepted: April 5, 2020)

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the response of wheat cultivars to salt stress on some physiological and biochemical characteristics to further understand the mechanisms of resistance to salinity and also to access the tolerance of genetic resources. a factorial experiment was conducted on five wheat cultivars And, two salinity levels (control and 16 dS m^{-1}) based on randomized complete blocks design with three replications. The results showed that salt stress significantly reduced (50%) in shoot and root weight, the concentration of K+ and K^+/Na^+ ratio in different wheat cultivars. The sodium content of the plant increased in high salinity So that there was a negative and significant correlation between shoot dry matter and sodium ion concentration (-0/886) in the shoot. Besides, tolerant cultivars showed higher yield under salinity stress compared to sensitive cultivars with a high K+/Na+ ratio in shoot and root. If so, the K^+/Na^+ ratio showed a significant positive correlation (0.798) with the cultivar's shoot dry matter.In addition tolerant cultivars including Shole and Arvand salt-sensitive cultivars transferred less sodium to their higher tissues and sensitive cultivars Atrak and Golestan had higher sodium content in their tissues. Shoot' K+ ion concentration was positively correlated (0.842) with shoot dry matter. The observed negative correlation between sodium concentration and the chlorophyll content (-0.927) indicated that plant metabolism had been adversely affected by salinity stress. Tolerant cultivars had higher levels of proline in their tissues as compared to sensitive cultivars. Therefore, it can be concluded that tolerant cultivars had higher yield under salinity stress by maintaining osmotic adjustment, including maintaining potassium/sodium ratio and proline as well as by maintaining their photosynthetic pigments.
Keywords: Wheat, Osmotic stress, ion distribution.

* Corresponding author E-mail: kpostini @ut.ac.ir

مقدمه

آب و خاک شور از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند (Homaee *et al*., 2002). بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار از خاک های دنیا تحت تأثیر شوری هستند که حدود ۷ درصد از کل اراضی دنیا را در بر می‌گیرد. از مجموع ۲۳۰ میلیون هکتار از اراضی فاریاب حدود ۴۵ میلیون هکتار (۲۰٪) تحت تأثیر شوری هستند و سالانه حدود ۱/۵ میلیون هکتار از اراضی دنیا نیز به دلیل افزایش شوری کارایی لازم برای کشت و کار را از دست می‌دهند(Munns, 2011).. محدویت پتانسیل اسمزی ریشه و سمیت خاص ایجاد شده ناشی از حضور نمک در خاک، توانایی گیاه را جهت جذب عناصر غذایی از محیط ریشه کاهش می‌دهد (Munns and tester, 2008). رشد و عملکرد گیاه می‌تواند تحت تأثیر تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از شوری قرار گیرد و این امر بستگی به سطح تنش و میزان تجمع یون سدیم در ژنوتیپ مورد نظر دارد (James *et al*., 2008; Munns, 2002). در گندم یون سدیم مهم‌ترین یون موثر در شوری است که تجمع بیش از حد آن در سلول‌ها علاوه بر خسارت به غشا و ساختارهای سلول، موجب تخریب یا از کار افتادن پروتئین‌ها می‌شود. بنابراین دور نگه داشتن سلول و فرآیندهای آن از یون سدیم بسیار حائز اهمیت است (Mian *et al*., 2011). تجمع بالای یون سدیم سبب صدمه شدید به برگ، کاهش دوام برگ و همچنین کاهش میزان فتوسنتز در برگ شده و این امر منجر به کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (Husain, 2003; Poustini & Siosemardeh, 2004).بطورکلی رابطه ثابت و اختصاصی بین دفع سدیم و مقاومت به شوری در داخل یک توده متنوع از نظر ژنتیکی، وجود ندارد و زمانی که ژنوتیپ‌ها دارای تحمل بافتی یکسانی می‌باشند، غلظت پایین سدیم بافت می‌تواند تحمل به شوری را بهبود بخشد. در صورتی که دفع ضعیف سدیم می‌تواند به وسیله تحمل بافتی بالا جبران شود (Genc, 2007). نسبت پتاسیم به سدیم می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای تحمل شوری در گندم مورد استفاده قرار گیرد (Poustini & Siosemardeh, 2004). نسبت پتاسیم به سدیم در گیاهان به عنوان یکی از خصوصیات مهم جهت تفکیک گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است و به عنوان یک راهکار مؤثر جهت شناسایی تحمل شوری در سایر گونه‌ها به کار می‌رود (Karaki –Al, 2000). نسبت بالای یون پتاسیم به سدیم و انتخاب پتاسیم در مقابل سدیم در شرایط تنش شوری به عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب برای تحمل به شـوری است (Ashraf & Ali, 2008). پتاسیم از اجزای تشکیل دهنده تعداد زیادی از ترکیبات مهم متابولیکی هست که نقش مهم در عملکرد فیزیولوژیکی گیاه بر عهده دارد (Marshner, 2002; Sidqu, 2008). بنابراین نگهداری و حفظ نسبت بالایی از پتاسیم به سدیم در سلول‌های گیاهی به جهت فرآیندهای متابولیکی و اساسی تحمل به تنش شوری مناسب خواهد بود (Huang *et al*., 2006; Zaho *et al*., 2007).تجمع پرولین در شرایط تنش در بسیاری از گونه‌ها، رابطه زیادی با مقاومت به تنش دارد و غلظت آن عمدتاً در گیاهان متحمل بیشتر از گیاهان حساس است (Ashraf & Foolad, 2007). تجمع اسید آمینه پرولین، یکی از ویژگی‌های معمول در بسیاری از گیاهان در شرایط تنش است که از آن می‌توان به عنوان یک نشانگر بیوشیمیایی در گزینش واریته‌های مقاوم در این شرایط استفاده نمود (Ashraf & Haris, 2004). و در اثر تنش میزان کلروفیل a ،کلروفیل b ،کاروتنوئید کاهش می‌یابد (Kafi *al et*., 2009).

