

دانشگاه گیلان
دانشکده علوم کشاورزی

تحقیقات غلات

دوره پنجم/ شماره دوم/ تابستان ۱۳۹۴ (۱۸۷-۱۷۷)

اثر نوع و مقادیر مختلف کود پتاسیم بر صفات زراعی و فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری

سیدمحمد علوی متین^۱، افراسیاب راهنما^{۲*} و موسی مسکرباشی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۲ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۴)

چکیده

به منظور بررسی نقش پتاسیم در تحمل به تنش شوری دو رقم گندم دوروم (بهرنگ و یاواروس)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار تحت سطوح مختلف تیماری در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد بدون تنش، تنش شوری ۱۵۰ میلی-مولار (از منبع کلرید سدیم)، تنش شوری ۱۵۰ میلی-مولار به همراه دو سطح ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی-گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و دو سطح ۳۰ و ۴۵ میلی-گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع کلات پتاسیم ۲۷ درصد بود. نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، هدایت روزنه‌ای، میزان سبزیگی، محتوای آب نسبی و غلظت K^+ (به ترتیب به میزان ۶۸، ۵۱، ۵۸، ۲۲، ۱۵ و ۶۱ درصد) و افزایش غلظت Na^+ برگ پرچم (۳/۹ برابر) در مقایسه با شاهد شد. در مقابل، کاربرد انواع مختلف پتاسیم تحت شرایط شوری، منجر به کاهش آثار نامطلوب شوری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، هدایت روزنه‌ای، میزان سبزیگی، محتوای آب نسبی و غلظت K^+ (به ترتیب به میزان ۲۵، ۲۷، ۲۲، ۳۶، ۷ و ۳۵ درصد) و تجمع کمتر Na^+ (۲/۸ برابر) در مقایسه با شاهد شد. پاسخ ارقام گندم نیز به سطوح مختلف پتاسیم متفاوت بود، به طوری که در رقم بهرنگ سطوح دوم سولفات پتاسیم و نانو پتاس سبب کاهش عملکرد شد، ولی در رقم یاواروس عملکرد دانه تغییر نکرد. مقایسه دو رقم نیز نشان داد که رقم بهرنگ در پاسخ به شوری دارای تحمل بیشتری نسبت به رقم یاواروس بود. به طور کلی، به نظر می‌رسد که تحت شرایط تنش شوری، پتاسیم از طریق کاهش آثار نامطلوب تجمع سدیم، تعدیل پتانسیل اسمزی و محتوای آب نسبی و افزایش هدایت روزنه‌ای و نیز حفظ محتوای کلروفیل، سبب حفظ فتوسنتز شده و از این طریق سبب کاهش آثار نامطلوب تنش شوری بر عملکرد دانه گندم دوروم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد دانه، کلرید سدیم، محتوای آب نسبی، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

(*et al.*, 1995; Sairam and Srivastava, 2002).

میزان کلروفیل کل گیاه را کاهش می‌دهد، در حالی که پتاسیم از طریق افزایش سطح برگ و میزان کلروفیل (Evans, 1983) و کاهش تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر (Shen *et al.*, 2000) در بهبود فتوسنتز نقش دارد. تنش شوری، سبب کاهش محتوی آب نسبی گیاه نیز می‌شود (James *et al.*, 2002)، در حالی که پتاسیم نقش مهمی در حفظ محتوای آب نسبی در شرایط تنش شوری دارد (Subbarao *et al.*, 2000). مطالعه آثار توأم شوری و کمبود پتاسیم بر صفات رشدی جو نشان داده است که کمبود پتاسیم، آثار منفی ناشی از شوری را در فرآیند فتوسنتز گیاه جو افزایش می‌دهد (Degl'Innocenti *et al.*, 2009). نتایج برخی از مطالعات نیز نشان داده است که کاهش تولید زیست توده ناشی از شوری، به طور قابل توجهی می‌تواند با کاربرد کود پتاسیم جبران شود (Kaya *et al.*, 2001; Maser *et al.*, 2002). همچنین، آثار منفی تنش شوری به ویژه بر فتوسنتز می‌تواند از طریق تأمین مقادیر کافی پتاسیم کاهش یابد (Sangakkara *et al.*, 2000). بنابراین، به نظر می‌رسد که مصرف پتاسیم در خاک‌های شور موجب افزایش تحمل گیاه به شوری می‌شود و علاوه بر رفع علائم کمبود پتاسیم، آثار منفی شوری را نیز کاهش و عملکرد را افزایش می‌دهد.

امروزه استفاده از کودهای نانو در کشاورزی نویدبخش‌هایی از محدودیت‌های فنی استفاده از کودها شده است. نانو کودها به دلیل آزادسازی آهسته و کنترل شده عناصر در ناحیه مناسبی از ریشه، راندمان مصرف بالایی دارند. بهبود کارایی جذب، افزایش راندمان به دلیل سرعت جذب بیشتر، عدم اتلاف کودها به وسیله آبشویی و جذب کامل کود توسط گیاه به دلیل رهاسازی عناصر غذایی با سرعت مطلوب در تمام طول فصل رشد، از ویژگی‌های مطلوب این کودها محسوب می‌شود. در این راستا، به نظر می‌رسد کودهای نانو پتاس به دلیل جذب سریع‌تر نسبت به کودهای پتاس، آثار سریع‌تری را از خود نشان می‌دهند. با درک بهتر عوامل موثر بر عملکرد در شرایط تنش، می‌توان نسبت به مدیریت صحیح استفاده از کودها اقدام کرد. با توجه به نقش مهم پتاسیم در کاهش آثار نامطلوب شوری در گیاه، هدف از این آزمایش مقایسه کاربرد دو نوع کود پتاسیم بر برخی ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری بود.

