علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۴ (ص ۹۱-۸۳)

تأثیر سطوح مختلف نانوپتاس و پتاس معمولی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی دو رقم گندم در شرایط شوری

سیدمحمد علوی متین[1*]، افراسیاب راهنما [2] و موسی مسکرباشی[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱/۳۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹)

چکیده

پتاسیم، عامل مهمی در بهبود تحمل گیاهان به تنش‌های غیرزیستی نظیر تنش شوری به‌شمار می‌رود. به‌منظور بررسی تأثیر پتاسیم بر تحمل به شوری دو رقم گندم نان کویر (متحمل به شوری) و قدس (حساس به شوری)، آزمایشی گلدانی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک کامل تصادفی در سه تکرار با سطوح تیماری مختلف شامل شاهد، شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (کلرید سدیم)، شوری ۱۵۰ میلی‌مولار به‌همراه دو سطح ۳۰۰ و۴۵۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و دو سطح ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد انجام گرفت. کاربرد سطوح و منابع مختلف پتاسیم در شرایط تنش، سبب کاهش تأثیرات سوء ناشی از تنش شوری و در پی آن بهبود عملکرد دانه و اجزای آن، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع بوته، هدایت روزنه‌ای، و نیز کاهش غلظت Na^+ و افزایش غلظت K^+ و نسبت K^+/Na^+ برگ پرچم شد. به‌نظر می‌رسد وجود پتاسیم در شرایط شوری در مقایسه با نبود آن در این شرایط، از طریق رقابت با سدیم در جذب به‌وسیلهٔ گیاه سبب کاهش تأثیرات منفی تجمع سدیم در گیاه شده و از طریق تعدیل پتانسیل اسمزی و بهبود هدایت روزنه‌ای سبب حفظ فتوسنتز می‌شود و بدین ترتیب کاهش آثار تنش شوری بر عملکرد را در پی دارد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تحمل شوری، گندم.

مقدمه

تنش‌های محیطی از عوامل اصلی کاهش عملکرد گیاهان محسوب می‌شوند. در بین تنش‌های محیطی، تنش شوری از تهدیدهای مهم تولید پایدار محصولات زراعی در بسیاری از نقاط جهان است که از وجود بیش از اندازهٔ یون‌ها ناشی می‌شود (Ashraf *et al*., 2008). گندم گیاهی زراعی است که در مناطق وسیعی از جهان سازگاری دارد و از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا محسوب می‌شود (Satorre & Slafer, 1999). از نظر تحمل شوری، گندم گیاهی نیمه‌متحمل است و وقتی شوری خاک به حدود ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl (معادل ۸ دسی‌زیمنس بر متر) برسد، عملکرد آن کاهش خواهد یافت (Munns *et al*., 2006). شواهد نشان می‌دهد که وضعیت مواد معدنی گیاه، تأثیر زیادی در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی دارد (Marschner, 1995). در بین مواد معدنی، پتاسیم، عامل مهمی در کمک به بقای گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی به‌شمار می‌رود. توانایی تجمع یون

* تلفن: ۰۹۱۶۳۴۶۲۳۶۴
E-mail: sma.agronomy@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

پتاسیم در اندام‌های گیاه، سبب افزایش تحمل به خشکی و شوری می‌شود، زیرا پتاسیم جزء مواد فعال اسمزی است که به جذب آب در سلول و سراسر گیاه کمک می‌کند (Blum, 1988). تنش اسمزی و سمیت یونی ناشی از شوری می‌تواند رشد و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Munns & Tester, 2008; James *et al*., 2008). براساس نتایج تحقیقات، تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد و اجزای آن می‌شود. در همین راستا نیز تعداد پنجهٔ بارور (تعداد سنبله) از اجزای اصلی تعیین‌کنندهٔ عملکرد غلات دانه‌ای است و کاهش آن سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Gorham *et al*., 1985). غلظت‌های زیاد Na^+ ممکن است به پیری زودرس برگ و کاهش فعالیت فتوسنتزی منجر شود و در نهایت میزان آسمیلاسیون کربن و عملکرد دانه را کاهش دهد (James *et al*., 2006). مهم‌ترین دلیل کاهش فتوسنتز در شرایط شوری کاهش هدایت روزنه‌ای است که بلافاصله پس از آغاز تنش، کاهش‌می‌یابد (James *et al*., 2008; Rahnama *et al*., 2010).

مطالعهٔ تأثیرات توأم شوری و پتاسیم نشان داده است که کمبود پتاسیم، آثار منفی ناشی از شوری را در فرایند فتوسنتز افزایش می‌دهد (Degl'Innocenti, 2009). این عنصر با تأثیر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها و حفظ آماس سلولی سبب کاهش اتلاف آب در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی مصرف آب و کاهش اثر تنش می‌شود (Imas & Magan, 2000). همچنین مشخص شده که کاربرد پتاسیم، سبب بهبود چشمگیر تولید بیوماس در شرایط تنش شوری می‌شود (Maser *et al*., 2002; Kaya *et al*., 2001). در سایر مطالعات نیز گزارش شده که کاربرد پتاسیم به‌طور معنی‌داری موجب بهبود عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط شوری می‌شود (Heidari & Jamshidi, 2010). بنابراین، به‌نظر می‌رسد مصرف پتاسیم در شرایط تنش شوری به افزایش تحمل به شوری می‌انجامد و علاوه بر رفع علائم کمبود پتاسیم، سبب کاهش تأثیرات منفی شوری بر عملکرد و اجزای آن می‌شود.