گندم گیاه زراعی است که شرایط رشد آن با مناطق وسیعی از جهان سازگاری دارد و از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید مهمترین گیاه زراعی دنیا محسوب می شود(Satorre & Slafer, 1999) . در حال حاضر گندم با سطح زیر کشت حدود ۲۳۲ میلیون هکتار و میزان تولید حدود ۶۰۰ میلیون تن مهمترین گیاه زراعی جهان محسوب می شود(FAO, 2010). بر اساس آمارنامه جهاد کشاورزی، گندم به عنوان عمده ترین محصول زراعی به طور متوسط سطحی معادل ۶/۲ میلیون هکتار از اراضی زراعی کشور را به خود اختصاص داده بود که از این مقدار اراضی حدود ۶۰/۶۵ درصد به صورت دیم و ۳۵/۳۹ درصد به صورت آبی کشت شده و میزان تولید آن معادل ۱۴/۷ میلیون تن بوده است. به طور کلی غلات، در مراحل رشد رویشی و اوایل رشد زایشی نسبت به تنش شوری حساس تر هستند و با افزایش سن گیاه تحمل به شوری نیز افزایش می یابد. به گونه ای که حساسیت به شوری آنها در مراحل گلدهی و پر شدن دانه کاهش می یابد (Foolad, 2004).

واکنش ارقام گندم به تنش شوری بسیار متنوع است و لذا شناخت ارقام متحمل به شوری و سازوکارهای ایجاد این تحمل، اهمیت بسیار زیادی در مطالعات زراعی و فیزیولوژیک دارد. بنابراین شناسایی و اصلاح ارقام گندم دارای تحمل تنش شوری لازم و ضروری می باشد. دست یابی به صفاتی که بیشترین همبستگی را با تحمل یا حساسیت به شوری دارند به منظور غربال ژنوتیپ ها بسیار مورد توجه فیزیولوژیست‌ها می‌باشد. به علاوه شناخت هرچه بیشتر مکانیزم‌های درگیر در مقاومت گیاهان به شوری، راهنمای مؤثری برای ما در کار بردن این صفات در اصلاح نباتات خواهد بود. بنابراین با توجه به اثرات مضر شوری و افزایش جمعیت و نیاز به غذا، هدف از انجام این آزمایش بررسی سازوکارهای تحمل به شوری ازطریق شناخت صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک درشرایط شوری و معرفی ارقام گندم متحمل به این تنش می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

این آزمایش در سال ۱۳۹۵، در محیط کنترل شده گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، بر روی ۵ رقم گندم (تجن، گلستان، اروند، شعله، اترک) و در دو سطح شوری(شاهد و ۱۶ دسی زیمنس بر متر) با دمای روز و شب، به ترتیب ۲۴ و ۱۴ درجه سانتی‌گراد و دوره روشنایی و تاریکی به ترتیب ۱۶ و ۸ ساعت، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی و اجرا گردید. برای کاشت، ابتدا بذور سالم انتخاب شده و تعداد ۵ عدد در داخل گلدان‌های ۵ کیلوگرمی که به میزان مساوی با خاک رس ، شن و کود حیوانی به ترتیب به نسبت ۲:۲:۱ پر شده بودند، کاشته شد. و در طول دوره آزمایش برای اطمینان و کنترل شوری مورد نظر گلدان اضافه مورد استفاده قرار گرفت. بعد از کاشت، آبیاری تمام گلدان‌ها تا قبل از اعمال تنش به‌طور کامل انجام گرفت. اعمال شوری در مرحله رویشی (۴-۵ برگی) انجام شد و برای جلوگیری از اعمال ناگهانی تنش، شوری مورد نظر طی چند روز به گیاهان داده شد و گیاهان به تدریج در معرض تنش شوری (NaCl) قرار گرفتند. در نهایت نمونه‌ها طبق صفات مورد اندازه‌گیری به فریزر ۷۰- درجه سانتی‌گراد و آون منتقل شدند. برای اندازه گیری وزن خشک ریشه و شاخساره، بوته‌ها پس از برداشت به دو قسمت ریشه و بخش هوایی تقسیم شده و در آب مقطر شسته شدند و سپس به آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل و به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و توزین شدند. غلظت پرولین به روش بیتس و همکاران (Bates *et al.*