تنش شوری یکی از تهدیدهای مهم در تولید پایدار محصولات زراعی در بسیاری از نقاط جهان است که از حضور بیش از اندازه یون‌ها ناشی می‌شود (Munns, 2002). پتاسیم نقش مهمی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند و به نظر می‌رسد که توانایی گیاه برای حفظ نسبت بالای K^+/Na^+ سیتوسولی برای تحمل شوری گیاه حیاتی باشد (Shabala and Cuin, 2008). تا کنون تلاش‌های اصلی به‌نژادگران گیاهان زراعی در جهت بهبود این نسبت از طریق کاهش جذب Na^+ و نیز کاهش انتقال آن به اندام هوایی بوده است، در حالی که هموستازی پتاسیم در بافت‌های گیاهی تحت شوری می‌تواند برای به‌نژادی به منظور تحمل شوری مورد استفاده قرار گیرد (Shabala and Cuin, 2008). در شرایط تنش شوری بخش زیادی از عدم توازن یون‌ها ناشی از تجمع Na^+ و کاهش جذب K^+ و در نتیجه تغییر نسبت K^+/Na^+ است. افزایش غلظت K^+ در محیط ریشه ممکن است تنش ناشی از وجود یون سدیم را تا حدودی خنثی کند (Maser *et al.*, 2002). در غلظت‌های بالای شوری، گیاهان با کنترل ورود و خروج یون‌ها، میزان غلظت Na^+ سیتوسولی را کاهش می‌دهند و با ثابت نگه داشتن غلظت K^+ ، نسبت Na^+/K^+ را پایین نگه می‌دارند (Francois *et al.*, 1986). ژنوتیپ‌هایی که پتاسیم بیشتری در برگ‌های خود تجمع می‌دهند، نسبت به شوری متحمل‌تر هستند (Rascio *et al.*, 2001). غلظت‌های بالای Na^+ می‌تواند منجر به پیری زودرس برگ و کاهش فعالیت فتوسنتزی شود و در نهایت میزان جذب کربن و عملکرد دانه را کاهش دهد (Husain *et al.*, 2004; James *et al.*, 2006).

تحمل به شوری عمدتاً مرتبط با افزایش توانایی حفظ نسبت بالای K^+/Na^+ در شرایط تنش است (Poustini and Siosemardeh, 2004; Munns *et al.*, 2006). مهم‌ترین دلیل کاهش میزان جذب و فتوسنتز در شرایط تنش، کاهش هدایت روزنه‌ای است که بلافاصله پس از آغاز تنش شوری کاهش می‌یابد (James *et al.*, 2008; Rahnema *et al.*, 2010). تنش شوری، سطح برگ و محتوی کلروفیل برگ را کاهش می‌دهد (Netondo *et al.*, 2004) و با افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Rao and Rao, 1981) و افزایش میزان تجزیه کلروفیل از طریق تولید بالای گونه‌های فعال اکسیژن (Hernandez

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت یک آزمایش گلدانی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل دو رقم گندم دوروم (بهرنگ و یاوروس) و شوری به همراه سطوح مختلف پتاسیم، شامل شاهد (بدون تنش شوری) (C)، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم (S)، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه دو سطح ۳۰۰ (STK₁) و ۴۵۰ (STK₂) میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم، ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم به همراه دو سطح ۳۰ (SNK₁) و ۴۵ (SNK₂) میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد شرکت خضراء بود. این کود به صورت پودر جامد بوده و دارای ۲۷ درصد ماده مؤثره نانو پتاسیم کلاته شده است و مقدار مصرف آن به میزان دو در هزار به صورت محلول‌پاشی و ۵ تا ۱۰ کیلوگرم مصرف خاکی است. بذره‌های یکنواخت پس از ضدعفونی توسط قارچ‌کش ویتاواکس (یک در هزار) در گلدان‌های حاوی مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه (با نسبت ۱:۲) در اوایل آذرماه کشت شدند. نیازهای کودی خاک با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و حدود بحرانی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به خاک اضافه شد. جهت تأمین پتاسیم، میزان پتاسیم لازم تا رسیدن به سطح تیمار مورد نظر با توجه به وزن خاک گلدان‌ها محاسبه و به خاک گلدان‌ها اضافه شد. در هر گلدان، تعداد ۱۲ عدد بذر کشت شد که پس از استقرار گیاهچه‌ها، با تنک کردن آنها تعداد بوته‌ها به پنج بوته در

هر گلدان کاهش یافت. تیمار شوری در مرحله چهار برگی اعمال شد و تا ابتدای مرحله خمیری دانه تداوم یافت. گیاهان شاهد نیز با آب معمولی با هدایت الکتریکی ۲/۵ دسی زیمنس بر متر آبیاری شدند. هدایت الکتریکی خاک گلدان‌های تیمار شوری به صورت هفتگی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (Model, Level 1, wtw, Weilheim, Germany Inolab) کنترل و با اضافه کردن آب خالص یا محلول نمک به میزان مطلوب در حدود ۱۴-۱۲ دسی زیمنس بر متر برای شوری ۱۵۰ میلی‌مولار حفظ شد. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه، برای هر تیمار ۱۵ بوته از سه تکرار برداشت شد و پس از قرار دادن در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت، میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شدند. ۲۱ روز پس از آغاز تیمار شوری هدایت روزه‌ای به وسیله دستگاه پورومتر Delta-T AP₄ (Delta-T Devices Ltd, Burwell, UK) بین ساعت ۱۰ صبح الی ۲ بعد از ظهر، میزان سبزی‌نگی با استفاده از کلروفیل‌متر دستی SPAD-502، و محتوای نسبی آب به روش ریچی و همکاران (Ritchie et al., 1990) اندازه‌گیری شد. غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ پرچم نیز پس از برداشت محصول به وسیله دستگاه فلیم فتومتر و به روش هامادا و ال-انانی (Hamada and EL-enany, 1994) اندازه‌گیری شدند. برای انجام تجزیه واریانس و مقایسه میانگین تیمارها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the pots soil

