نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۸۹، ص. ۳۹۳-۳۸۵

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 385-393

# بررسی اثرات تعدیل کنندگی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم ( *Sorghum bicolor* L. ) در شرایط تنش شوری

سجاد صادقی لطف آبادی[1*] - محمد کافی[2] - حمید رضا خزاعی[3]

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۲۳

## چکیده

به منظور بررسی اثرات تعدیل کنندگی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم ( *Sorghum bicolor* L. ) در شرایط تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب کرت های خرد شده در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقات شوری قطب علمی گیاهان ویژه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سطح شوری آب آبیاری (۵ و۱۰ دسی زیمنس بر متر)، دو نحوه مصرف عناصر (محلول‌پاشی برگی و اعمال از طریق خاک) و چهار سطح عناصر کلسیم و پتاسیم (شاهد یا عدم مصرف، کلریدکلسیم با غلظت ۲۰ میلی مولار، کلرید پتاسیم با غلظت ۲۰ میلی مولار و کلرید کلسیم+ کلرید پتاسیم با غلظت ۲۰ میلی مولار) در سه تکرار بودند. صفات ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، ساقه و کل گیاه و قطر ساقه در چهار مرحله اندازه‌گیری شدند. شاخص های کلروفیل، محتوی آب نسبی برگ(RWC)[4] ، شاخص سطح برگ(LAI)[5] نیز در سه مرحله پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و خوشه دهی محاسبه شدند. نتایج تجزیه‌های آماری نشان داد شوری موجب کاهش ارتفاع و قطر ساقه شده ولی بر وزن ماده خشک گیاه و تعداد برگ اثر معنی‌داری نداشت. شوری موجب کاهش RWC در هر سه مرحله و کلروفیل در مرحله خوشه دهی گردید، ولی بر وزن خشک و LAI در هیچ یک از مراحل رشدی تأثیری نداشت. مصرف کلسیم و پتاسیم همچنین موجب افزایش معنی‌دار RWC، LAI، کلروفیل و به خصوص وزن خشک در هر سه مرحله گردید. به طور کلی، استفاده از کلسیم و پتاسیم موجب بهبود قابل توجه صفات رشدی سورگوم نسبت به عدم مصرف آن‌ها در شرایط شوری می‌شود. بنابراین با توجه به مسائل اقتصادی و هزینه کمتر مصرف خاکی پتاسیم، استفاده از آن در شرایط شوری در این گیاه توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تنش شوری، کلسیم، پتاسیم، نحوه خاکی و محلول پاشی، سورگوم

## مقدمه

حدود یک میلیارد هکتار از مساحت زمین‌های جهان و حدود ۲۳ میلیون هکتار از مساحت ایران به درجات مختلف با مشکل شوری و قلیایی بودن روبرو می باشند (۱و۲). شوری آب و خاک عامل محیطی مهم در محدودیت رشد و تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک می باشد (۱۶ و ۲۴). تا ۲۵ سال آینده ۳۰ درصد و تا اواسط قرن ۲۱، ۵۰ درصد اراضی کشاورزی در اثر شوری تخریب شده و این موضوع اثرات منفی در تولیدات کشاورزی ایجاد خواهد کرد (۲۰).

اثرات شوری را می توان با بهبود تکنیک های آبیاری و آبشویی کاهش داد، ولی هزینه‌های مدیریت و اجرا و نیز آب و انرژی برای این روشها بالا بوده و بنابراین باید به دنبال روش های جایگزین بود (۱۹). گیاهان در پاسخ به شوری، تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در خود ایجاد می‌کنند (۴). شواهد و مدارک زیادی در مورد تأثیر شوری بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد (۱۲ و ۱۵). در اثر شوری سرعت گسترش برگ کاهش یافته و تمامی فرآیندهای اصلی سلولی مانند فتوسنتز، ساخت پروتئین و متابولیسم چربی و انرژی تحت تأثیر قرار می گیرد (۱۶ و ۲۴). به طور مثال در گیاه ذرت در شرایط تنش شوری مقدار نیترات برگها افزایش و فعالیت نیترات ردوکتاز کاهش می یابد (۱۷).