1973). محتوای کلروفیل و کارتنوئید برگ‌ها به روش Arnon, (1949) و میزان یون‌های سدیم و پتا سیم در ا ندام های هوایی و ریشـــه گ یاه به روش م یدنیر (Meidner 1984) ا ندازه گیری شـــد. برای تجز یه واریانس و تجزیه داده ها از نرم افزار SAS و SPSS ا ستفاده شد. آزمون مقای سه میانگین به روش آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث:

اثر تنش شوری بر تولید ماده خشک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که شوری سبب کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره در ارقام مختلف گردید. بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش شوری ارقام به لحاظ تولید بیوماس بخش هوایی پاسخ متفاوتی نشان می‌دهند (جدول ۱). تنش شوری بر روی وزن خشک ریشه و شاخساره تأثیر منفی داشته و این کاهش، در رقم حساس بیشتر بوده است. ارقام شعله و اروند بیش‌ترین عملکرد را به خود اختصاص دادند (جدول ۲). تفاوت بین ژنوتیپ ها در تجمع وزن خشک بافت‌های گیاهی و کاهش آن در شرایط شوری به احتمال زیاد، تفاوت در هزینه انرژی متابولیکی و کاهش جذب کربن خالص را نشان می‌دهد که این خود مرتبط با سازگاری ژنوتیپ‌ها با تنش شوری می‌باشد (James *et al*., 2002; Netondo *et al*., 2004; Holtekjolen *et al*., 2006). کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره در شرایط تنش شوری با نتایج تحقیق Mohammadi *et al*. (2008) مطابقت داشت. در نهایت شوری می‌تواند رشد ریشه را سریعاً متوقف کرده و بدین طریق ظرفیت جذب و انتقال آب و عناصر غذایی از خاک به طرف شاخساره را کاهش دهد. Smith *et al*. (2002) گزارش دادند که شوری سبب افزایش رشد و وزن خشک ریشه یونجه گردید در حالی که نتایج Abdoli &Saeidi (2012) نشان داد، شوری باعث کاهش عملکرد و رشد ریشه گندم شده است.

همچنین Asish kumar & bandhu das (2005) عنوان کردند که با افزایش سطح شوری کاهش معنی داری در بیوماس برگ، ریشه و ساقه و افزایش نسبت ریشه به ساقه مشاهده شد.

اثر تنش شوری بر توزیع یون سدیم

غلظت یون سدیم نیز در تمام اندام‌های نمونه برداری شده تحت تنش شوری افزایش یافت (جدول ۲). باتوجه به کاهش میزان سدیم در شاخساره نسبت به ریشه به نظر چنین می‌رسد که گیاه با جلوگیری از ورود یون سدیم به بخش هوایی مانع از تجمع آن مخصوصاً در برگ که نقش مهمی در عملکرد دارد می شود. بنابراین دور نگه داشتن سلول و فرآیندهای آن از یون سدیم مورد توجه می‌باشد (Mian *et al*., 2011). به طوری که ارقام گلستان و اترک بیش‌ترین میزان سدیم را در ریشه و شاخساره داشتند (جدول ۲). به هر حال یکی از مهم‌ترین زمینه‌های مقاومت، کنترل تعادل در جذب سدیم از ریشه، تنظیم جریان آن در داخل سلول و کنترل انتقال طولانی مسیر آن و همچنین کده-بندی آن در سلول و بافت‌ها است (Flowers & Colmer, 2008). با این وجود با افزایش تنش شوری میزان سدیم در بافت‌های گیاهی افزایش یافت. به طوری که بیشترین سدیم مربوط به ارقام گلستان و اترک در شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر و کمترین مربوط به ارقام اروند و شعله در تنش شوری می‌باشد. ارقام متحمل اروند و شعله در سطوح بالاتر تنش شوری از ورود سدیم به بافت‌های خود در مقایسه با ارقام حساس جلوگیری کردند (جدول ۲). دفع سدیم از اندام های هوایی به عنوان یکی از مکانیسم‌های مهم تحمل شوری گیاهان شناسایی شده است و تحمل به شوری

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات شوری و ارقام مختلف گندم و برهمکنش آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمایی ارقام مختلف گندم

Table 1 Results of Analysis of Variance Effects of Salinity and Different Wheat Cultivars and Their Interaction on Physiological and Biochemical Properties of Different Wheat Cultivars.

SOV	df	Root Dry Matter	Shoot Dry Matter	K Root	K Shoot	Na Root	Na Shoot	K/Na Root	K/Na Shoot	Chloro phyll a	Chloro phyll b	Carote noid	Proline
Replication	2	6/34**	32/63**	6/34ns	32/63**	1/01*	0/82ns	0/05ns	0/10ns	0/06ns	0/05ns	0/01ns	0/01ns
Salinity	1	262/91**	318/95**	262/91**	318/95**	48/84**	185/47**	2/09**	3/69**	25/62**	13/09**	1/08**	115/76**
Cultivar	4	301/49**	434/80**	301/49**	434/80**	30/51**	56/22**	1/94**	2/27**	9/27**	5/76**	1/48*	2/45**
Sal:*Cult	4	1/17**	1/80**	1/17**	1/80**	1/24**	1/21*	0/02**	0/02**	0/31*	0/51*	0/31**	0/56**
Error	18	0.31	/27	/31	/27	/21	/34	/04	/04	/09	/14	/06	/33
C.V%		2/14	1/56	1/75	1/25	2/36	2/44	3/70	2/90	2/15	2/67	1/20	5/29

n.s,**,* no significant,significant in 1 and 5 probability level, respectively

ns ، * و** :به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین ارقام مختلف گندم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