بافت خاک	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)
Sandy loam	7.5	3.21	11.8	0.038	0.53	135

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین سطوح پتاسیم در شرایط شوری تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، هدایت روزه‌ای، محتوای آب نسبی، میزان سبزی‌نگی (عدد SPAD)،

غلظت یون‌های Na⁺ و K⁺ و نسبت K⁺/Na⁺ در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. بین ارقام نیز به جز عملکرد بیولوژیک و نسبت K⁺/Na⁺، برای غلظت Na⁺ در سطح احتمال پنج درصد و سایر صفات در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار بود. آثار متقابل پتاسیم×رقم نیز بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال

تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و پاسخ عملکرد بیولوژیک در شرایط تنش شوری به همه سطوح پتاسیم یکسان بود (شکل ۱-ب).

در رقم یاوروس منطبق با پاسخ عملکرد دانه، کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط شوری همراه با تجمع بیشتر Na^+ در این رقم بود. اگرچه کاهش عملکرد بیولوژیک در مقایسه با عملکرد دانه محسوس‌تر بود. کاهش بیشتر تعداد پنجه رقم یاوروس در شرایط شوری دلیل اصلی کاهش وزن خشک اندام هوایی این رقم در مقایسه با رقم بهرننگ بود (نتایج نشان داده نشده است). پتاسیم از طریق کاهش اثرات منفی ناشی از وجود یون Na^+ سبب بهبود وضعیت عملکرد بیولوژیک در شرایط شوری گردید و وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بیولوژیک با میزان تجمع یون K^+ برگ‌ها مؤید اثرات مثبت این عنصر بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش شوری است (Rascio *et al.*, 2001).

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای که به عنوان شاخص مهم تعیین تنش اسمزی و از مهم‌ترین عوامل محدود کننده فتوسنتز در شرایط تنش است، در هر دو رقم در اثر تنش شوری کاهش یافت (James *et al.*, 2008; Rahnama *et al.*, 2010). اگرچه علی‌رغم وجود تفاوت معنی‌دار در میزان هدایت روزنه‌ای برگ پرچم بین دو رقم در تیمار شاهد، میزان کاهش این پارامتر در شرایط شوری برای هر دو رقم تقریباً یکسان بود. کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری در هر دو سطح و فرم پتاسیم به طور معنی‌داری سبب بهبود این پارامتر (با تأثیر مثبت بیشتر در سطح اول) در مقایسه با تیمار شوری بدون کاربرد پتاسیم شد. به عبارت دیگر، 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). به نظر می‌رسد سطوح بالای پتاسیم از طریق ایجاد اثرات اسمزی در محیط اطراف ریشه گردیده و از این طریق سبب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش هدایت روزنه‌ای شده است (Rahnama *et al.*, 2010). کاربرد پتاسیم برای رقم بهرننگ آثار مطلوب‌تری از نظر افزایش هدایت

یک درصد و هدایت روزنه‌ای و غلظت پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، در حالی که در سایر صفات، اثر متقابل معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲).

عملکرد دانه

با اعمال تنش شوری عملکرد دانه به طور معنی‌داری در هر دو رقم کاهش یافت (شکل ۱-ا). کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری در هر دو سطح سبب افزایش عملکرد هر دو رقم نسبت به تیمار تنش شوری بدون کاربرد پتاسیم شد، اما پاسخ ارقام به کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری یکسان نبود. در رقم بهرننگ این افزایش در سطح اول سولفات پتاسیم و نانوپتاس به طور معنی‌داری بیشتر از سطح دوم بود، در حالی که در رقم یاوروس کاربرد پتاسیم در تمامی سطوح به یک اندازه سبب بهبود عملکرد شد (شکل ۱-ا). کاهش فعالیت منبع متأثر از تجمع Na^+ در برگ ممکن است تجمع مواد فتوسنتزی را در دانه کاهش دهد و ارقام حساس به تنش با تجمع بالاتر Na^+ در مقایسه با ارقام متحمل، بیشتر تحت تأثیر تنش شوری قرار می‌گیرند (Husain *et al.*, 2003, 2004; James *et al.*, 2006). کاهش فعالیت فتوسنتزی و جذب کربن که از پیری زودرس برگ و کاهش دوام برگ در غلظت‌های بالای Na^+ ایجاد شده است (Husain *et al.*, 2006; James *et al.*, 2003)، با استفاده از کاربرد پتاسیم در شرایط شوری تا حدودی بهبود یافت و پتاسیم با کاهش آثار اسمزی و جذب بهتر آب در سلول گیاه اثرات تنش وارده به گیاه را کاهش داد و سبب افزایش عملکرد گردید (Degl'Innocenti, 2009).

عملکرد بیولوژیک

تنش شوری بر عملکرد بیولوژیک تأثیر نامطلوبی داشت و کاهش معنی‌داری در هر دو رقم نمایان گردید، این کاهش در رقم یاوروس تا حدودی بیشتر از رقم بهرننگ بود (شکل ۱-ب). کاربرد پتاسیم عملکرد بیولوژیک هر دو رقم را در شرایط شوری به طور معنی‌داری افزایش داد و کاهش عملکرد را در شرایط تنش تعدیل کرد. عملکرد بیولوژیک رقم بهرننگ در سطح دوم هر دو تیمار سولفات پتاسیم و نانوپتاس در مقایسه با سطح اول کمتر بود، در حالی که در رقم یاوروس بین سطوح مختلف سولفات پتاسیم و نانوپتاس از نظر عملکرد بیولوژیک

بین سطوح مختلف پتاسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳، شکل ۳-ا).

پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش کرده‌اند که تنش شوری محتوی آب نسبی را به طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (James *et al.*, 2002; Rivelli *et al.*, 2002) و پتاسیم نقش مهمی در افزایش محتوای آب نسبی در شرایط تنش شوری ایفا می‌کند (Subbarao *et al.*, 2000; Mokhamed *et al.*, 2006). ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری توانایی زیادی در تجمع یون‌های معدنی نظیر پتاسیم دارند و این توانایی آن‌ها را قادر به کاهش بیشتر پتانسیل اسمزی سلول‌ها کرده و در نتیجه باعث جذب بیشتر آب از سلول‌های ریشه و حفظ میزان آب و نسبت بالاتر K^+/Na^+ در بافت تحت تنش می‌شود (Mokhamed *et al.*, 2006). به هر حال، با کاربرد تیمارهای پتاسیم و افزایش میزان پتاسیم برگ در هر دو رقم، محتوای آب نسبی به طور مستقل از میزان غلظت پتاسیم و به طور یکسان در تمام تیمارهای پتاسیم در هر دو رقم افزایش یافت.

غلظت یون Na^+

تجمع سدیم در بافت‌ها و اندام‌های گیاهی در مواجهه با شوری کاملاً مشهود است. مقایسه میانگین‌ها نیز افزایش معنی‌دار غلظت Na^+ برگ پرچم هر دو رقم را نشان داد و مقدار آن در رقم یاواروس به مراتب بیشتر از رقم به‌رنگ بود. کاربرد پتاسیم سبب کاهش قابل توجه غلظت Na^+ برگ پرچم در شرایط تنش شوری شد (جدول ۳). بیشترین کاهش غلظت Na^+ در تیمار ۴۵ میلی‌گرم نانو پتاس مشاهده شد. غلظت Na^+ در تیمارهای نانوپتاس در هر دو رقم کمتر از تیمارهای سولفات پتاسیم بود و به نظر می‌رسد نانوپتاس به دلیل جذب سریع‌تر خود تأثیر بیشتری در کاهش غلظت Na^+ برگ پرچم داشته است (شکل ۳-ب).

مشخص شده که در مکان‌های جذب این دو یون در غشای پلاسمایی یک رقابت مستقیم وجود دارد و افزایش جذب K^+ می‌تواند مانع از عبور Na^+ از محلول خارجی به گیاه شود (Epstein, 1966). در تحقیق حاضر نیز افزایش سطح تیمار پتاسیم سبب افزایش میزان جذب K^+ توسط گیاه شده و به دنبال آن میزان جذب Na^+ کاهش یافته است.

روزنه‌ای در شرایط شوری در مقایسه با رقم یاواروس داشت (شکل ۲-ا). با کاهش هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه سبب کاهش تولید ماده خشک و عملکرد دانه می‌شود. پتاسیم نقش مهمی در فرایند آب‌گیری، باز و بسته شدن روزنه‌ها، تعادل یونی و تنظیم اسمزی گیاه تحت شرایط خشکی دارد. از این‌رو، گیاهان با محتوی پتاسیم بالاتر سازگاری بیشتری با تنش خشکی نشان می‌دهند (Ashraf and Bhatti, 1998). بنابراین، پتاسیم سبب تخفیف آثار تنش اسمزی ناشی از شوری می‌شود.

میزان سبزی‌نگی (عدد SPAD)

میزان سبزی‌نگی، کاهش معنی‌داری در اثر تنش شوری نشان داد و کاربرد هر دو تیمار سولفات پتاسیم و نانوپتاس در شرایط شوری به یک میزان سبب افزایش معنی‌دار میزان سبزی‌نگی هر دو رقم شد (شکل ۲-ب). تنش شوری محتوای کلروفیل (Sairam and Srivastava, 2002)، سطح برگ و میزان سبزی‌نگی (Netondo *et al.*, 2004) را کاهش می‌دهد. تفاوت ژنتیکی در میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه میزان فتوسنتز برگ ممکن است با میزان کلروفیل آن در شرایط تنش شوری مرتبط باشد (Husain *et al.*, 2003). به نظر می‌رسد پتاسیم با بهبود هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش و ممانعت از تجزیه کلروفیل توسط تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش محتوای کلروفیل در شرایط شوری داشته باشد. از دیگر سوی پتاسیم با افزایش سطح برگ‌ها و بالا بردن میزان کلروفیل موجب افزایش ظرفیت فتوسنتزی می‌شود (Evans, 1983).

محتوای آب نسبی

محتوای آب نسبی برگ به عنوان معیاری قابل اعتماد برای اندازه‌گیری وضعیت آب گیاه (Schonfield *et al.*, 1988) و شاخصی مرتبط با فتوسنتز و عملکرد بالا (Arzani, 2008)، در شرایط تنش شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در رقم یاواروس تا حدودی بیشتر از رقم به‌رنگ بود. کاربرد پتاسیم در شرایط تنش شوری به طور معنی‌داری سبب افزایش محتوای آب نسبی برگ پرچم به خصوص در رقم به‌رنگ شد، اگرچه

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف پتاسیم بر صفات مورد مطالعه در دو رقم گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری

Table 2. Analysis of variance for the effect of different levels of potassium on the studied traits of two durum wheat varieties under salinity stress conditions

