تحقیقات غلات

دوره ششم/ شماره چهارم/ زمستان ۱۳۹۵ (۴۷۶-۴۶۵)

مقایسه اثر تنش شوری و کم‌آبی بر رشد و محتوای سدیم و پتاسیم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)

محمود عطارزاده [۱*]، محسن موحدی دهنوی [۲] و محمدرضا غفاریان هدش [۱]

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی و مقایسه اثر تنش‌های شوری و کم‌آبی بر ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی گیاهچه‌های گندم (رقم فلات)، آزمایشی گلدانی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۴ انجام شد. در مجموع هفت تیمار شامل سه سطح از هر یک از تنش‌های شوری و کم‌آبی القاء شده با پتانسیل اسمزی مشابه (۲/۴۷- ، ۴/۹۴- و ۷/۴۲- بار) به‌همراه یک تیمار شاهد مورد مطالعه قرار گرفت. تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم و تنش کم‌آبی با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ اعمال شدند. وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای مختلف تنش شوری و تنش کم‌آبی نسبت به شاهد، کاهش معنی‌داری نشان داد. تنش کم‌آبی سبب افزایش وزن خشک ریشه شد و بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار ۷/۴۲- بار پلی‌اتیلن‌گلیکول مشاهده شد. بیشترین میزان محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه در تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار و کمترین آن در شرایط تیمار شاهد مشاهده شد که با سطوح تنش کم‌آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار موجب کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم اندام هوایی و ریشه شد. بالاترین نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه در تیمار شاهد و کمترین آن در تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار مشاهده شد. با افزایش سطح هر دو تنش شوری و کم‌آبی، میزان پروتئین‌های محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزایش معنی‌داری نشان دادند. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان داد که تنش شوری نسبت به تنش کم‌آبی تأثیر منفی بیشتری بر گندم دارد و وزن خشک اندام هوایی و ریشه را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پروتئین محلول، کاتالاز، وزن خشک

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* نویسنده مسئول: attarzadeh2012@yahoo.com

مقدمه

گندم یک محصول استراتژیک است که بخش وسیعی از زمین‌های زیر کشت آن در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد. لذا تنش‌های محیطی از ویژگی‌های بارز کاهش دهنده عملکرد این محصول به شمار می‌رود (Hosseini Salekdeh *et al.*, 2009). در این میان خسارت تنش شوری و تنش کم آبی در مقایسه با سایر تنش‌ها بیشتر است و از اهمیت بیشتری برخوردار است (Ashraf and Harris, 2004). گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکلات اصلی مواجه هستند. املاح زیاد موجود در خاک، پتانسیل اسمزی خاک را پایین می‌آورد (Hajlaoui *et al.*, 2010). با کاهش پتانسیل آب خاک، توان جذب آب از خاک توسط ریشه کاهش می‌یابد و تورم سلول‌ها دچار مشکل شده و در واقع گیاه با تنش کم‌آبی مواجه می‌شود. بنابراین، تنش شوری از این جهت با تنش کم‌آبی شباهت دارد (Hasegawa *et al.*, 2000). بر طبق گزارش‌های موجود، غلظت‌های بالای نمک باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه می‌شود (Khan and Panda, 2008). پاسخ گیاهان به تنش کم‌آبی تابع پیچیده‌ای از شدت و مدت زمان تنش و وابسته به دوره‌ای از رشد است که در آن تنش کم‌آبی اتفاق می‌افتد (Cairns *et al.*, 2012).

مراحل اولیه رشد گیاهچه‌ای به‌شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی از جمله شوری و کم‌آبی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که استقرار ضعیف گیاه یکی از مشکلات اصلی در مناطق خشک و شور می‌باشد (Bogdan and Zagdanska, 2006). تنش کم‌آبی در چندین مرحله می‌تواند گندم را در معرض خطر قرار دهد و تنش کم‌آبی مداوم در طول مراحل اولیه رشد گیاهچه از مهم‌ترین آن‌ها است (Reynolds *et al.*, 2005). تحقیقات نسبتاً زیادی روی گیاهان زراعی مختلف انجام شده و بیانگر این واقعیت است که بروز تنش کم‌آبی و شوری باعث اختلال در فعالیت‌های رشدی و فیزیولوژیک گیاه می‌شود (Okcu *et al.*, 2005)، اما هنوز به‌درستی مشخص نشده است که کدام‌یک از عوامل نقش مهم‌تری در بازداری رشد و فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه تحت شرایط تنش دارند.