Table 2 Comparison of the mean of different wheat cultivars on physiological and biochemical characteristics

	Shoot Dry Matter (g)		Shoot Dry Matter(g)		K Root (mg g^{-1})		K Shoot (mg g^{-1})		Na Root (mg g^{-1})		Na Shoot (mg g^{-1})		K/Na Root	
	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity
Golestan	1/09c	0/42e	2/15e	1/63d	33/63d	16/97d	13/40a	29/75a	2.51c	/57bc	55/61c	34/30c	10/75a	22/48a
Atrak	1/10c	0/45d	2/67b	1/73b	35/12c	18/85cd	11/47b	28/32a	3.06b	/66b	59/23b	35/50c	9/44a	23/16da
Arvand	1/22a	0/55b	2/64b	1/77a	41/84a	27/07a	8/78d	16/68b	4.77a	1/62a	63/71a	49/70a	7/52b	18/62b
Tajan	1/15b	0/49c	2/50bc	1/70c	34/91c	19/80c	9/86c	27/54a	3.54b	/72b	56/88c	39/98b	9/56a	22/05da
Sholeh	1/20ab	0/59a	2/85a	1/78a	37/25b	22/37b	8/62cd	17/01b	4.32a	1.31a	58/91b	50/90a	7/14b	17/73b

Mean letters per column for each treatment based on Duncan's method were not significant at a 5% level.

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون برای هر تیمار بر اساس روش Duncan در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند.

ادامه جدول ۲- مقایسه میانگین ارقام مختلف گندم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی

Continued Table 2 Comparison of different wheat cultivars mean on physiological and biochemical characteristics

	K/Na Shoot		Chlorophyll a (mg g-1)		Chlorophyll b (mg g-1)		Cartenoid (mg g-1)		Proline (mg g-1)			
	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity	Control	Salinity
Golestan	5.17c	1.52c	205.97a	266.66a	13/58a	8/68c	9/31b	7/72b	2/55b	1/59b	1/90b	3/08c
Atrak	6.27b	1.53c	204.90a	231.81b	13/44b	8/60c	9/28bc	7/64c	2/58a	1/57b	1/88b	3/36b
Arvand	8.47a	2.66a	177.56c	164.19c	13/58a	10/58a	9/33ab	8/32ab	2/57ab	1/70a	1/94a	3/42a
Tajan	5.94bc	1.81b	167.79c	251.38a	13/29c	9/36b	9/26c	7/74b	2/47b	1/62b	1/91b	3/11c
Sholeh	8.25a	2.87a	190.97b	219.08bc	13/47b	10/59a	9/36a	8/57a	2/55ab	1/72a	1/94a	3/45a

Mean letters per column for each treatment based on Duncan's method were not significant at a 5% level.

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون برای هر تیمار بر اساس روش Duncan در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نیستند.

به توانایی آن‌ها برای دفع سدیم بستگی زیادی دارد به گونه ای که از تجمع غلظت‌های بالای یون سدیم در برگ جلوگیری می‌کنند (Munns, 2005). با توجه به ارتباط منفی و معنی‌دار تجمع سدیم با تحمل به شوری ارقام می توان نتیجه گرفت که ارقام شعله و اروند که دارای وزن خشک بیشتری در ریشه و اندام هوایی بودند، از ورود و انتقال سدیم به اندام های خود جلوگیری کرده اند. در این آزمایش همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان پتاسیم اندام هوایی و سدیم اندام هوایی (۰/۸۵۴-) مشاهده شد (جدول۳). که این امر احتمالاً ناشی از اثر آنتاگونیستی سدیم برای نقاط جذب پتاسیم در ریشه ها و یا اثر سدیم روی انتقال پتاسیم در آوندهای چوبی گیاه یا اختلال در فرایندهای جذب پتاسیم توسط این یون سمی می‌باشد (James, 2003; Genc *et al*.,2007). در ژنوتیپ‌های دارای تجمع بالای یون سدیم، تنش شوری شدید باعث صدمه شدید به برگ، کاهش دوام برگ، کاهش میزان حفظ کلروفیل و همچنین کاهش میزان فتوسنتز در برگ شده و این منجر به کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (Husain *et al*., 2003). در این بررسی افزایش کلرید سدیم به محیط رشد موجب افزایش تجمع سدیم در اندام‌های هوایی و ریشه شد و این تجمع در اندام های هوایی بیشتر از ریشه بود. رقم گلستان نسبت به سایر ارقام دارای بیشترین میزان سدیم در ریشه و اندام های هوایی، در تمام سطوح شوری بود. تجمع سدیم در بافت گیاهی رابطه مستقیمی با میزان غلظت سدیم در محیط دارد. همچنین عملکرد با میزان سدیم بافت گیاه، رابطه منفی نشان داد. در بسیاری از مطالعات، رابطه رقابتی آنتاگونیستی بین سدیم و پتاسیم گزارش شده، به گونه‌ای که غلظت زیاد سدیم در محیط خارجی بر روی جذب پتاسیم توسط گیاه، اثر بازدارنده داشته و آن را کاهش می‌دهد. از دلایل اصلی سمیت یون سدیم در داخل سلول، رقابت آن با یون پتاسیم بر سر محل‌های اصلی اتصال در فرآیندهای کلیدی متابولیک نظیر فعالیت‌های آنزیمی، سنتز پروتئین و فعالیت ریبوزوم‌ها است Rogers & Shannon (2003)؛ flowers (2004) و در کلزا Cavalanti *et al*. (2007) و در گیاه نخود گـاوی El-hendawy *et al*. (2005) به نتایج مشابهی دست یافتند.