امروزه استفاده از کودهای نانو در کشاورزی، شاید به‌دلیل آزادسازی آهسته و کنترل شدهٔ عناصر در نقطهٔ مناسبی از ریشه، جذب سریع‌تر، عدم آبشویی کودها و جذب کامل کود توسط گیاه به‌دلیل رهاسازی عناصر غذایی با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد تا حدودی سبب رفع محدودیت‌های تکنیکی کاربرد کودهای شیمیایی معمول شده و چشم‌اندازهای جدیدی را در راستای افزایش بازده مصرف کود ایجاد کرده است. در همین راستا، به‌نظر می‌رسد کودهای نانوپتاس به دلیل جذب سریع‌تر نسبت به کودهای پتاسیمی معمول تأثیرات سریع‌تری را از خود نشان دهند. با توجه به موارد یادشده، هدف این مطالعه بررسی تأثیر سطوح مختلف نانوپتاس و پتاسیم معمولی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی دو رقم گندم نان در شرایط شوری است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت یک آزمایش گلدانی فاکتوریل و بر پایهٔ طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دو رقم گندم نان (کویر و قدس) و شوری به‌همراه نوع و مقادیر مختلف پتاسیم (شاهد (C)، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (S)، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌همراه دو سطح ۳۰۰ (STK_1) و ۴۵۰ (STK_2) میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به‌همراه دو سطح ۳۰ (SNK_1) و ۴۵ (SNK_2) میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد) بود. بذرهای هم‌اندازه و هم‌وزن پس از ضدعفونی توسط قارچ‌کش ویتاواکس (غلظت یک در هزار) در گلدان‌های حاوی مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه (با نسبت ۱:۲) در اوایل آذر کشت شدند. نیازهای کودی خاک با توجه به نتایج آزمون خاک و حدود بحرانی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به خاک اضافه شد (جدول ۱). برای تأمین پتاسیم، مقدار پتاسیم لازم تا رسیدن به سطح تیمار مورد نظر با توجه به وزن خاک گلدان‌ها محاسبه و به خاک گلدان‌های تیمار اضافه شد. در هر گلدان ۱۲ بذر کشت شد. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، از طریق تنک‌کردن تعداد به پنج بوته در هر گلدان کاهش یافت. تیمار شوری در مرحلهٔ چهاربرگی اعمال شد و تا ابتدای

Archive of SID

www.SID.ir

مرحلهٔ خمیری دانه تداوم یافت (Rahnama *et al.*, 2011). گیاهان شاهد نیز با آب معمولی با هدایت الکتریکی حدود ۲ دسی‌زیمنس بر متر آبیاری شدند. به‌منظور کنترل هدایت الکتریکی خاک، هدایت الکتریکی خاک گلدان‌های تیمار شوری به‌صورت هفتگی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (Model, Level 1, wtw, Weilheim, GermanyInolab) اندازه‌گیری شد و هدایت الکتریکی بستر کاشت با افزودن آب خالص یا محلول نمک به مقدار مطلوب در حدود ۱۴-۱۲ دسی زیمنس بر متر برای سطح شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حفظ شد.

جدول ۱. نتایج مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کاشت

مواد آلی (درصد)	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت -
۰/۵۳	۱۳۵	۱۱/۸	۰/۰۳۸	۷/۵	۳/۲۱	شنی لومی

سه هفته پس از تیمار شوری، هدایت روزنه‌ای به‌وسیلهٔ دستگاه پرومتر Delta-T AP4 (Delta-T Devices Ltd, Burwell, UK) اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی کامل بوته‌ها، پنج بوته از هر واحد آزمایشی در هر تکرار و در مجموع پانزده بوته برداشت شد و به‌مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. سپس خصوصیات مورفولوژیک شامل عملکرد بیولوژیک بوته، ارتفاع بوته و عملکرد دانهٔ هر بوته و اجزای آن شامل طول سنبلهٔ اصلی، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزاردانه اندازه‌گیری شد. غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ پرچم نیز به‌وسیلهٔ دستگاه فلیم فتومتر به روش Hamada *et al.* (1994) اندازه‌گیری شد.

تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۱ و روش LSD انجام گرفت. ضرایب همبستگی نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۱۵ محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که بین سطوح مختلف پتاسیم در شرایط تنش شوری از نظر همهٔ صفات مورد مطالعه در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت. بین ارقام نیز به‌جز صفت ارتفاع بوته، برای وزن هزاردانه در سطح ۵ درصد و برای سایر صفات در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بر همکنش سطوح مختلف پتاسیم و ارقام برای صفات عملکرد دانه، وزن هزاردانه، غلظت یون‌های Na^+ و K^+ در سطح ۱ درصد و برای عملکرد بیولوژیک در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). براساس نتایج تجزیهٔ واریانس مقایسه‌های گروهی، بین شوری و سطوح مختلف پتاسیم نیز برای همهٔ صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵).

عملکرد دانه

عملکرد دانه به‌عنوان محصول پایانی فرایند تولید مواد فتوسنتزی در پاسخ به تنش شوری به‌طور معنی‌داری در هر دو رقم گندم کاهش یافت (جدول ۳)؛ اگرچه کاهش عملکرد رقم قدس به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم کویر بود (شکل ۱-الف). کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری در هر دو سطح سبب بهبود عملکرد هر دو رقم در مقایسه با تیمار تنش شوری بدون کاربرد پتاسیم شد، اما پاسخ ارقام به کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری یکسان نبود (جدول‌های ۵ و ۶). در رقم کویر این افزایش در سطوح اول سولفات پتاسیم و نانوپتاس به‌طور معنی‌داری بیشتر از سطوح بالاتر بود، درحالی که در رقم قدس کاربرد سطوح دوم پتاسیم تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه داشت (شکل ۱-الف). به‌نظر می‌رسد این رقم به‌دلیل حساسیت زیاد به تنش شوری، می‌تواند از سطوح بالای پتاسیم در جهت کاهش آثار نامطلوب شوری به‌طور مناسب‌تری بهره‌برداری کند. براساس نتایج مقایسهٔ گروهی، تفاوت معنی‌داری بین کاربرد نانوپتاس و پتاس معمولی از نظر عملکرد دانه مشاهده نشد (جدول ۶)، و این امر بهرهٔ اقتصادی استفاده از مقادیر کم کودهای نانوپتاس با تأثیرگذاری معادل آنها با کودهای پتاس معمولی را توجیه می‌کند. همبستگی منفی و معنی‌دار بین عملکرد