تنش‌های محیطی تعادل بین تولید و تخریب گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را برهم می‌زنند (Yazici *et al.*, 2007). گزارش‌های موجود نشان می‌دهند که گیاهان با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت شرایط تنش شوری، میزان انواع اکسیژن فعال را کنترل می‌کنند و تحمل به تنش را افزایش می‌دهند. فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سبب کاهش شاخص‌های تنش اکسیداتیو، میزان پراکسیداسیون لیپیدی و پراکسید هیدروژن در سلول‌های برگ در شرایط شور می‌شوند (Demiral and Turkan, 2005). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به‌عنوان یک سد دفاعی در برابر تنش‌های وارده به گیاه عمل می‌کنند (Pyngrope *et al.*, 2012). میزان افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان متحمل به تنش، عموماً بیشتر است و ارتباط بسیار زیادی بین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و تحمل به تنش کم‌آبی وجود دارد (Kosara *et al.*, 2015). علاوه بر آن، می‌توان از ویژگی‌های فیزیولوژیک مثل دفع سدیم و تجمع آن در واکوئل‌ها، نسبت پتاسیم به سدیم و کنترل میزان انتقال سدیم از ریشه به اندام هوایی به‌عنوان معیارهایی برای شناسایی گیاهان متحمل به شوری استفاده کرد (Houshmand *et al.*, 2005). هدف از اجرای این پژوهش، مقایسه تأثیر درجات مختلف تنش شوری ناشی از کلرید سدیم و تنش کم‌آبی حاصل از پلی‌اتیلن‌گلیکول بر ویژگی‌های گندم نان و شناسایی شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک درگیر در تحمل به تنش‌های کم‌آبی و شوری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع حدود ۱۸۱۶ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۴ انجام شد. تیمارها شامل سه سطح تنش شوری و سه سطح تنش کم‌آبی با پتانسیل اسمزی برابر (۲/۴۷-، ۴/۹۴- و ۷/۴۲- بار) همراه با یک تیمار شاهد بود که در محلول هوگلند (جدول ۱) اعمال شد (Hoagland and Arnon, 1950). متوسط هدایت الکتریکی محلول هوگلند ۲ میلی موس بر سانتی‌متر و متوسط اسیدیته (pH) آن ۶/۵ بود. تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم و تنش کم‌آبی با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول ۶۰۰۰ اعمال شدند.

قبل از کاشت، ابتدا بذرهای گندم (رقم فلات) که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی زرقان استان فارس تهیه شده بود، توسط هیپوکلریت سدیم یک درصد

به‌مدت ۱۵ دقیقه ضد عفونی و بعد چندین بار با آب مقطر استریل شسته شدند. بذرها در گلدان‌های پلاستیکی با ارتفاع ۲۵ و قطر ۱۵ سانتی‌متر در عمق ۱/۵ سانتی‌متری کشت شدند. بستر کشت شن (ماسه بادی) کاملاً شسته شده بود و در هر گلدان تعداد ۱۰ بذر گندم کشت شد. هر واحد آزمایشی نیز شامل دو گلدان بود. از زمان کشت بذرها، آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر صورت گرفت و پس از سبز شدن بذرها، محلول غذایی هوگلند تهیه و به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر ابتدا به‌صورت یک‌چهارم هوگلند به گیاهچه‌ها داده شد و پس از آن و به تدریج با افزایش رشد گیاهچه‌های گندم، محلول نیم هوگلند به گلدان‌ها اضافه شد (Zhang *et al.*, 2005).

جدول ۱- تهیه محلول غذایی هوگلند

Table 1. Preparation of Hoagland solution

عناصر پرمصرف Macronutrients	گرم در ۱۰۰ لیتر آب Grams per 100 liters water	عناصر کم‌مصرف Microelements	گرم در ۱۰۰ لیتر آب Grams per 100 liters water
$Ca(NO_3)_2$	118.1	H_3BO_3	2.86
KNO_3	50.55	$MnCl_2$	2.81
$(NH_4)_3PO_4$	13.61	$ZnSO_4$	0.22
$MgSO_4$	49.3	$CuSO_4$	0.08
		H_3MoO_4	0.03
		$FeSO_4$	3.0

دو هفته پس از کاشت (مرحله دو برگی)، عمل تنک کردن گیاهچه‌ها صورت گرفت و تعداد ۵ بوته در هر گلدان حفظ شد. سپس در مرحله چهار برگی، اعمال تیمارهای تنش شوری و تنش کم‌آبی مورد نظر در محلول نیم‌هوگلند انجام و تا مرحله هشت برگی و زمان نمونه‌گیری ادامه یافت. به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، تیمارهای تنش شوری و تنش کم‌آبی به‌تدریج طی ۳ مرحله با فاصله زمانی ۳ روز اعمال شد. روی یکی از گلدان‌های هر واحد آزمایشی، اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه انجام شد و گلدان دوم برای اندازه‌گیری سایر صفات فیزیولوژیک مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری محتوای یونی، بعد از برداشت بوته‌ها از گلدان، پهنک‌های جوانترین برگ‌های کاملاً باز شده و ریشه‌های هر بوته در هر کدام از گلدان‌ها، جدا شدند. نمونه‌های برداشت شده با آب مقطر کاملاً شسته و به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون خشک شدند. سپس یک گرم از نمونه خشک‌شده توزین و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ ساعت خاکستر شد. سپس مقادیر سدیم و پتاسیم توسط توسط دستگاه فلیم فتومتر بر حسب میلی‌گرم بر گرم برگ خشک قرائت و اعداد قرائت شده به وسیله مقایسه با نمودار حاصل از نمونه‌های استاندارد تعدیل شدند (Patterson *et al.*,1984). از تقسیم پتاسیم و سدیم اندام هوایی به پتاسیم و سدیم ریشه، نسبت پتاسیم و سدیم اندام هوایی به ریشه به‌دست آمد. از تقسیم پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری پروتئین محلول برگ از روش برادفورد (Bradford, 1976) با استفاده از ۰/۲ گرم نمونه تازه برگ توسعه‌یافته انجام شد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش ابی (Aebi, 1984) و پراکسیداز از روش مک‌آدام و همکاران (Mac-Adam *et al.*, 1992) با استفاده از ۰/۱ گرم نمونه برگ تازه توسعه‌یافته انجام شد. محاسبات آماری داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی و ریشه