اثر تنش شوری بر توزیع یون پتاسیم

یون پتاسیم در بافت‌های مختلف نمونه‌برداری شده با افزایش تنش شوری کاهش یافت. بیش‌ترین میزان پتاسیم در اندام‌های مختلف مورد بررسی در رقم شعله و اروند مشاهده شد (جدول۲). در تمام اندام‌های مورد بررسی کمترین میزان پتاسیم در ارقام گلستان و اترک مشاهده شد (جدول۲). حفظ سطوح بالای پتاسیم در ژنوتیپ‌های متحمل به شوری یکی از مکانیسم‌های مهم تحمل به شوری در گیاهان زراعی معرفی شده است(Esechie&Rodriguez, 1999; Tanveer, 2004). نتایج مطالعات متعدد حاکی از آن است که غلظت پتاسیم در بافت گیاه با افزایش سدیم و یا با کاهش نسبت K^+/Na^+ در محیط ریشه کاهش خواهد یافت. کاهش جذب پتاسیم در گیاهان توسط سدیم، یک فرآیند رقابتی است. پتاسیم از اجزای تشکیل دهنده تعداد زیادی از ترکیبات مهم متابولیکی است و نقش مهمی در بقای گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی دارد Siddiqui *et al*., 2010; Marschner, (2011). در سایر مطالعات نیز گزارش شده که پتاسیم به طور معنی‌داری موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط شوری می‌شود (Jamshidi & Heidari, 2010). کاهش غلظت پتاسیم بافت گیاه در اثر افزایش شوری خاک را به رقابت برای K^+ و Na^+ که باعث افزایش جذب Na^+ می‌شود، نسبت دادند (Tanveer, 2004).

جدول ۳ – همبستگی صفات ده رقم گندم در شرایط شوری

Table 3 Correlation coefficients between traits of ten wheat cultivars grown under salinity stress.

صفات	DM root	DM Shoot	K root	Na root	K/Na root	K shoot	Na shoot	K/Na shoot	Chlorophyll a	Proline
DM root	1									
DM Shoot	-.723**	1								
K root	.701**	-.878**	1							
Na root	-.746**	.819**	-.856**	1						
K/Na root	.794**	-.854**	.954**	-.925**	1					
K shoot	.742**	-.842**	.941**	-.852**	.956**	1				
Na shoot	-.853**	-.886**	-.854**	.986**	-.912**	-.886**	1			
K/Na shoot	.834**	-.798**	.916**	-.942**	.989**	.919**	-.935**	1		
Chlorophyll a	.789**	-.798*	.829**	-.897**	.885**	.889**	-.927**	.886**	1	
proline	-.534**	.478*	-.493*	.516**	-.578**	-.634*	.578**	-.621**	-.654**	1

n.s,**,* no significant,significant in 1 and 5 probability level, respectively

ns، * و** :به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد

اثر تنش شوری بر نسبت پتاسیم به سدیم

در گیاهان تحمل به شوری با افزایش خاصیت انتخابی پتاسیم به سدیم مرتبط است. چنانچه مشاهده شد که بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم مربوط به رقم شعله و کمترین آن مربوط به رقم گلستان بود (جدول۲). شاخص نسبت پتاسیم به سدیم می‌تواند به عنوان معیار گزینشی استفاده شود و نتایج مفید بودن این معیار را برای گزینش مورد تأیید قرار دادند. همچنین گزارش شده، که گیاهان دارای طیف وسیعی از واریته‌های مختلف در نسبت‌های پتاسیم به سدیم می‌باشند. و مشخص شده که این صفت توارث پذیری بالایی دارد (Gorham *et al*.,1997). نسبت پتاسیم به سدیم می‌تواند به عنوان یک شاخص قابل اطمینان برای تحمل شوری در گندم مورد استفاده قرار گیرد (Poustini & Siosemardeh, 2004). طبق مطالعات قبل ارقامی متحمل اند که بتوانند دفع سدیمی بالا در شوری از خود نشان دهند، نسبت پتاسیم به سدیم را در بخش های مختلف خود به خوبی در حد قابل قبولی نگه دارند و از تجمع یون سدیم در بافت های جوان تر جلوگیری کرده آن را به بخش‌های پیرتر و غلاف‌ها انتقال دهند (Munns & James, 2003 Poustini & 2001; Zhu, Siosemardeh, 2004). بنابراین بنظر می رسد که ارقام شعله و اروند در این بین از پتانسیل بالایی برخوردارند. در حالی‌که ارقامی چون گلستان و تجن چندان به شرایط شوری تحمل نشان ندادند. رقم متحمل که بالاترین میزان K^+/Na^+ را در اندام‌های هوایی داشت، دارای وزن خشک بالاتری در اندام‌های هوایی بودند که صفت نسبت پتاسیم به سدیم در شناسایی ارقام متحمل از حساس مؤثر می‌باشد (جدول ۲). این نتیجه با نتایج Mohammadi *et al*. (2008) در گندم و Ashraf & Ahmad (2000) در پنبه مطابقت داشت.در تحقیقات نشان داده شده که با افزایش شوری، غلظت پتاسیم و نسبت K^+/Na^+ ، کاهش یافته است (Tester & Davenport, 2005).