Archive of SID

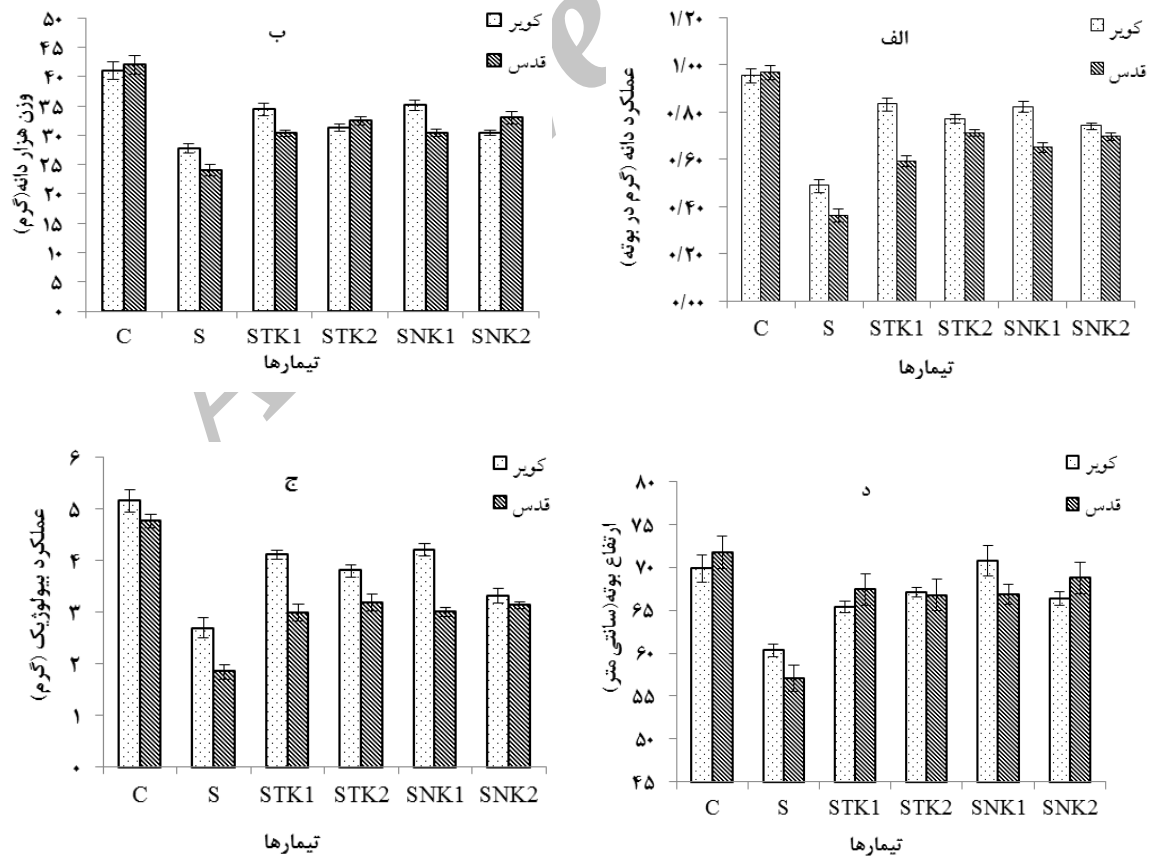
www.SID.ir

دانه و غلظت یون Na^+ برگ‌ها ($r=-0/904^{**}$) (جدول ۴) نشان می‌دهد که تجمع Na^+ در برگ به‌عنوان مهم‌ترین منبع تولید مواد فتوسنتزی، سبب کاهش انتقال و تجمع آن در دانه‌ها می‌شود و در نهایت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. مقادیر زیاد یون Na^+ در برگ ارقام حساس به تنش در مقایسه با ارقام متحمل، مؤید کاهش بیشتر عملکرد دانهٔ ارقام حساس در مقایسه با ارقام متحمل، در شرایط تنش شوری است (Rahnama *et al*., 2011; James *et al*., 2006). پتاسیم با کاهش تأثیرات منفی ناشی از شوری بر فرایند فتوسنتز Degl'Innocenti, (2009) و کاهش تأثیرات اسمزی ناشی از شوری (Blum, 1988) سبب بهبود عملکرد در شرایط تنش می‌شود. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه و غلظت K^+ ($r=0/837$) (جدول۴) نیز به‌نظر می‌رسد تأثیرات مثبت پتاسیم بر کاهش آثار منفی شوری بر عملکرد دانه را تاحدودی بیان کند.