اثر تنش شوری و تنش کم‌آبی بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن خشک اندام هوایی گندم در سطوح مختلف تیمارهای تنش شوری و تنش کم‌آبی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری دارد (جدول ۳). همچنین، در شرایط تنش شوری ۲/۴۷- بار، وزن خشک اندام هوایی گندم ۰/۷۸۵ گرم بود که با تنش شوری ۷/۴۲- بار

(۰/۲۷۳ گرم) تفاوت معنی‌داری داشت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش تنش کم‌آبی منجر به کاهش میزان وزن خشک اندام هوایی گندم شد، به‌طوری‌که وزن خشک اندام هوایی در تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار نسبت به تنش ۲/۴۷- بار کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که پتانسیل اسمزی ۴/۹۴- و ۷/۴۲- بار در تنش شوری نسبت به تنش کم‌آبی سبب اختلال بیشتری در فعالیت‌های رشد گندم شد که در نهایت باعث کاهش تولید ماده خشک اندام هوایی شد (جدول ۳).

اثر تنش شوری و تنش کم‌آبی بر وزن خشک ریشه گندم معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط شاهد وزن خشک ریشه گندم ۰/۵۴۰ گرم بود که نسبت به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار (۰/۹۱۱ گرم) اختلاف معنی‌داری نشان داد، اما با تیمار تنش شوری ۲/۴۷- و ۴/۹۴- بار (به‌ترتیب به‌میزان ۰/۵۶۴ و ۰/۵۱۱) اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). همچنین، با افزایش تنش کم‌آبی میزان وزن خشک ریشه گندم افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان وزن خشک ریشه در تیمار ۷/۴۲- بار مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در این تحقیق

Table 2. Analysis of variance for the studied traits in this research

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	سدیم اندام هوایی Shoot Na content	سدیم ریشه Root Na content	پتاسیم اندام هوایی Shoot K content	پتاسیم ریشه Root K content
تیمار Treatment	6	0.688 **	0.561 **	1168 **	822.8 **	68.93 **	135.03 **
خطای آزمایش Error	14	0.006	0.104	26.23	15.39	10.15	23.35
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	10.1	12.4	12.5	10	14	15

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

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

تنش شوری در مقایسه با تنش کم‌آبی، علاوه بر اینکه تنش اسمزی ایجاد می‌کند، سبب ورود سدیم به داخل گیاه شده و باعث سمیت و عدم تعادل یونی در گیاه می‌شود، بنابراین نسبت به تنش کم‌آبی تأثیر منفی بیشتری بر وزن خشک اندام هوایی گندم دارد. تاثیر سوء شوری به علت ایجاد پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک و جذب کم آب توسط ریشه و همچنین تأثیر بر فتوسنتز و فرآیندهای جانبی آن می‌باشد و در نتیجه انرژی لازم برای رشد مناسب ریشه و اندام هوایی در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد (Ashraf and Foolad, 2007). تنش شوری باعث آسیب رساندن به غشاهای سلولی، به ویژه غشای سیتوپلاسمی و افزایش تراوایی غشاها به‌دلیل جایگزینی کلسیم به وسیله سدیم نیز می‌شود و در نتیجه تلفات پتاسیم افزایش می‌یابد (Hosseini and Rezvani Moghaddam, 2006). از سوی دیگر، با افزایش تنش کم‌آبی، گندم تولید فتوسنتز خود را بیشتر به تجمع ماده خشک در ریشه اختصاص می‌دهد، زیرا با این کار توانایی خود را برای جذب مقدار بیشتری از آب موجود در خاک حفظ خواهد کرد. یکی از راهکارهای اصلی گیاه برای مقابله با تنش کم‌آبی، افزایش توسعه ریشه است (Tuberosa, 2011). بر اساس نتایج محققان افزایش وزن خشک ریشه و توانایی ریشه در نفوذ به لایه‌های فشرده و عمیق خاک نیز موجب افزایش مقاومت به تنش کم‌آبی می‌شود (Kesahvarznia *et al.*, 2015).

محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه

تنش‌های شوری و کم‌آبی، محتوای سدیم اندام هوایی گندم را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). در شرایط شاهد، محتوای سدیم اندام هوایی گندم ۲۷/۷۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک بود که با تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما با تیمارهای تنش شوری

اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). افزایش تنش شوری منجر به افزایش محتوای سدیم اندام هوایی گندم شد، به‌طوری‌که بیشترین محتوای سدیم اندام هوایی در تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار به میزان ۷۵/۱۰ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک و کمترین آن در تیمار ۲/۴۷- بار (۴۰/۸۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) مشاهده شد (جدول ۳).