Source of variation	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean square		میانگین مربعات					
			عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biomass	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	شاخص SPAD SPAD index	محتوای آب نسبی Relative water content	غلظت سدیم Na ⁺ concentration	غلظت پتاسیم K ⁺ concentration	نسبت پتاسیم به سدیم K ⁺ /Na ⁺ ratio
Variety (V)	رقم	1	0.021**	0.046 ^{ns}	23870**	13.12**	135.020**	0.158*	5.700**	1.290*
Salinity (S)	شوری	5	0.211**	1.620**	27969**	100.7**	100.070**	9.900**	46.730**	60.730**
V×S	رقم×شوری	5	0.012**	0.182**	1026*	0.830 ^{ns}	1.320 ^{ns}	0.052 ^{ns}	2.460**	0.700 ^{ns}
Error	خطای آزمایش	24	0.002	0.039	386	0.687	5.502	0.025	0.624	0.357
CV (%)	ضریب تغییرات (%)	-	6.1	8.1	7.5	1.6	2.7	4.6	9.5	18

^{ns}, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively. /: ۰.۱ و ۰.۵٪ احتمال

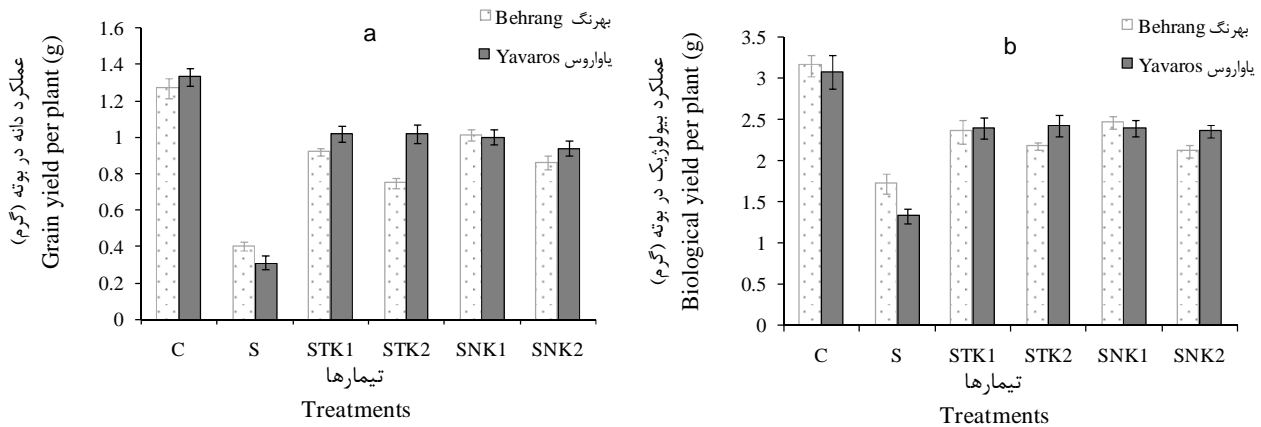
جدول ۳- تأثیر سطوح مختلف پتاسیم بر برخی صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم در شرایط تنش شوری

Table 3. Effect of different levels of potassium on some physiological characteristics of two durum wheat varieties under salt stress conditions

Variety	رقم	شاخص SPAD SPAD index	محتوای آب نسبی (درصد) Relative water content (%)	غلظت سدیم	
				(میلی گرم بر گرم وزن خشک) Na ⁺ concentration (mg.g ⁻¹ dry weight)	نسبت پتاسیم به سدیم K ⁺ /Na ⁺ ratio
Behrang	بهرنگ	51.51b	78.88a	3.49b	3.09a
Yavaros	یاواروس	52.72a	75.01b	3.63a	3.47a
Salinity					
	شوری				
	C	56.07a	82.16a	1.33e	9.60a
	S	44.13c	69.63c	5.25a	0.96d
	STK ₁	52.60b	77.91b	4.17b	1.65cd
	STK ₂	53.45b	77.92b	3.66c	2.66b
	SNK ₁	53.48b	77.66b	3.65c	1.83c
	SNK ₂	52.95b	76.1b	3.31d	2.96b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر فاکتور، اختلاف معنی‌داری با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

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



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف نانوپتاس و سولفات پتاسیم بر گندم دوروم در شرایط تنش شوری، (a) عملکرد دانه، (b) عملکرد بیولوژیک. نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد سه تکرار است.

Figure 1. Effect of different levels of nano-potassium and potassium sulfate on durum wheat under salt stress conditions, (a) grain yield, (b) biological yield. Indicator bars are standard error of the estimates.

نسبت K^+/Na^+

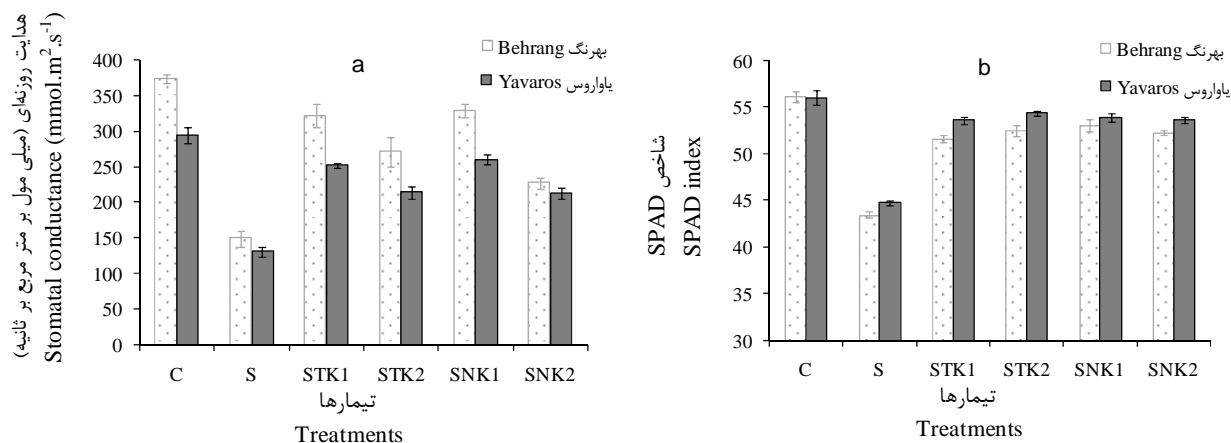
انتخاب‌پذیری K^+/Na^+ در گیاهان بافت‌های گیاهی به عنوان یکی از شاخص‌های مهم برای تفکیک گونه‌های متحمل از حساس به شوری گزارش شده است (Poustini and Siosemardeh, 2004). این ویژگی به عنوان یکی از سازوکارهای فیزیولوژیکی مهم ایجاد تحمل به شوری (Baibordi *et al.*, 2010)، در شرایط تنش شوری به ویژه در رقم یاوروس کاهش یافت. در مقابل، کاربرد پتاسیم در هر چهار سطح به طور مؤثری سبب افزایش این نسبت شد (جدول ۲) و منطبق با نتایج K^+ ، این افزایش در سطوح دوم تیمارهای پتاسیم به ویژه برای رقم یاوروس نسبت به رقم بهرنگ بیشتر از سطوح پایین‌تر آن بود (شکل ۳-d).