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس تیمارهای مختلف بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط شوری

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	عملکرد دانه	وزن هزاردانه	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	عملکرد بیولوژیک	ارتفاع بوته	هدایت روزنه‌ای	غلظت Na^+	غلظت K^+	نسبت K^+/Na^+
بلوک	۲	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۳۰^{ns}	۱/۲۱^{ns}	۰/۰۴۷^{ns}	۲/۶۶^{ns}	۶۷۷^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۲۷^{ns}	۱/۰۴^{ns}
رقم	۱	۰/۰۹۸**	۱۵/۲۱*	۲/۱**	۳۱/۳**	۴/۷۹**	۰/۳۴^{ns}	۸۱۳۰**	۵/۳۵**	۲۱**	۳۷/۹**
تیمار آزمایشی	۵	۰/۱۷۴**	۱۵۱/۲**	۱/۴۱**	۵/۹۱**	۴/۵۰**	۱۰۲/۹**	۱۴۵۸۸**	۴/۶۱**	۱۳۳/۴**	۱۳۹/۳**
رقم × تیمار آزمایشی	۵	۰/۰۱۲**	۱۵/۵۵**	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۲۴*	۱۱/۷^{ns}	۴۲۶^{ns}	۰/۴۲**	۶/۴۵**	۱/۴۲^{ns}
خطای آزمایشی	۱۲	۰/۰۰۱	۳/۶۶	۰/۱۶	۰/۸۵	۰/۰۵	۵/۷	۴۵۵	۰/۰۲	۰/۵	۰/۵۸
ضریب تغییرات (٪)		۵/۹۲	۵/۸	۵/۶	۸/۱	۷/۸	۳/۶	۸/۹	۵/۱	۵/۷	۱۴

*، **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، ns : غیرمعنی‌دار



شکل ۱. تأثیر سطوح مختلف نانوپتاس (SNK) و سولفات پتاسیم (STK) بر عملکرد دانه (الف)، وزن هزاردانه (ب)، عملکرد بیولوژیک (ج)، ارتفاع بوتهٔ (د) دو رقم گندم نان در شرایط تنش شوری (نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار است).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد و برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط شوری

ارقام	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن هزاردانه (گرم)	طول سنبله (سانتی‌متر)	تعداد سنبلچه در سنبله	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	هدایت روزنه‌ای (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)	غلظت Na^+ (میلی‌گرم برگرم)	غلظت K^+ (میلی‌گرم بر گرم)	نسبت K^+/Na^+
کویر	۰/۷۶۸ a	۳۳/۳۵ a	۹/۶۰ a	۱۳/۸۱ a	۳/۸۷۸ a	۶۶/۶۱ a	۲۳۸a	۲/۲۴b	۱۶/۹a	۸/۶۱a
قدس	۰/۶۶۳ b	۳۲/۰۲ b	۹/۱۱ b	۱۱/۹۴ b	۳/۱۴۸ b	۶۶/۴۲ a	۲۰۸b	۳/۰۱a	۱۵/۳b	۶/۵۶b
تیمارها										
C	۰/۹۶a†	۴۱/۵a	۹/۷a	۱۴a	۴/۹۶a	۷۰/۸a	۲۹۳a	۱/۳ e	۲۱ a	۱۶/۲a
S	۰/۴۲c	۲۵/۹c	۸/۴c	۱۱c	۲/۲۶d	۵۸/۷c	۱۵۲d	۳/۹۸a	۸/۶ e	۲/۲۸e
STK_1	۰/۷۱b	۳۲/۴b	۹/۲b	۱۳ab	۳/۵۴b	۶۶/۳b	۲۵۲b	۲/۹۷b	۱۲/۷d	۴/۵d
STK_2	۰/۷۴b	۳۱/۹b	۹/۵ab	۱۳/۱ab	۳/۴۸bc	۶۶/۹b	۲۰۴c	۲/۵۹c	۱۹/۴b	۷/۶b
SNK_1	۰/۷۳b	۳۲/۷b	۹/۷a	۱۳/۲ab	۳/۶b	۶۸/۷ab	۲۴۱b	۲/۶۳c	۱۵/۹c	۶/۲c
SNK_2	۰/۷۱b	۳۱/۷b	۹/۵ab	۱۲/۷b	۳/۲۱c	۶۷/۵b	۱۹۶c	۲/۲۸d	۱۹/۱b	۸/۵b

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

شاهد (C)، شوری (S)، شوری و نانوپتاس (SNK)، شوری و سولفات پتاسیم (STK)

جدول ۴. ضریب همبستگی بین عملکرد و برخی صفات و مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط تیمار پتاسیم و شوری

صفات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱. عملکرد دانه	۱									
۲. عملکرد بیولوژیک	۰/۹۲۹**	۱								
۳. وزن هزاردانه	۰/۸۷۳**	۰/۸۷۳**	۱							
۴. ارتفاع بوته	۰/۷۶۶**	۰/۶۷۲**	۰/۶۷۴**	۱						
۵. طول سنبله	۰/۷۸۶**	۰/۶۹۶**	۰/۵۵۸**	۰/۷۶۷**	۱					
۶. تعداد سنبلچه در بوته	۰/۷۵۲**	۰/۷۵۴**	۰/۵۱۹**	۰/۶۰۷**	۰/۷۴۵**	۱				
۷. غلظت Na^+	-۰/۹۰۴**	-۰/۸۸۱**	-۰/۸۲۰**	-۰/۷۲۹**	-۰/۷۲۰**	-۰/۷۲۵**	۱			
۸. غلظت K^+	۰/۸۳۷**	۰/۷۱۹**	۰/۷۰۸**	۰/۶۷۶**	۰/۶۶۸**	۰/۵۵۸**	-۰/۸۳۴**	۱		
۹. نسبت K^+/Na^+	۰/۸۴۳**	۰/۸۳۶**	۰/۸۳۸**	۰/۶۱۷**	۰/۵۶۴**	۰/۵۸۸**	-۰/۸۹۵**	۰/۸۲۵**	۱	
۱۰. هدایت روزنه‌ای	۰/۷۹۳**	۰/۸۴۲**	۰/۷۹۸**	۰/۶۶۸**	۰/۵۹۰**	۰/۶۰۶**	-۰/۷۳۴**	۰/۴۹۰**	۰/۶۴۶**	۱

*،**: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد.