تنش‌های شوری و کم‌آبی، محتوای سدیم ریشه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). کمترین محتوای سدیم ریشه (۲۹/۲۰ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) مربوط به تیمار شاهد و بیشترین (۷۱/۸۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) آن مربوط به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار بود (جدول ۳). همچنین تحت شرایط تنش شوری ۲/۴۷- بار، محتوای سدیم ریشه ۵۲/۵۰ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک بود که نسبت به شرایط تنش شوری ۷/۴۲- بار (۷۱/۸۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) کاهش معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به تنش شوری ۴/۹۴- بار (۵۲/۵۰) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. از سوی دیگر، شرایط تنش کم‌آبی، به‌علت میزان پایین سدیم در خاک، نتوانست تغییرات معنی‌داری در محتوای سدیم ریشه گندم نسبت به شاهد ایجاد کند.

به‌نظر می‌رسد افزایش میزان کلرید سدیم، باعث برهم زدن تعادل کاتیونی شده و امکان جذب بیشتر سدیم توسط ریشه گندم را فراهم کرده است. همچنین علاوه بر تجمع غلظت بالای سدیم در ناحیه ریشه، بلافاصله سدیم از طریق آوند چوبی به اندام‌های هوایی انتقال پیدا کرده و سبب افزایش میزان تجمع سدیم در اندام هوایی گندم شده است. نتایج به‌دست آمده توسط محققان دیگر نیز نشان می‌دهد که تنش شوری سبب اختلال در جذب مواد غذایی مورد نیاز رشد می‌شود و گیاهان در یک محیط شور، مقدار زیادی یون سدیم جذب می‌کنند (Deinlein *et al.*, 2014). پژوهش‌های مختلف روی گندم دوروم (Hadi *et al.*, 2008) و یونجه (Darvishi *et al.*, 2009) نشان داد که شوری سبب افزایش معنی‌دار غلظت یون سدیم در ریشه و اندام هوایی این گیاهان شده است.

محتوای پتاسیم اندام هوایی و ریشه

تنش‌های شوری و کم‌آبی، محتوای پتاسیم اندام هوایی گندم را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). بیشترین محتوای پتاسیم اندام هوایی (۳۴/۷۵ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) مربوط به تیمار شاهد و کمترین (۱۶/۷۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) آن مربوط به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار بود (جدول ۳). همچنین در شرایط تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار محتوای پتاسیم اندام هوایی ۱۶/۷۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک بود که نسبت به شرایط تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار (۲۵/۲۰ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). نتایج نشان داد که افزایش میزان تنش شوری و کم‌آبی، اختلاف معنی‌داری در محتوای پتاسیم اندام هوایی ایجاد نکرد.

تنش شوری و تنش کم‌آبی، محتوای پتاسیم ریشه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بیشترین محتوای پتاسیم ریشه (۴۶/۶۳ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) در تیمار شاهد و کمترین (۲۳/۹۵ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک) آن در تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار مشاهده شد (جدول ۳). تحت شرایط تنش شوری ۲/۴۷- بار، محتوای پتاسیم ریشه ۳۶/۱۵ میلی‌گرم بر گرم برگ خشک بود که نسبت به تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار (۲۳/۹۵ گرم) تفاوت معنی‌داری داشت، اما با تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار (۲۷/۳۳ گرم) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. از طرف دیگر، تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری در محتوای پتاسیم ریشه گندم ایجاد نکرد (جدول ۲).

تنش شوری و تنش کم‌آبی، منجر به کاهش محتوای پتاسیم اندام هوایی شد. با توجه به کاهش پتاسیم و افزایش سدیم در گندم می‌توان به رابطه رقابتی بین سدیم و پتاسیم پی برد. افزایش سدیم باعث کاهش کاتیون‌های دیگر در گیاه و برهم‌زدن تعادل کاتیونی گیاه می‌شود. این افزایش باعث کاهش میزان پتاسیم در گیاه می‌شود (Deinlein *et al.*, 2014). کاهش پتاسیم تحت شرایط تنش شوری می‌تواند به‌دلیل رقابت سدیم بر سر مکان‌های اتصال به ناقل‌ها در غشاء پلاسمایی و نیز نشت پتاسیم به دلیل عدم ثبات غشاء باشد (Ferreira-Silva *et al.*, 2008). اگر شرایط تنش شوری با کمبود پتاسیم همراه شود، صدمه شدیدتری به گیاه وارد خواهد شد (Zheng *et al.*, 2008).

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای تنش شوری و کم‌آبی برای وزن خشک و محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی و ریشه
Table 3. Mean comparisons of the salinity and drought stresses for shoot and root dry weight and sodium and potassium content

تیمار Treatment	سطوح تنش Stress levels (bar)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	سدیم اندام هوایی Shoot Na content (mg/g dry weight)	سدیم ریشه Root Na content (mg/g dry weight)	پتاسیم اندام هوایی Shoot K content (mg/g dry weight)	پتاسیم ریشه Root K content (mg/g dry weight)
شاهد Control	هوگلند Hoagland	1.676 a	0.540 d	27.733 d	29.200 c	34.750 a	46.633 a
شوری Salinity	-2.47	0.785 c	0.564d	40.833 c	52.500 b	22.400 bc	36.150 b
	-4.94	0.487 d	0.515 d	61.267 b	52.500 b	21.100 bc	23.950 c
	-7.42	0.273 e	0.911 b	75.100 a	71.833 a	16.733 c	27.333 bc
کم‌آبی Drought	-2.47	1.24 b	0.657 cd	28.833 d	29.933 c	23.600 bc	27.900 bc
	-4.94	0.861 c	0.816 bc	29.200 d	29.200 c	22.233 bc	30.900 bc
	-7.42	0.556 d	1.742 a	23.700 d	33.900 c	25.200 b	29.100 bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