رقم بهرنگ در شرایط تنش شوری در مقایسه با یاوروس دارای میزان K^+ بالاتر و Na^+ پایین‌تر و در نتیجه نسبت بالاتری از K^+/Na^+ بود. در غلظت‌های بالای شوری، گیاه با کنترل ورود و خروج یون‌ها، میزان غلظت Na^+ درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگهداشتن غلظت یون K^+ ، نسبت Na^+/K^+ را پایین نگه می‌دارد (Francois *et al.*, 1986). علاوه بر این، در محیط شور، پتاسیم به تنهایی و یا در ترکیب با فسفر و کلسیم سبب افزایش نسبت K^+/Na^+ در برگ‌ها، ساقه و ریشه می‌شود و این افزایش جذب K^+ می‌تواند یک رقابت مستقیم بین K^+ و Na^+ در مکان‌های جذب در غشای پلاسمایی ایجاد کند (Epstein, 1966).

غلظت یون K^+

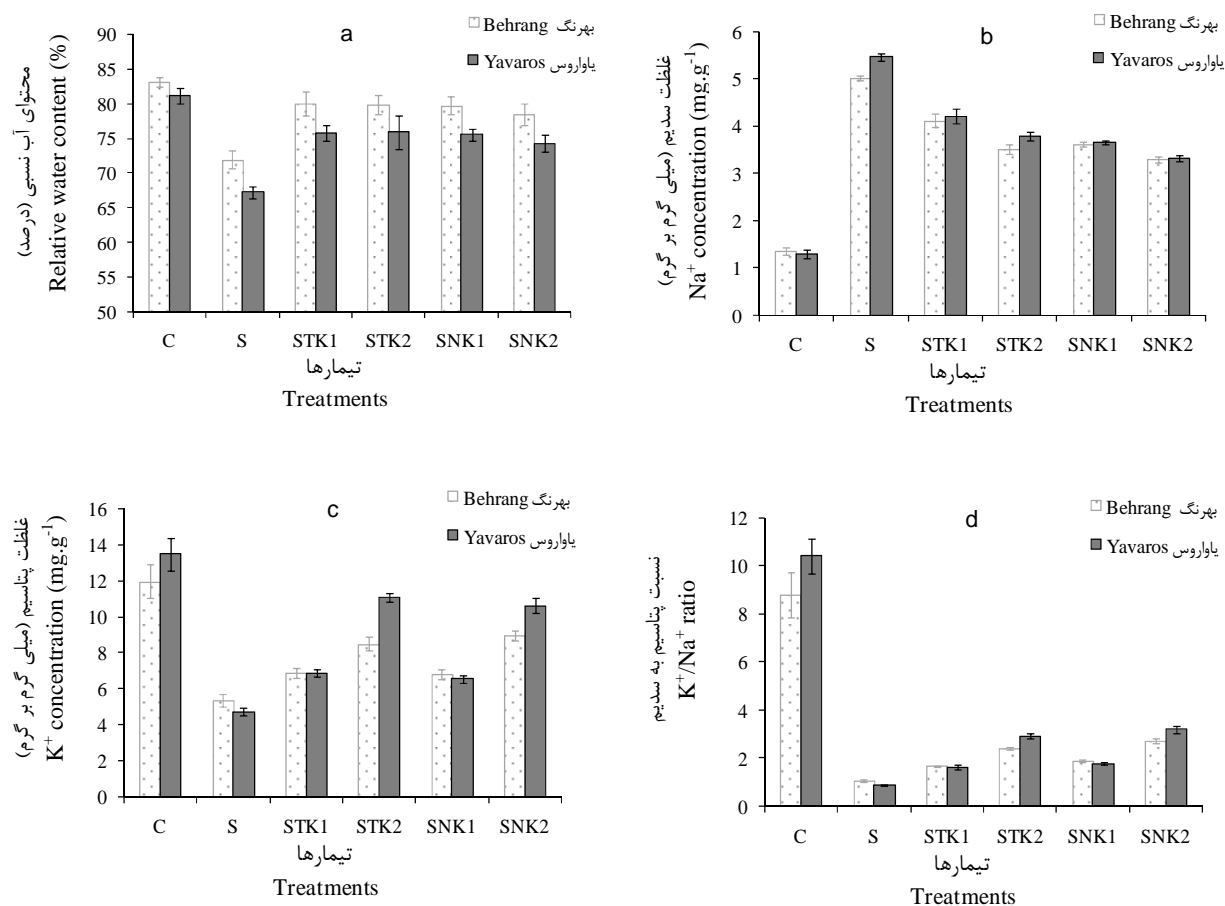
بر خلاف غلظت Na^+ ، تنش شوری به طور تقریباً یکسان سبب کاهش معنی‌دار غلظت K^+ برگ پرچم هر دو رقم شد. جذب یون Na^+ به شدت با جذب یون K^+ رقابت می‌کند و در شرایط تنش شوری سبب کاهش جذب یون K^+ در ریشه می‌شود. کاربرد پتاسیم طی تنش شوری به طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت پتاسیم ارقام شد و این افزایش در سطوح دوم سولفات پتاسیم و نانوپتاس به ویژه در رقم یاوروس نسبت به رقم بهرنگ بیشتر بود، در حالی که در سطح اول تیمار پتاسیم، تفاوت معنی‌داری بین دو رقم از نظر غلظت پتاسیم وجود نداشت (شکل ۳-c).