جدول ۵. تجزیهٔ واریانس مقایسات‌گروهی تیمارهای مختلف بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط شوری

	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن هزاردانه (گرم)	طول سنبله (سانتی‌متر)	سنبلچه در سنبله	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	هدایت روزنه‌ای (میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت Na^+ (میلی‌گرم بر گرم)	غلظت K^+ (میلی‌گرم بر گرم)	نسبت K^+/Na^+
بلوک	۰/۰۰۲	۰/۲۴	۰/۳	۱/۲	۰/۰۴۷	۲/۶	۶۷۳	۰/۰۲	۰/۲۷	۱/۰۴
تیمار	۰/۱۷**	۱۵۱**	۱/۴**	۵/۹*	۴/۵**	۱۰۳**	۱۴۵۹۰**	۴/۶	۱۳۳**	۱۳۹**
مقایسهٔ T_1 با(T_2 تا T_6)	۰/۴۳**	۵۶۳**	۰/۹۲*	۱۰/۴*	۱۵/۱**	۱۳۲**	۳۵۲۵۲**	۱۲/۶**	۱۶۸**	۵۴۴**
مقایسهٔ T_2 با (T_3 تا T_6)	۰/۴۳**	۱۸۹**	۵/۴**	۱۸**	۶/۹**	۳۶۳**	۲۴۱۱۱**	۹**	۳۲۲**	۹۵**
مقایسهٔ T_1 با T_2	۰/۸۵**	۷۳۳**	۴/۹**	۲۷**	۲۱/۸**	۴۳۹**	۵۹۳۶۱**	۲۱/۶**	۴۵۸**	۵۸۸**
مقایسهٔ (T_4،T_3) با (T_6 ،T_5)	۰/۰۰ns	۰/۰۲ns	۰/۲۴ns	۰/۰۴ns	۰/۰۷ns	۱۳/۸ns	۵۶۰ns	۰/۶۲ns	۱۳*	۱۰*
خطای آزمایش	۰/۰۰۶	۵/۷	۰/۲۲	۱/۸	۰/۲۶۴	۷/۲۲	۸۰۱	۰/۲۸	۲/۲	۲/۲
ضریب تغییرات	۱۱/۶	۷/۳	۵	۱۰	۱۴/۶	۴	۱۲/۶	۲۰	۹/۲	۱۹/۵

* T_1= شاهد، T_2= شوری، T_3 = سطح اول سولفات پتاسیم، T_4=سطح دوم سولفات پتاسیم، T_5= سطح اول نانوپتاس، T_6=سطح دوم نانوپتاس.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین‌گروهی تیمارهای مختلف در برخی صفات مورفوفیزیولوژیک دو رقم گندم در شرایط شوری

	عملکرد دانه (گرم در بوته)	وزن هزاردانه (گرم)	طول سنبله (سانتی‌متر)	سنبلچه در سنبله	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	هدایت روزنه‌ای (میکرو مول بر مترمربع بر ثانیه)	غلظت Na^+ (میلی‌گرم بر گرم)	غلظت K^+ (میلی‌گرم بر گرم)	نسبت K^+/Na^+
تیمارها										
C	۰/۹۶a†	۴۱/۵a	۹/۷a	۱۴a	۴/۹۶a	۷۰/۸a	۲۹۳a	۱/۳ e	۲۱ a	۱۶/۲a
S	۰/۴۲c	۲۵/۹c	۸/۴c	۱۱c	۲/۲۶d	۵۸/۷c	۱۵۲d	۳/۹۸a	۸/۶ e	۲/۲۸e
STK_1	۰/۷۱b	۳۲/۴b	۹/۲b	۱۳ab	۳/۵۴b	۶۶/۳b	۲۵۲b	۲/۹۷b	۱۲/۷d	۴/۵d
STK_2	۰/۷۴b	۳۱/۹b	۹/۵ab	۱۳/۱ab	۳/۴۸bc	۶۶/۹b	۲۰۴c	۲/۵۹c	۱۹/۴b	۷/۶b
SNK_1	۰/۷۳b	۳۲/۷b	۹/۷a	۱۳/۲ab	۳/۶b	۶۸/۷ab	۲۴۱b	۲/۶۳c	۱۵/۹c	۶/۲c
SNK_2	۰/۷۱b	۳۱/۷b	۹/۵ab	۱۲/۷b	۳/۲۱c	۶۷/۵b	۱۹۶c	۲/۲۸d	۱۹/۱b	۸/۵b

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

شاهد (C)، شوری (S)، شوری و نانوپتاس (SNK)، شوری و سولفات پتاسیم (STK)

وزن هزاردانه

وزن هزاردانه به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳) (شکل۱-ب) و این کاهش در رقم حساس قدس به‌طور چشمگیری بیشتر از رقم کویر بود. کاربرد سطوح پتاسیم در شرایط تنش شوری سبب بهبود وزن هزاردانهٔ ارقام در مقایسه با تیمار تنش شوری بدون کاربرد پتاسیم شد (جدول ۶). پاسخ هر دو رقم به سطوح مختلف پتاسیم و نانوپتاس مشابه پاسخ عملکرد دانه بود (شکل۱-ب). کاهش وزن هزاردانه و در پی آن کاهش عملکرد می‌تواند ناشی از محدودیت منبع یا محدودیت مخزن در شرایط تنش باشد. براساس نتایج مقایسهٔ گروهی نیز بین نوع تیمارهای پتاسیم، تفاوت معنی‌داری از نظر وزن هزاردانه مشاهده نشد (جدول ۶). همبستگی منفی و معنی‌دار بین وزن هزاردانه و غلظت یون Na^+ برگ ($r=-۰/۸۲۰^{**}$) (جدول ۴) نیز به این مهم اشاره می‌کند. تنش شوری از طریق صدمه به برگ، سبب کاهش فتوسنتز برگ، کاهش وزن دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (James *et al*., 2002). افزایش غلظت پتاسیم برگ با تأثیر بر فرایندهای فتوسنتز در شرایط تنش شوری (Degl'Innocenti, 2009) و نیز افزایش رشد و تقسیم سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه‌ها سبب افزایش اندازهٔ دانه و وزن هزاردانه می‌شود (Karim *et al*., 2004). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن هزاردانه و نسبت بالای K^+/Na^+ برگ ($r=۰/۸۳۶^{**}$) (جدول ۴) بر تأثیر پتاسیم در کاهش آثار شوری بر وزن هزاردانه تأکید می‌کند.

طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله

طول سنبله و تعداد سنبلچه در سنبله از پارامترهای مؤثر بر عملکرد هستند که با اعمال تنش شوری در هر دو رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند و این کاهش در رقم قدس در شرایط شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم کویر بود (جدول ۳). کاربرد پتاسیم در شرایط تنش سبب کاهش آثار شوری بر این دو پارامتر شد (جدول ۶). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین غلظت K^+ برگ با طول سنبله ($r=۰/۶۶۸^{**}$) و تعداد سنبلچه ($r=۰/۵۵۸^{**}$) (جدول ۴) تأثیر پتاسیم را در شرایط شوری نشان می‌دهد. پتاسیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مواد مغذی برای رشد و توسعهٔ بافت از طریق افزایش انتقال کربوهیدرات‌های محلول و نیز پتانسیل اسمزی در طی مرحلهٔ طویل شدن سنبله، سبب افزایش طول سنبله (Krumm *et al*., 1990) و تعداد سنبلچه در سنبله (Singh & Jain, 2000) و در نهایت افزایش عملکرد دانه می‌شود.

عملکرد بیولوژیک

تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در هر دو رقم شد و منطبق بر کاهش عملکرد و اجزای آن، این کاهش در رقم قدس به‌طور چشمگیری بیشتر از رقم کویر بود (جدول ۳؛ شکل۱-ج). کاهش آثار شوری بر عملکرد بیولوژیک از طریق کاربرد پتاسیم در هر دو رقم به‌طور معنی‌داری قابل مشاهده بود (جدول ۶). افزایش عملکرد بیولوژیک رقم کویر در سطح دوم نانوپتاس در مقایسه با سطح اول کمتر بود، درحالی که در رقم قدس

Archive of SID

www.SID.ir

بین سطوح و منابع مختلف پتاسیم از نظر عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل۱-ج).

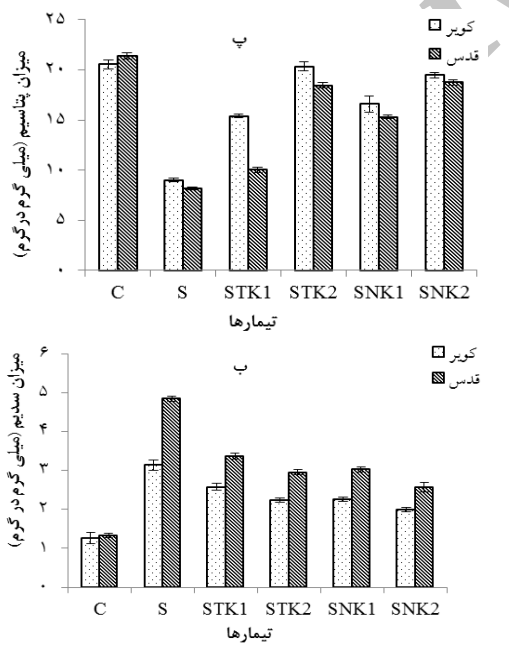
همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد بیولوژیک و غلظت Na^+ (r=-۰/۸۸۱**) (جدول ۴) نشان می‌دهد که عملکرد بیولوژیک منطبق بر عملکرد دانه، با افزایش غلظت Na^+ کاهش می‌یابد. بخش بزرگ کاهش زیست‌توده ناشی از کاهش پنجه در شرایط تنش شوری است. پتاسیم با کاهش تأثیرات سوء ناشی از تجمع یون Na^+ (Maser, 2002; Rasioer *et al.*, 2001) سبب افزایش مقادیر زیست‌توده می‌شود. همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد بیولوژیک با نسبت بالای K^+/Na^+ (r=۰/۸۳۶**) (جدول ۴) مؤید تأثیرات مثبت این مادهٔ معدنی در کاهش آثار شوری است.

ارتفاع بوته

ارتفاع بوتهٔ هر دو رقم در اثر تنش شوری به‌طور معنی داری کاهش یافت (جدول ۳؛ شکل۲-الف)، و این کاهش در رقم قدس به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم کویر بود. پتاسیم به‌طور معنی داری سبب افزایش ارتفاع بوته در شرایط شوری شد (جدول ۶) (شکل۱-د). در زمینهٔ اهمیت ساقهٔ اصلی در شرایط تنش شوری، نتایج نشان داد که ارتفاع ساقهٔ اصلی با عملکرد دانه (r=۰/۷۶۶**) و نسبت بالای K^+/Na^+ (r=۰/۶۱۷**) همبستگی مثبت و معنی‌دار و با میزان Na^+ برگ (r=-۰/۶۸۳**) همبستگی منفی و معنی‌دار داشت (جدول ۴). پتاسیم از طریق تنظیم اسمزی و حفظ پتانسیل آب لازم برای رشد و تقسم سلولی از کاهش ارتفاع ساقه جلوگیری می‌کند (Marschner, 1995). اگرچه طول پدانکل به‌عنوان منبع مهم ذخیرهٔ مواد فتوسنتزی، عامل مهمی در پر شدن دانه در طی مراحل پس از گرده‌افشانی به‌شمار می‌رود (Bonnett & Incoll, 1992).