نسبت سدیم و پتاسیم اندام هوایی به ریشه

تنش‌های شوری و کم‌آبی، نسبت سدیم اندام هوایی به ریشه را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). در شرایط تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار، نسبت سدیم اندام هوایی به ریشه گندم ۱/۰۴ بود که نسبت به تیمار تنش شوری ۲/۴۷- بار (۰/۷۸۰) افزایش معنی‌داری داشت، اما با تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار (۱/۱۶) اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). نتایج نشان داد که نسبت سدیم اندام هوایی به ریشه گندم در تیمار شاهد ۰/۹۶۰ بود که با تیمار تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار (۰/۷۰۳) اختلاف معنی‌داری داشت، اما با تیمارهای کم‌آبی ۲/۴۷- و ۴/۹۴- بار (به‌ترتیب ۰/۹۶۰ و ۱/۰۰۳) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

تنش شوری و تنش کم‌آبی، نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). در شرایط تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار، نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه گندم ۱۶/۲۳ بود که نسبت به تنش شوری ۲/۴۷- بار (۲۸/۹۵) کاهش معنی‌داری داشت، اما با تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار (۱۸/۵۰) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین بیشترین نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه گندم (۳۵/۶۰) مربوط به تیمار شاهد و کمترین آن مربوط به تنش شوری ۷/۴۲- بار (۱۶/۲۳) بود (جدول ۵). در تیمار تنش کم‌آبی ۲/۴۷- بار، نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه گندم ۲۴/۵۶ بود که نسبت به تنش کم‌آبی ۴/۹۴- بار (۲۲/۳۳) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما با تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار (۳۴/۴۰) اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵).

افزایش سطوح غلظت کلرید سدیم علاوه بر تجمع سدیم در ریشه، سبب افزایش انتقال محتوای سدیم از ریشه به اندام هوایی گندم شد. نتایج به‌دست آمده توسط محققان دیگر حاکی از این است که گیاهان متحمل به تنش شوری، تمایل زیادی به جذب پتاسیم دارند و از سوی دیگر سلول‌های پارانشیم آوند چوبی به‌عنوان یک مانع غشایی از ورود نمک به جریان تعرق ممانعت می‌کنند (Deinlein *et al.*, 2014). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گندم نتوانسته از این سازوکار دفاعی استفاده کند، به‌طوری‌که سدیم از طریق آوند چوبی به اندام‌های هوایی انتقال پیدا کرده و سبب افزایش میزان تجمع سدیم در اندام هوایی گندم شده است. نتایج به‌دست آمده توسط محققان نشان می‌دهد که در گیاهان حساس به شوری، نمک سدیم به‌طور آزادانه وارد گیاه شده و سبب افزایش محتوای سدیم می‌شود (Kronzucker and Britto, 2011). گیاهانی که از نسبت پتاسیم به سدیم بالاتری برخوردارند از مقاومت بیشتری در برابر تنش شوری برخوردارند (Tuna *et al.*, 2007).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در این تحقیق

Table 4. Analysis of variance for the studied traits in this research

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	سدیم اندام هوایی به ریشه Shoot/root Na ratio	پتاسیم اندام هوایی به ریشه Shoot/root K ratio	پتاسیم به سدیم اندام هوایی Shoot K/Na ratio	پتاسیم به سدیم ریشه Root K/Na ratio	پروتئین محلول Soluble protein	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase
تیمار Treatment	6	0.074 **	128.2 **	0.328 **	0.480 **	3.01 **	3.8**	10.26 **
خطای آزمایش Error	14	0.012	17.43	0.007	0.041	0.008	13.11	5.23
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	12	17	12.4	22	12.8	11.6	13.2

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

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه

تنش‌های شوری و کم‌آبی، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). بیشترین نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در شرایط تیمار شاهد (۱/۳۱۵) و کمترین نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در شرایط تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار، (۰/۲۲۵) مشاهده شد که با تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار (۰/۳۶۲) تفاوت معنی‌داری نداشت. نتایج به‌دست آمده حاکی از این است که در تیمار تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی ۱/۰۱۹ بود که نسبت به تنش کم‌آبی ۲/۴۷- و ۴/۹۴- بار (به‌ترتیب ۰/۸۲۱ و ۰/۷۷۳) افزایش معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵).