اثر تنش شوری بر رنگدانه‌های فتوسنتزی

نتایج حاصل از این تحقیق برای مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید نشان داد که تنش شوری بر روی تمامی ارقام تأثیرگذار بوده است (جدول۱). روند تغییر رنگدانه‌های فتوسنتزی در همه ارقام با افزایش تنش کاهش یافت. بیشترین میزان کلروفیل در ارقام شعله و اروند و کمترین در ارقام اترک و تجن مشاهده شد (جدول۲). رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش مهمی در جمع‌آوری نور برای فتوسنتز دارند. یکی از پاسخ‌های گیاهان به تنش شوری تغییر در محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a و b است (Farooq *et al*., 2009). کاروتنوئیدها، نقش‌های پایه‌ای برعهده دارند و در مقاومت به تنش شوری تأثیر گذارند (Jaleel *et al*., 2009). کاروتنوئیدها به عنوان سوبستراهایی برای تولید هورمون‌های گیاهی از قبیل آبسزیک اسید و هم‌چنین سایر مولکول‌های سیگنال-دهی به کار گرفته می‌شوند (Cazzonelli, 2011). محققان نیز گزارش کرده‌اند که ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر محتوای کلروفیل و کاروتنوئید بیشتری طی تنش شوری دارند (Sairam *et al*., 1997). در تحقیقی، گزارش شده است که ژنوتیپ‌های گندم و ذرت مقاوم به شوری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس محتوای کلروفیل بیشتری دارند (Trippi & Pastori, 1992). در این تحقیق در سطوح شدیدتر تنش، کاهش در محتوای رنگدانه‌ها در گیاهان رخ داد و نتایج نشان داد که گیاهان حساس تغییرات بیشتری داشتند. کاهش محتوای رنگدانه‌ها ممکن است به‌دلیل تغییر در نرخ پروتئین - لیپید مجموعه‌های پروتئین- رنگدانه یا افزایش فعالیت کلروفیلازها (Parida *et al*., 2004) و یا تغییر فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم نیتروژن مانند نیترات ردوکتاز باشد (Kaiser, 1987). تنش شوری می‌تواند

غلظت کلروفیل را از طریق جلوگیری از ساخت کلروفیل و یا تسریع تجزیه آن توسط آنزیم کلروفیلاز (Reddy & Vora, 1986; Ashraf & Ali, 2008) و فتو اکسیداسیون کلروفیل توسط گونه‌های فعال اکسیژن (Alonso *et al*., 2001) کاهش دهد. تغییر محتوای کلروفیل بر اثر تنش شوری در مطالعات گوناگون آمده است. در بیشتر آزمایشات بر اثر تنش شوری کاهش محتوای کلروفیل برگ گزارش شده است (Jung, 2004; Nayyar & Gupta, 2006). ولی عدم تغییر (Jang, 2004) و حتی افزایش کلروفیل (Schurr *et al*., 2000; Jiang & Huang, 2001) نیز گزارش شده است. تفاوت در نتایج مشاهده شده احتمالاً مربوط به مدت زمان تنش و شدت تنش است (Rensburg & Kruger, 1994; Jagtap *et al*. 1998; Zhang & Kirkham, 1996).