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای به‌عنوان شاخص مهم تعیین تنش اسمزی و از عوامل محدودکنندهٔ فتوسنتز، با اعمال تنش شوری در هر دو رقم کاهش یافت (James *et al.*, 2008; Rahnama *et al.*, 2010). میزان هدایت روزنه‌ای برگ پرچم رقم کویر در شرایط شوری به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم قدس بود. کاربرد سطوح و منابع مختلف پتاسیم به‌طور معنی‌داری سبب بهبود این پارامتر در مقایسه با تیمار شوری شد. تأثیر مثبت سطوح اول پتاسیم بیشتر از سطوح دوم بود و این مهم برای رقم کویر تأثیرات مطلوب‌تری در مقایسه با رقم قدس داشت (جدول ۶) (شکل۲-الف). همبستگی مثبت و معنی‌دار هدایت روزنه‌ای برگ پرچم با عملکرد بیولوژیک (r=۰/۸۴۲) و عملکرد دانه (r=۰/۷۹۳) نشان می‌دهد که با کاهش هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه تولید مادهٔ خشک و عملکرد دانه کم می‌شود (جدول ۴). بنابراین، پتاسیم سبب کاهش تأثیرات تنش اسمزی ناشی از شوری می‌شود. اعمال سطوح بالای پتاسیم سبب کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت به سطوح پایین‌تر پتاسیم شد و این امر در شرایط بدون تنش نیز مشاهده شده بود (Alizadeh, 2011). مشخص شده که سطوح بالای پتاسیم از طریق ایجاد تأثیرات اسمزی در محیط خارج ریشه، سبب ایجاد تنش اسمزی در محیط اطراف ریشه شده و از این طریق سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت‌روزنه‌ای شده است (Rahnama *et al.*, 2010).



شکل ۲. تأثیر سطوح مختلف نانوپتاس (SNK) و سولفات پتاسیم (STK) بر مقدار سدیم (ب) و پتاسیم (پ) دو رقم گندم نان در شرایط تنش شوری (نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد میانگین سه تکرار است).

Archive of SID

www.SID.ir

غلظت و نسبت یون‌های Na^+ و K^+

تجمع سدیم در بافت‌ها و اندام‌های گیاهی در مواجهه با شوری کاملاً مشهود است. مقایسهٔ میانگین‌ها نیز افزایش معنی‌دار غلظت Na^+ برگ پرچم هر دو رقم را نشان داد که مقدار آن در رقم قدس به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم کویر بود. کاربرد پتاسیم به‌طور معنی‌داری سبب کاهش غلظت Na^+ برگ پرچم در شرایط شوری شد (جدول ۳؛ شکل۲-ب). تنش شوری همچنین سبب کاهش معنی‌دار غلظت K^+ برگ پرچم در هر دو رقم شد و کاربرد پتاسیم، به افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم هر دو رقم انجامید. این افزایش در سطوح دوم هر دو منبع پتاسیم به‌خصوص در رقم کویر بیشتر از سطوح اول پتاسیم بود (جدول ۶؛ شکل۲-پ). نسبت بالای K^+/Na^+ بافت‌های گیاهی به‌عنوان یک سازوکار فیزیولوژیکی مهم ایجاد تحمل شوری (Rahnama *et al*., 2011) به‌طور معنی‌داری در شرایط شوری به‌خصوص در رقم قدس کاهش یافت و کاربرد پتاسیم در تمام سطوح به‌طور مؤثری سبب افزایش این نسبت شد (جدول ۳). براساس نتایج مقایسهٔ گروهی، بین نوع تیمارهای مختلف پتاسیم تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت Na^+ برگ پرچم مشاهده شد (جدول ۶)، که این امر نشان می‌دهد پتاس معمولی در مقایسه با نانوپتاس، تأثیر بیشتری بر کاهش جذب سدیم داشته است و این یافته احتمالاً به‌دلیل مقادیر بیشتر پتاس معمولی در خاک با وجود تأثیر یکسان آن با کود نانوپتاس بر عملکرد دانه بوده است. به احتمال زیاد، قابلیت دسترسی متفاوت به پتاسیم در هر دو نوع کود، تأثیر زیادی در ایجاد این تفاوت‌ها دارد. همبستگی منفی و معنی‌دار غلظت Na^+ و K^+ ($r=-۰/۸۳۴$) (جدول ۴) بیانگر این است که در مکان‌های جذب و انتقال این دو یون در غشای پلاسمایی، رقابت مستقیمی وجود دارد و افزایش جذب K^+ می‌تواند مانع عبور Na^+ از محلول خارجی به گیاه شود (Epstein, 1966). در تحقیق حاضر نیز افزایش سطح تیمار پتاسیم سبب افزایش جذب K^+ و در نهایت کاهش جذب Na^+ شد. کاهش غلظت K^+ اندام هوایی گیاه در شرایط شوری در مطالعات متعددی گزارش شده است (Wei *et al*., 2003). رقم کویر در شرایط تنش شوری غلظت K^+ بیشتر و Na^+ کمتر و در نتیجه نسبت بیشتری از K^+/Na^+ را در خود حفظ کرده بود. در شوری شدید، گیاه با کنترل ورود و خروج یون‌ها، غلظت Na^+ درون سیتوپلاسم را کاهش می‌دهد و با ثابت نگه‌داشتن غلظت یون K^+، سطح نسبت Na^+/K^+ را پایین نگه می‌دارد (Francois *et al*., 1986).

نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادها

به‌طور کلی، پتاسیم از طریق رقابت با سدیم برای جذب و انتقال در گیاه، سبب کاهش آثار نامطلوب تجمع سدیم در گیاه شده و از طریق تعدیل پتانسیل اسمزی و بهبود هدایت روزنه‌ای سبب حفظ فتوسنتز در شرایط تنش شوری می‌شود و بدین ترتیب موجب کاهش تأثیرات تنش شوری بر عملکرد می‌شود. همچنین با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار بین کودهای پتاس معمولی و نانو از نظر خصوصیات عملکردی، به‌نظر می‌رسد قابلیت دسترسی به پتاسیم در کود نانوپتاس بیشتر از کود پتاس معمولی باشد و تنها بهرهٔ اقتصادی کود نانوپتاس، مقادیر کم مصرف آنها در خاک باشد. اگرچه، برای بررسی وضعیت این عناصر بر محیط زیست، کیفیت مواد غذایی و سلامت انسان پیشنهاد می‌شود که غلظت و مقدار ذرات نانوپتاس در دانه نیز بررسی شود.

Archive of SID

REFERENCES

1. Alizadeh, A. (2011). *Effect of potassium on biomass content, charbohydrate and grain filling period in two wheat cultivars (Triticum aestivum L.) in Ahwaz condition*. M. Sc. Dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran (In Farsi).
2. Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P. J. & Kwon, T. R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advance in Agronomy*, 97, 45-110
3. Blum, A. (1988). *Plant breeding for stress environments*. (CRC Press: Boca Raton, FL).
4. Bonnett, G.D. & Incoll, L.D. (1992). The potential pre-anthesis and pos-anthesis contributions of stem internodes to grain yield in crops of winter barley. *Annalas of Botany*, 69, 219- 225.
5. Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L. & Navari-Izzo, F. (2009). The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *Plant Physiolgy*, 166, 1968-1981.
6. Epstein, E. (1966). Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. *Nature*, 212, 324-7.

www.SID.ir

7. Francois, L. E., Maas, E. V., Donovan, T. J. &Youngs, V. L. (1986). Effect of salinity on grain yield and quality, vegetative growth, and germination of semi-dwarf and durum wheat. *Agronomy Journal*, 78, 1053-1058.
8. Gorham, R.G., Jones, W. & Donnell, E. M. (1985). Some mechanisms of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil*, 6, 15-40.
9. Hamada, A. M. & EL-enany, A. E. (1994). Effect of NaCl salinity on growth, pigment and mineral element contents, and gas exchange of broad bean and pea plants. *Biologia Plantarum*, 36, 75-81.
10. Heidari, M. & Jamshid, P. (2010). Interaction between salinity and potassium on grian yield, carbohydrate content and nutrient uptake in pearl millet. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5, 39-46.
11. Imas, P. & Magan, A. (2000). *Potash facts in brief*. International potash Institue (IPI). Potash Research Institue of India. WWW. IPIPOTASH.ORG.
12. James, R. A., Caemmerer, S. A., Condon, A. G., Zwaet, 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.
13. James, R. A., Davenport, R. J. & Munns, R. (2006). Physiological characterization of two genes for Na^+ exclusion in durum wheat, Nax1 and Nax2. *Plant Physiology*, 142, 1537-1547.
14. James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. & Caemmerer, S. V. (2002). Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 1393-1403.
15. Kaya, C., Kirnak, H. & Higgs, D. (2001). Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl). *Plant Nutrition*, 24, 1457-1471.
16. Krumm, M., Moazami, V. & Martin, P. (1990). Influence of potassium nutrition on concentrations of water soluble carbohydrates, potassium, calcium, and magnesium and the osmotic potential in sap extracted from wheat (*Triticumaestivum* L.) ears during preanthesis development. *Plant and Soil*, 124, 281-285.
17. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. Limited, London. Second edition. pp 861.
18. Maser, P., Gierth, M. & Schroeder, I. J. (2002). Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plant. *Plant and Soil*, 247, 43-54.
19. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-81.
20. 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.
21. Poustini, K. & Siosemardeh, A. (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, 85, 125-133.
22. Rahnama, A., Poustini, K., Tavakkol-Afshari, R., Ahmadi, A. & Alizadeh, H. (2011). Growth properties and ion distribution in different tissues of bread wheat genotypes (*Triticcumaestivum* L.) differing in salt tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(1), 21-30. doi:10.1111/j.1439-037X.2010.00437.x
23. Rahnama, A., James, R.A., Poustini, K. & Munns, R. (2010). Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. *Functional Plant Biology*, 37, 255-269.
24. Rascio, A., Russo, M., Mazzucco, L., Platani, C., Nicastro, G. & Di Fonzo, N. (2001). Enhanced osmotolerance of a wheat mutant selected for potassium accumulation. *Plant Science*, 160, 441-448.
25. Satorre, E. H. & Slafer, G. A. (1999). *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. The Haworth Press, New York, p: 503.
26. Singh, S. & Jain, M. C. (2000). Growth and yield response of traditional tall and improved semi-tall rice cultivars to moderate and high nitrogen, phosphorus and potassium levels. *Indian Journal of Plant Physiology*, 5, 38-46.
27. Wei, W., Bilsborrow, P. E., Hooley, P., Fincham, D., Lombi, A. E. & Forster, B. P. (2003). Salinity induced differences in growth, ion distribution and partitioning in barley between the cultivar Maythorpe and its derived mutant Golden Promise. *Plant and Soil*, 250, 183-191.

Archive of SID

www.SID.ir