تنش شوری و تنش کم‌آبی، نسبت پتاسیم به سدیم ریشه را نیز به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). در تیمار تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار، نسبت پتاسیم به سدیم ریشه گندم ۰/۸۸۰ بود که نسبت به تیمار شاهد (۱/۶۱۶) کاهش معنی‌داری داشت، اما با تیمار کم‌آبی ۲/۴۷- و ۴/۹۴- بار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵). کمترین نسبت پتاسیم به سدیم ریشه گندم (۳۵/۶۰) نیز مربوط به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار بود که نسبت به تیمار تنش شوری ۲/۴۷- و ۴/۹۴- بار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

اگرچه تنش شوری سبب کاهش نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه شد، اما در شرایط تنش کم‌آبی عکس این اتفاق مشاهده شد، به‌طوری‌که نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی در تنش خشکی ۷/۴۲- بار، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. به‌نظر می‌رسد که در اثر شوری اعمال شده در این آزمایش، یون سدیم به‌دلیل اثر رقابتی که با یون پتاسیم دارد، باعث کاهش این یون شده است. اما در تنش کم‌آبی به علت کمبود میزان سدیم در محلول غذایی، گندم توانسته با افزایش قابلیت نفوذ غشاء پلاسمایی، جذب بیشتر پتاسیم را نسبت به سدیم فراهم کند. جذب بیش از اندازه سدیم علاوه بر ایجاد مسمومیت، سبب اختلال در متابولیسم سایر عناصر غذایی شده که این امر منجر به تأثیر منفی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Dadkhah, 2010). با افزایش مقدار سدیم در محیط ریشه، غلظت پتاسیم در بافت‌های گیاهی کاهش می‌یابد (Kronzucker and Britto, 2011). در بعضی گونه‌ها که به‌طور نسبی با دفع نمک به خارج از گیاه و یا جذب انتخابی می‌پردازند، به نوعی مقاومت در برابر تنش دست می‌یابند. میزان انتقال سدیم به داخل گیاه و در نتیجه نسبت پتاسیم به سدیم در اندام‌های مختلف با مقاومت گیاه در برابر تنش شوری مرتبط است (Nedjimi and Daoud, 2009).

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارهای شوری و کم‌آبی برای نسبت سدیم و پتاسیم اندام هوایی به ریشه، نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی و ریشه، پروتئین محلول و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

Table 5. Mean comparisons of salinity and drought treatments for shoot to root sodium and potassium ratio, shoot and root potassium to sodium ratio, soluble protein and catalase and peroxidase enzymes

تیمار Treatment	سطوح تنش Stress levels	نسبت سدیم ساقه به ریشه Shoot/root Na ratio	نسبت پتاسیم اندام هوایی به ریشه Shoot/root K ratio	نسبت پتاسیم به سدیم اندام هوایی Shoot K/Na ratio	نسبت پتاسیم به سدیم ریشه Root K/Na ratio	پروتئین محلول Soluble protein (mg/g fresh weight)	کاتالاز Catalase (µMol/min/ mg protein)	پراکسیداز Peroxidase (µMol/min/ mg protein)
شاهد Control	هوگلند Hoagland	0.960ab	35.60a	1.31a	1.616a	161e	0.531d	5.733e
شوری Salinity	-2.47	0.780bc	28.95ab	0.550d	0.665bcd	183d	0.680c	6.834d
	-4.94	1.166a	18.50c	0.362e	0.470cd	197d	0.811b	8.267b
	-7.42	1.043a	16.23c	0.225e	0.383d	286b	0.923a	9.091a
کم‌آبی Drought	-2.47	0.956ab	24.56bc	0.821c	0.936b	168e	0.657c	6.873d
	-4.94	1.003a	22.33bc	0.773c	1.043b	225c	0.816b	7.206c
	-7.42	0.703a	34.40bc	1.019b	0.088a	311a	0.782b	8.793a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan's test at 5% probability level.

پروتئین محلول و آنزیم کاتالاز و پراکسیداز

بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری از لحاظ پروتئین‌های محلول برگ وجود داشت (جدول ۴). با افزایش سطوح مختلف تنش کم‌آبی، میانگین این صفت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین محلول در تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار (۳۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن در تیمار شاهد (۱۶۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۵). در شرایط تیمار تنش شوری ۲/۴۷- بار، میزان پروتئین محلول گندم ۱۸۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که نسبت به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار (۲۸۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) تفاوت معنی‌داری داشت، اما با تیمار تنش شوری ۴/۹۴- بار (۱۹۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف معنی‌داری نشان نداد. از طرف دیگر، با افزایش تنش شوری نیز میانگین این صفت به طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان پروتئین محلول در تنش شوری ۷/۴۲- بار به‌دست آمد (جدول ۴).

تنش‌های شوری و کم‌آبی، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز گندم را نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۴). کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز مربوط به شاهد و بیشترین آن مربوط به تیمار تنش شوری ۷/۴۲- بار بود (جدول ۵). همچنین در شرایط تیمار تنش کم‌آبی ۴/۹۴- بار، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نسبت به شرایط ۲/۴۷- بار افزایش معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به تیمار تنش کم‌آبی ۷/۴۲- بار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش تنش کم‌آبی، سبب افزایش میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز گندم شد. به‌نظر می‌رسد که تحت شرایط تنش شوری، افزایش سطوح غلظت کلریدسدیم می‌تواند باعث ایجاد افزایش معنی‌دار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز گندم نسبت به شرایط شاهد شود (جدول ۵). همچنین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در تیمار تنش شوری ۲/۴۷- بار با تیمار تنش کم‌آبی ۲/۴۷- بار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۵).