کاهش غلظت K^+ بافت‌های هوایی گیاه در شرایط تنش شوری در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Wei *et al.*, 2003). گونه‌های گیاهی علاوه بر تجمع یون Na^+ از لحاظ جذب و تجمع K^+ نیز تفاوت ژنتیکی دارند، به طوری که نوع ژنتیکی در جذب Na^+ تأثیر مثبت بر جذب K^+ دارد و در حقیقت جذب و انتقال Na^+ و K^+ مستقل نیست. در تیمار تنش شوری رقم بهرنگ با تجمع K^+ بیشتر نسبت به رقم یاوروس عملکرد دانه بالاتری داشت که حاکی از آن است که ژنوتیپ‌های دارای توانایی بالاتر تجمع پتاسیم در برگ‌ها نسبت به شوری متحمل‌تر هستند (Rascio *et al.*, 2001).



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف نانو پتاس و سولفات پتاسیم بر گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری، (a) هدایت روزنه‌ای، (b) میزان سبزیگی یا شاخص SPAD. نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد برآورد هستند.

Figure 2. Effect of different levels of nano-potassium and potassium sulfate on durum wheat under salt stress conditions, (a) stomatal conductance, (b) SPAD index. Indicator bars are standard error of the estimates.



شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف نانو پتاس و سولفات پتاسیم بر گندم دوروم تحت شرایط تنش شوری، (a) محتوای آب نسبی، (b) غلظت سدیم، (c) غلظت پتاسیم، (d) نسبت پتاسیم به سدیم. نشانگرهای میله‌ای خطای استاندارد برآورد است.

Figure 3. Effect of different levels of nano-potassium and potassium sulfate on durum wheat under salt stress conditions, (a) relative water content, (b) Na⁺ concentration, (c) K⁺ concentration, (d) K⁺/Na⁺ ratio. Indicator bars are standard error of the estimates.

فتوسنتزی، تفاوت چندانی بین کودهای نانو پتاس و پتاس معمولی مشاهده نشد، از این رو به نظر می‌رسد که تنها بهره اقتصادی این مواد، مقادیر پایین مصرف آن‌ها در خاک باشد. نکته نگران کننده و قابل تأمل در استفاده از این کودها، عدم شناخت کافی از وضعیت این عناصر در محیط زیست، کیفیت مواد غذایی و سلامت انسان است که بدون شک نیاز به بررسی دقیق‌تر دارد و از این رو پیشنهاد می‌شود که مقادیر پتاسیم دانه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

در مجموع با توجه به پاسخهای رشدی و فیزیولوژیک این تحقیق، رقم بهرنگ دارای تحمل به شوری بالاتری در مقایسه با رقم یواروس بود. به نظر می‌رسد پتاسیم با کاهش آثار نامطلوب تجمع سدیم، تعدیل پتانسیل اسمزی و محتوای آب نسبی و افزایش هدایت روزنه‌ای و نیز جلوگیری از کاهش محتوای کلروفیل، سبب حفظ فتوسنتز در شرایط تنش شوری شده و از این طریق سبب کاهش آثار تنش شوری بر عملکرد دانه ارقام گندم می‌شود. با توجه به این که از نظر خصوصیات عملکردی و

References

- Alizadeh, A. 2011.** Effect of potassium on biomass content, carbohydrate and grain filling period in two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Ahwaz conditions. M. Sc. Dissertation, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. (In Persian).
- Arzani, A. 2008.** Improving salinity tolerance in crop plants: Biotechnological view. **In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant** 44: 373-383.
- Ashraf, M. and Bhatti, S. A. 1998.** Nutritional imbalance in wheat genotypes growth at soil water stress. **Plant Physiology** 20: 307-310.
- Baibordi, A., Seidtabtabai, S. J. and Ahmadof, A. 2010.** NaCl salinity effect on qualitative, quantitative and physiological attributes of winter canola (*Brassica napus* L.) cultivars. **Journal of Water and Soil** 24: 334-346. (In Persian).
- Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L. and Navari-Izzo, F. 2009.** The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. **Journal of Plant Physiology** 166: 1968-1981.
- Epstein, E. 1966.** Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. **Nature** 212: 1324-1327.
- Evans, J. R. 1983.** Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Physiology** 72 (2): 297-302.
- Francois, L. E., Maas, E. V., Donovan, T. J. and 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.
- Hamada, A. M. and 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.
- Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F. and Del-Rio, L. A. 1995.** Salt induced oxidative stress in chloroplast of pea plants. **Plant Science** 105: 151-167.
- Husain, S., Munns, R. and Condon, A. G. 2003.** Effect of sodium exclusion trait on chlorophyll retention and growth of durum wheat in saline soil. **Australian Journal of Agricultural Research** 54: 589-597.
- Husain, S., Von Caemmerer, S. and Munns, R. 2004.** Control of salt transport from roots to shoots of wheat in saline soil. **Functional Plant Biology** 31: 1115-1126.
- James, R. A., Caemmerer, S. A., Condon, A. G., Zwaet, A. B. and Munns, R. 2008.** Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. **Functional Plant Biology** 35: 111-123.
- James, R. A., Davenport, R. J. and Munns, R. 2006.** Physiological characterization of two genes for Na⁺ exclusion in durum wheat, *Nax1* and *Nax2*. **Plant Physiology** 142: 1537-1547.
- James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. and Caemmerer, S. V. 2002.** Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. **Functional Plant Biology** 29: 1393-1403.
- Kaya, C., Kirnak, H. and Higgs, D. 2001.** Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus in tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity. **Journal of Plant Nutrition** 24 (2): 357-367.