اثر تنش شوری بر اسید آمینه پرولین

شوری موجب افزایش میزان پرولین شد. غلظت پرولین در شاخساره ارقام مختلف تحت شوری افزایش نشان داد (جدول۲). تحت تنش شوری بیشترین غلظت پرولین در رقم شعله و کمترین آن مربوط به رقم گلستان بود (جدول۲). میلر و همکاران (Miller *et al*., 2009) نیز در بررسی نقش متابولیت پرولین طی تنش گزارش دادند که این اسمولیت در برگ‌های فتوسنتز کننده تولید می‌شود و در طی تنش در آوند آبکش به سمت ریشه و مریستم‌های انتهایی حرکت می‌کند و در آنجا تجزیه می‌شود. گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد تجمع پرولین در برخی گیاهان چندان رابطه‌ای با مقاومت به تنش ندارد، به عنوان مثال مفتح و میشل (Moftah & Michel(1987) نشان دادند که نمی‌توان از محتوی پرولین به عنوان یک شاخص مقاومت استفاده کرد. روت و شاو (Rout &Shaw(1998 نیز تجمع پرولین در ارقام گندم را از علایم آسیب وارده به گیاه دانستند و عنوان کردند که زمانی که گیاه بیشتر آسیب ببیند تجمع پرولین در آن افزایش می‌یابد و چون آسیب وارد به گیاهان حساس بیشتر است، بنابراین، این گیاهان پرولین بیشتری را در خود تجمع می‌دهند. دلیل آن‌ها برای آسیب بیشتر به بافت گیاهی تجمع بیشتر پرولین در این بافت‌ها بود. در آزمایشی دیگر هیچ گونه همبستگی بین عملکرد دانه و غلظت پرولین در برگ های جوان گندم مشاهده نکردند. علت این مورد را شاید بتوان به نحوه نمونه گیری آزمایش آن‌ها که غلظت پرولین را از چهار برگ بالایی گیاه اندازه گیری کرده بودند و در نتیجه با توجه به غیر یکنواختی تجمع پرولین در قسمت‌های مختلف گیاه نسبت داد (Mohamadi *et al*., 2008). لازم به ذکر است که تجمع پرولین همواره علامتی از آسیب بافت نیست. در این آزمایش بین تجمع پرولین و غلظت یون سدیم همبستگی مثبت بالایی وجود داشت، این رابطه در مطالعات قبلی نیز دیده شد (Siddiqui *et al*., 2012). در بررسی چاندری (Khodary 1992) تجمع پرولین در حضور نمک‌های K_2SO_4 یا KCl افزایش نیافت. در حالی‌که، NaCl موجب افزایش پرولین شد، بنابراین آن-ها حدس زدند که تجمع پرولین باید به دلیل تجمع Na^+ باشد تا Cl^- یا K^+. عمده مطالعات، افزایش تجمع پرولین را همراه با افزایش غلظت سدیم در بافت‌ها گزارش داده‌اند (Goudarzi & Pakniyat, 2009; Wang & Han, 2009; Xue *et al*., 2009). میسرا و همکاران ((Misra *et al*. (2009 نشان دادند که غلظت-های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار NaCl موجب افزایش خطی غلظت پرولین می‌شود. در حالت کلی تجمع اسید آمینه پرولین، یکی از ویژگی‌های معمول در بسیاری از گیاهان در شرایط تنش است که از آن می‌توان به عنوان یک نشانگر بیوشیمیایی در گزینش واریته‌های مقاوم در این شرایط استفاده کرد (Ashraf & Harris, 2005).

تجمع پرولین در گیاهان مختلف در شرایط شوری در

بسیاری از گزارش‌ها دیده شده که از جملـــه آن‌ها می-توان بـــه (Ashraf ؛ Gupta S & Srivastava, 1990؛ & Neilly, 2004) اشاره کرد که با نتایج تحقیق حاضر در مورد پرولین برگ همخوانی دارد، اگرچه افزایشی در غلظت پرولین در جو مشاهده نشد.

نتیجه گیری کلی:

تنش شوری یکی از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات زراعی می‌باشد که از طریق تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از یون سدیم سبب آثار نامطلوب در گیاه شده است. اما از طریق تعدیل پتانسیل می‌توان عملکرد را در شرایط تنش شوری حفظ کرد و بدین ترتیب اثرات نامطلوب ناشی از تنش شوری بر عملکرد را کاهش داد. با توجه به نتایج، ارقامی که نسبت K^+/Na^+ را بالاتر نگه داشتند، عملکرد بیشتری را از خود نشان دادند. از طرفی با افزایش تنش شوری میزان تجمع سدیم افزایش می‌یابد و باعث افزایش سمیت یونی در گیاه و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان مشاهده کرد که ارقام شعله و اروند که نسبت پتاسیم به سدیم بالاتری را داشتند، توانستند عملکرد بالاتری را داشته باشند. بنابراین نسبت K^+/Na^+ می‌تواند به عنوان یک شاخص برای شناسایی ارقام گندم، به کار گرفته شود و در برنامه های به نژادی جهت بهبود تحمل به شوری مورد استفاده قرار گیرد.

.References:

1. Abdoli, M., Saeidi, M. (2012). Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post-anthesis water deficit in the west of Iran. *Ann. Biol. Res*. 3(3), 1322-1333.
2. Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*. 24: 1-15.
3. Ashraf, M. & Ali, Q. (2008). Relative Membrane Permeability and Activities of Some Antioxidant Enzymes as the Key Determinants of Salt Tolerance in Canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 63: 266-273.
4. Ashraf, M. & Harris, P.J. (2004). Potential Biochemical Indicators on Salinity Tolerance in Plants. *Plant Science*. 166: 4- 16.
5. Ashraf, M. & Khanum, A. (1997). Relationship between ion accumulation and growth in tow spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. *J. Agron. Crop Sci*. 178: 39-51.
6. Ashraf, M. & Saghir, A. (2002). Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fiber characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*.66: 127-115.
7. Ashraf, M., Nazir, N. & McNeilly, T. (2001). Comparative salt tolerance of amphidiploids and diploid Brassica species. *Plant Science*. 160: 683- 689.
8. Asish Kumar, P. & Bandhu das, A. (2005). Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
9. Cavalanti, F.R, Lima, J.P., Silva SL., FViegas RA. & Silveira, J.A. (2007). Roots and Leaves Display Contrasting Oxidative Response during Salt Stress and Recovery in Cowpea. *Journal of Plant Physiology*. 164: 591- 600.
10. Cazzonelli, C. I. (2011). Carotenoids in nature: insights from plants and beyond. *Functional Plant Biology*,38, 833–847.
11. 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.

12. Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A., Ahmad. N. & Saleem, B.A. (2009a). Improving the drought tolerance in rice (Oryza sativaL.) by exogenous application of salicylic acid. *J Agron Crop Sci* 195:237–246.
13. Flowers, T.J. (2004). Improving Crop Salt Tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 55: 307-319.
14. Flowers, TJ. & Colmer, T.D. (2008). Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*.. 179(4): 945-963.
15. Genc, Y., McDonald, G.K. &Tester M. (2007). Reassessment of tissue Na^+ concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat. Plant, *Cell & Environment*. 30(11): 1486-1498.
16. Gorham, J. (1997). Genetic analysis and physiology of a trait for enhanced K+.Na+ discrimination in wheat. *New Phytologist*. 109-116.
17. Greenway, H. & Munns, R. (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann Rev Plant Physiol*. 31: 141-190.
18. Gupta, S. & Srivastava, J. (1990). Effect of Salt Stress on Morpho Physiological Parameters in Wheat. *Indian Journal of Plant Physiology*. 32: 162- 171.
19. Holtekjlen, A.K., Kinitz, C. & Knutsen, S.H. (2006). Flavanol and bound phenolic acid contents in different barley varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(6): 2253-2260.
20. Homaee, M., Feddes, R.A. & Dirksen, C. A. (2002). macroscopic water extraction model for non-uniform transient salinity and water strees. *American Journal of Soil Science Society*. 66: 1764-1772.
21. Huang, S. spielmeyer, W., lagudah, E.S., james, RA., platen, J.D., dennis, E.S. & munns, R. (2006). a Sodium Transporter is A Candidate for Nax1, a Gene for Salt Tolerance in Durum *Wheat. Plant Physiology*. 42: 1718- 17257.
22. Husain, S., Munns, R. & Condon, A. (2003). Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. *Australian Journal of Agricultural Research*. 54(6): 589-597.
23. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R.&Panneerselvam, R. (2007). Pseudomonas fluorescens enhances biomass yield and ajmalicine production in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloid Surf B* 60:7–11.
24. James, R.A. (2008). Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*. 35(2): 111-123.
25. Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. & Nabati, J., (2009). Physiology of Environmental Stresses in Plants (translated). *Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR) Press*, Mashhad, Iran.
26. Manchanda.&Garg, N. (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol Plant*. 30:595-618.
27. Marschner, P. (2011). Mineral Nutrition of Higher Plants. *Academic Press*.
28. Mian, A.A., Senadheera, P. & Maathuis.& F.J.M. (2011). Improving Crop Salt Tolerance: Anion and Cation Transporters as Genetic Engineering Targets. *Global Science Books, Plant Stress*.
29. Moftah, A.E. & Michel, B.E. (1987). The effect of sodium chloride on solute potential and proline accumulation in soybean leaves. *Plant Physiology*. 83(2): 238-40.
30. Mohammadi H., Poustini K. And Ahmadi A. (2008). Root Nitrogen Remobilization and Ion Status of Two Alfalfa *(Medicago sativa* L.) Cultivars in Response to Salinity Stress ،*J. Agronomy & Crop Science*.: 931- 2250.
31. Munns, R. & James, R.A. (2003). Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant and Soil*: 253(1): 201-218.
32. Munns, R. (2011). The Impact of Salinity Stress. *In The Environmental and Physiological Nature of Salinity*.

33. Munns R. & Tester M. (2008).Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*.: 59: 651-681.
34. Nayyar, H.& Gupta, D. (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Env. and Exp. Bot*. 58: 106-113.
35. Netondo, G.W., Beck E. & Onyango, J.C. (2004). Sorghum and salinity. *Crop Science*. 44(3): 797-805.
36. Postini, K. & Siosemardeh, A. 2004. Ion Distribution in Wheat Cultivars in Response to Salinity Stress. *Field Crops Research*. 55: 125-133
37. Satorre, E.& Slafer, G. A. (1999). Wheat Ecology and physiology of yield determination. *The Haworth Press*, New York, P: 503.
38. Schurr, U., Hechenberger, U., Herdel, K., Walter, A. & Feil, R. (2000). Leaf development in *Ricinus Communis* during drought stress: dynamics of growth processes of cellular structure and sink source transition. *Exp. Bot*. 51: 1515-1529.
39. Siddiqui, M.H. (2010). Nitrogen in Relation to Photosynthetic Capacity and Accumulation of Osmoprotectant and Nutrients in (*Brassica*)Genotypes Grown Under Salt Stress. *Agricultural Sciences in China*. 9(5): 671-680.
40. Siddiqui, M.H. (2012). Cumulative effect of nitrogen and sulfur on *Brassica juncea* L. genotypes under NaCl stress. *Protoplasma*. 1-15.
41. Smith, S.E. (2002). Root growth and yield of differing alfalfa rooting populations under increasing salinity and zero leachings. *Crop Science*. 42(6): 2064-2071.
42. Xue X., Liu, A. & Hua X. (2009). Proline accumulation and transcriptional regulation of proline biosynthesis and degradation in *Brassica napus*. *BMB reports*. 42(1): 28-34.
43. Zaho, G., Mab, B. L. and Ren, C. Z. (2007) Growth, gas exchanges, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Science*. 47:123-131.