میزان پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گندم با افزایش تنش شوری و خشکی، سبب افزایش معنی‌دار آن شد. به نظر می‌رسد علت افزایش تولید پروتئین محلول در شرایط تنش، ساخت پروتئین‌های شوک حرارتی است. پروتئین‌های شوک حرارتی، پروتئین‌هایی هستند که در زمان تنش مانع از تغییر ساختار سایر پروتئین‌ها در اثر تنش می‌شوند (Mu *et al.*, 2013). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و

میزان پروتئین محلول می‌تواند عامل مهمی در بالا بردن میزان مقاومت گیاهان به تنش باشد. پروتئین این توانایی را دارد که از مرگ سلول‌ها در برابر تنش جلوگیری کند و افزایش پروتئین با تحمل به خشکی همراه می‌باشد (Sanjari Pireivatlou *et al.*, 2010). ساریام و همکاران (Sariam *et al.*, 2002) گزارش کردند که تجمع یون سدیم تحت تأثیر تنش شوری در برگ ارقام گندم منجر به افزایش تخریب غشاهای سلولی شد، در حالی‌که آنزیم پراکسیداز نقش بسزایی در کاهش فعالیت رادیکال‌های آزاد اکسیژن ناشی از تنش شوری و تجمع یون سدیم در برگ گیاهان زراعی دارد. ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها تحت شرایط تنش، به مقاومت گیاه بستگی دارد، زیرا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان نشان دهنده مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های مختلف است.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تأثیر منفی ناشی از افزایش سطوح تنش شوری در مقایسه با تنش کم‌آبی شدت بیشتری پیدا کرد که در نهایت باعث کاهش تولید ماده خشک اندام هوایی شد. اما تنش کم‌آبی منجر به افزایش رشد بیشتر ریشه و در نهایت افزایش وزن خشک ریشه گندم شد. تنش شوری منجر به افزایش محتوای سدیم اندام هوایی و ریشه و کاهش معنی‌دار محتوای پتاسیم نیز شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، به نظر می‌رسد که گندم در واکنش به تنش شوری و کم‌آبی، پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را افزایش می‌دهد و از این طریق، تحمل خود را در برابر تنش بهبود می‌بخشد.

References

Aebi, H. 1984. Catalase in vitro. **Methods in Enzymology** 105: 121-126.

Ashraf, M. and Foolad, M. R. 2007. Improving plant abiotic-stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. **Environmental and Experimental Botany** 59: 206-216.

Ashraf, M. and Harris, P. J. C. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science** 166 (1): 3-16.

Bogdan, J. and Zagdanska, B. 2006. Changes in the pool of soluble sugars induced by dehydration at the heterotrophic phase of growth of wheat seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry** 44: 787-794.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** 72: 248-254.

Cairns, J. E., Sonder, K., Zaidi, V. N., Mahuku, G., Babu, R., Nair, S. K., Das, B., Govaerts, B., Vinayan, M. T., Rashid, Z., Noor, J. J., Devi, P., San Vicente, F. and Prasanna, B. M. 2012. Maize production in a changing climate: impacts, adaptation, and mitigation strategies. **Advances in Agronomy** 114: 1-58.

Dadkhah, A. 2010. Salinity effect on germination and seedling growth of four medicinal plants. **Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants** 26: 358-369. (In Persian with English Abstract).

Darvishi, B., Poustini, K. and Tavakol Afshari, R. 2009. Ion distribution pattern in various alfalfa (*Medicago sativa* L.) organs respect to phytomass under saline conditions. **Iranian Journal of Field Crop Science** 40: 31-43. (In Persian with English Abstract).

Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J. I. 2014. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science** 19: 371-379.

Demiral, T. and Turkan, I. 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany** 53 (3): 247-257.

Ferreira-Silva, S. L., Silveira, J., Voigt, E., Soares, L. and Viegas, R. 2008. Changes in physiological indicators associated with salt tolerance in two contrasting cashew rootstocks. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 20: 51-59.

Hadi, M. R., Khoush Kholgh, S., Khavarinezhad, N. A., Khayam, R. A. and Nekouei, S. M. 2008. The effect of elements accumulation on salinity tolerance in seven genotype durum wheat (*Triticum*

turgidum L.) collected from the of middle east**. Iranian Journal of Biology** 21: 326-340. (In Persian with English Abstract).

Hajlaoui, H., El Ayeb, N., Garrec, J. P. and Denden, M. 2010. Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties. **Industrial Crops and Products** 31: 122-130.

Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. M. and Bohnert, H. J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** 51: 463-499.

Hoagland, D. R. and Arnon, D. S. 1950. The water culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experiment Station Extension** 347: 1-32.

Hosseini, H. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Effect of water and salinity stress in seed germination on Isabgol (*Plantago ovata*). **Iranian Journal of Field Crops Research** 4: 15-22. (In Persian with English Abstract).

Houshmand, S., Arzani, A., Maibody, S. A., and Feizi, M. 2005. Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments. **Field Crop Research** 91: 345-354.

Kesahvarznia, R., Shahbazi, M., Mohammadi, V., Hosseini Salekdeh, G. and Ahmadi, A. 2015. The impact of barley root structure and physiological traits on drought response. **Iranian Journal of Field Crops Research** 45: 553-563. (In Persian with English Abstract).