- Maser, P., Gierth, M. and Schroeder, I. J. 2002.** Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plant. **Plant and Soil** 247: 43-54.
- Mokhamed, A. M., Raldugina, G. N., Kholodova V. P. and Kuznetsov, VI.V. 2006.** Osmolyte accumulation in different rape genotypes under sodium chloride salinity. **Russian Journal of Plant Physiology** 53: 649-655.
- Munns, R. 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment** 25: 239-250.
- Munns, R., James, R. A. and Lauchli, A. 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany** 57: 1025-1043.
- Netondo, G. W., Onyango, J. C. and Beck, E. 2004.** Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. **Crop Science** 44: 797-805.
- Poustini, K. and Siosemardeh, A. 2004.** Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. **Field Crops Research** 85: 125-133.
- Rahnama, A., James, R. A., Poustini, K. and 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.
- Rascio, A., Russo, M., Mazzucco, L., Platani, C., Nicastro, G. and Di-Fonzo, N. 2001.** Enhanced osmotolerance of a wheat mutant selected for potassium accumulation. **Plant Science** 160: 441-448.
- Rao, G. G. and Rao, G. R. 1981.** Pigment composition and chlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus spreng*) and Gingelley (*Sesamum indicum L.*) under NaCl salinity. **Indian Journal of Experimental Biology** 19: 768-770.
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Haloday, A. S. 1990.** Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. **Crop Science** 30: 105-111.
- Rivelli, A. R., James, R. A., Munns, R. and Condon, A. G. 2002.** Effect of salinity on water relations and growth of wheat genotypes with contrasting sodium uptake. **Functional Plant Biology** 29: 1065-1074.
- Sairam, R. K. and Srivastava, G. C. 2002.** Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. **Plant Science** 162: 897-904.
- Sangakkara, U. R., Frehner, M. and Nosberger, J. 2000.** Effect of soil moisture and potassium fertilizer on shoot water potential, photosynthesis and partitioning of carbon in mung bean and cowpea. **Journal of Agronomy and Crop Science** 185: 201-207.
- Schonfield, M. P., Richard, J. C., Carver, B. P. and Mornhi, N. W. 1988.** Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. **Crop Science** 28: 526-531.
- Shabala, S. and Cuin, T. A. 2008.** Potassium transport and plant salt tolerance. **Physiologia Plantarum** 133: 651-669.
- Shen, W., Nada, K. and Tachibana, S. 2000.** Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars. **Plant Physiology** 124: 431-439.
- Subbarao, G. V., Chauhan, Y. S. and Johansen, C. 2000.** Patterns of osmotic adjustment in pigeon pea: It's importance as a mechanism of drought resistance. **European Journal of Agronomy** 12: 239-249.
- Wei, W., Bilsborrow, P. E., Hooley, P., Fincham, D., Lombi, A. E. and 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.

Effects of type and rate of potassium fertilizer on agronomic and physiological traits of two durum wheat varieties under salt stress

Seyed Mohammad Alavi Matin¹, Afrasyab Rahnama^{2*} and Mousa Meskarbashi³

1, 2 and 3. M. Sc. Student, Assist. Prof. and Assoc. Prof., respectively, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(Received: October 4, 2014- Accepted: May 25, 2015)

Abstract

To evaluate the role of potassium on salt tolerance of two durum wheat varieties, Behrang and Yavaros, a pot experiment was carried out as factorial experiment based on completely randomized design with three replications in College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, in 2013-2014. The experimental treatments were control, NaCl 150 mM, NaCl 150 mM together with two levels of 300 and 450 mg of potassium sulfate per 1 kg soil and two levels of 30 and 45 mg of potassium nano chelate 27% per 1 kg soil. Results showed that salinity stress lead to decreasing 68%, 51%, 58%, 22%, 15% and 61% of the grain yield, biological yield, stomatal conductance, greenness index, relative water content and K⁺ concentration, respectively, and increasing 3.9 fold of the Na⁺ concentration of flag leaf compared with control treatment. In contrast, the application of different types of potassium under salinity condition alleviated the negative effects of salt stress on grain yield, biological yield, stomatal conductance, greenness index, relative water content and K⁺ concentration (25, 27, 22, 36, 7 and 35%, respectively), and was caused the lower Na⁺ accumulation (2.8 fold) compared with control. The variety responses to different levels of potassium were different, so that the second levels of potassium sulfate and nano potassium in Behrang variety caused to decrease the grain yield, while the grain yield of Yavaros variety was not affected. Results showed that Behrang variety was more tolerant than Yavaros in response to salinity. Generally, the application of potassium under salinity conditions was caused to maintain photosynthesis by adjusting the osmotic potential and relative water content and increasing the stomatal conductance as well as preventing loss chlorophyll, hereby reduces the salinity effects on yield performance of the durum wheat.

Keywords: Chlorophyll content, Grain yield, Relative water content, Salinity stress, Sodium chloride, Stomatal conductance

*Corresponding author: a.rahnama@scu.ac.ir