Khan, M. H. and Panda, S. K. 2008. Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl- salinity stress. **Acta Physiologiae Plantarum** 30: 81-91.

Kosara, F., Akrama, N. A. and Ashraf, M. 2015. Exogenously-applied 5-aminolevulinic acid modulates some key physiological characteristics and antioxidative defense system in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under water stress. **South African Journal of Botany** 96: 71-77.

Kronzucker, H. J. and Britto, D. T. 2011. Sodium transport in plants: A critical review. **New Phytologist Journal** 189: 54-81.

Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp R. E. 1992. Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue I. spatial distribution of ionically bound peroxidase activity in genotypes differing in length of the elongation zone. **Plant Physiology** 99: 872-878.

Mu, C., Zhang, S., Yu, G., Chen, N., Li, X. anf Liu, H. 2013. Overexpression of small heat shock protein LimHSP16.45 in Arabidopsis enhances tolerance to abiotic stresses. **Plos One Journal** 8: e82264.

Nedjimi, B. and Daoud, Y. 2009. Ameliorative effect of CaCl2 on growth, membrane permeability and nutrient uptake in *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* grown at high (NaCl) salinity. **Desalination** 249 (1): 163-166.

Okcu, G., Kaya, M. D. and Atak, M. 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum Sativum* L.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry** 29: 237-242.

Patterson, B., Macrae, E. and Ferguson, I. 1984. Estimation of hydrogen peroxide in plant extracts using titanium (IV). **Analytical Biochemistry** 139 (2): 487-492.

Pyngrope, S., Bhoomika, K. and Dubey, R. S. 2012. Oxidative stress, protein carbonylation, proteolysis and antioxidative defense system as a model for depicting water deficit tolerance in Indica rice seedlings. **Plant Growth Regulation** 69: 149-165.

Reynolds, M. P., Mujeeb-kazi, A. and Sawkins, M. 2005. Prospects for utilizing plant- adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought and salinity prone environments. **Annals of Applied Biology** 146: 239-259.

Hosseini Salekdeh, G., Reynolds, M., Bennett, J. and Boyer, J. 2009. Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. **Trends in Plant Science** 14: 488-496.

Sanjari Pireivatlou, A., Dehdar Masjedlou, B. and Aliyev, R. T. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. **African Journal of Agricultural Research** 5: 2829-2836.

Sariam, R. K., Rao, K. V. and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science** 163: 1037-1046.

Tuberosa, R. 2011. Phenotyping for drought tolerance of cropin the genomics era: Key concepts, issues and approaches. **Frontiers in Physiology Journal** 3: 1-26.

Tuna, A. L., Kaya, C., Ashraf, M., Altunlu, H., Yokas, L. and Yagmur, E. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany** 59: 173-178.

Yazici, I., Turkan, F., Sekmen, A. H. and Demiral, T. 2007. Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. **Environmental and Experimental Botany** 61: 49-57.

Zhang, Y., Lin, X., Zhang, Y., Zhang, S. J. and Du, S. 2005. Effects of nitrogen levels and nitrate/ammonium ratio on oxalate concentration of different forms in edible parts of spinach (*Spinacia oleracea* L.). **Journal of Plant Nutrition** 28: 2011-2025.

Zheng, Y., Aijun, J., Tangyuan, N., Xud, J., Zengjia, L. and Gaoming, J. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. **Journal of Plant Physiology** 165: 1455-1465.

University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 6, No. 4, Winter 2017 (465-476)

Comparison of the effect of water deficit and salt stresses on the growth, sodium and potassium content of wheat (*Triticum aestivum* L.)

Mahmood Attarzadeh[1*], Mohsen Movahhedi Dehnavi[2] and Mohammadreza Ghaffarian Hedesh[1]

Received: October 10, 2015 Accepted: January 9, 2016

Abstract

To study the effect of water deficit and salinity stresses on morpho-physiological characteristics of wheat seedling cv. Flat, a pot experiment was conducted in completely randomized design with three replications in Faculty of Agriculture, University of Yasouj, Iran, in 2015. The studied treatments were seven treatments including three levels of each water deficit and salinity stresses with similar osmotic potential (-2.47, -4.94 and -7.42 bar) together with a control treatment (Hoagland solution). Salinity and drought stresses were applied using sodium chloride and polyethylene glycol 6000, respectively. The results showed that shoot dry weight significantly decreased under the effect of salinity and drought stresses compared to control treatment. Drought stress increased root dry weight of wheat, so that the highest root dry weight was observed in polyethylene glycol of -7.42 bar. The maximum and minimum sodium content of shoot and root obtained from -7.42 bar salinity and control, respectively which have not significant differences with drought stress levels. The salinity of -7.42 bar significantly reduced shoot and root potassium content. The highest shoot to root potassium ratio obtained form control and the lowest from -7.42 bar salinity stress. Protein content and catalase and peroxidase enzymes activity significantly increased by increasing the salinity and drought levels. In general, the results of this study showed that salinity compared to water stress have higher negative influence on wheat which reduces shoot and root dry weight.

Keywords: Catalase, Dry matter, Peroxidase, Soluble protein

1. Ph. D. Student, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2. Assoc. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
[*] Corresponding author: attarzadeh2012@yahoo.com