سورگوم گیاهی است که اغلب در نواحی با بارش نسبتا کم، درجه حرارت بالا و گاهی خاک‌های شور کشت می‌شود، از این رو پرداختن

۱، ۲و۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: (Email: ss1_10063@yahoo.com

4- Relative water content
5- Leaf area index

به واکنش‌های این گیاه در مقابل تنش شوری و مکانیسم‌های مقاومت و مواجهه این گیاه با شوری اهمیت فراوان دارد. در بررسی اثر شوری بر گیاه سورگوم توسط نتوندا و همکاران (۲۳) در گیاهچه‌های سورگوم در شرایط گلخانه‌ای ملاحظه گردید شوری شدید موجب کاهش و توقف رشد شده و در شوری دراز مدت سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. تأثیر شوری بر فتوسنتز از طریق بسته شدن روزنه ها و تا حدودی تداخل با دستگاه فتوسنتزی برگ است.

کلسیم و پتاسیم جزو عناصر پر مصرفی هستند که به دلیل کارکردهای ویژه خود اهمیت زیادی در واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی به خصوص شوری دارند. تنظیم اسمزی از طریق جذب و تجمع این یون‌ها و همچنین افزایش یون‌های دیگر و ترکیبات آلی در سلول منجر به حفظ پتانسیل اسمزی در این شرایط می‌گردد. وجود کلسیم و پتاسیم و جذب آن‌ها از دو طریق ریشه‌ای و برگی می‌تواند در رقابت با سدیم، اثر این یون را کاهش دهد. نگهداری سطح مناسبی از پتاسیم برای حیات گیاهان در شرایط شور ضروری است. پتاسیم تأثیر زیادی در پائین نگه داشتن پتانسیل اسمزی سلول‌های ریشه دارد و وجود آن برای حفظ و ایجاد فشار آماس و تنظیم تعادل آبی در گیاهان حیاتی است (۲۲). همچنین مطالعات نشان داده که برای حفاظت غشاء سلول در برابر آسیب‌های ناشی از تنش‌های مختلف، حضور کلسیم در محیط بیرونی ضروری است (۲۳). رِید و اسمیت (۲۶) نشان دادند اگر چه رشد گیاهچه‌های گندم توسط غلظت‌های بالای کلرید سدیم بشدت ممانعت می‌شود ولی افزودن کلسیم به محیط رشد موجب بهبود رشد می‌گردد. در شرایط کمبود کلسیم، اثرات منفی سدیم بالا است. مطالعات بانولس و همکاران (۱۱) و هاوکینز و لوئیس (۱۷) و دینپورت و همکاران (۱۳) نشان داد که کلسیم می‌تواند بعنوان نقش اصلاحی و تعدیل کننده اثرات شوری عمل نماید. نقش کلسیم محیط به عنوان فعال کننده سیستم انتقال پیام های سلولی و همچنین به عنوان یک تنظیم کننده اسمز گیاه نیز مشاهده شده است. از این رو، مصرف صحیح کودهای پتاسیمی و کلسیم در اراضی شور موجب کاهش عوارض فیزیولوژیکی ناشی از شوری و در نتیجه افزایش عملکرد می‌شوند (۵). بنابراین بررسی اثرات توأم شوری و عناصر کلسیم و پتاسیم حائز اهمیت است، بر همین اساس در تحقیق حاضر، بررسی اثرات تعدیل کنندگی کاربرد خاکی و محلول‌پاشی کلرید پتاسیم و کلرید کلسیم بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سورگوم ( *Sorghum bicolor* L. ) در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۸۷- ۱۳۸۶ در مزرعه تحقیقات شوری قطب علمی گیاهان زراعی ویژه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا انجام گرفت. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب کرت‌های خرد شده با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای شوری آب آبیاری شامل دو سطح ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر به عنوان کرت اصلی، نحوه مصرف کلسیم و پتاسیم در دو سطح شامل محلول‌پاشی برگی و اعمال از طریق خاک و چهار سطح مصرف عناصر شامل شاهد یا عدم مصرف، کلسیم، پتاسیم و کلسیم+ پتاسیم به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که طبق نظر مس و هافمن (۲۱) ۵ دسی زیمنس بر متر پایین تر از آستانه کاهش عملکرد سورگوم است.

پس از آماده سازی زمین، در تاریخ ۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۷، بذور در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۲/۵ متر با فاصله ردیف ۷۵ سانتیمتر و تراکم ۱۳/۳ بوته در متر مربع کشت شد. به منظور اجتناب از تداخل اثرات تیمارها، فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر و فاصله بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد. در هر کرت سه پشته با فاصله ۷۵ سانتیمتر قرار داشت که بذور در ۲ طرف هر پشته و به فاصله ۲۰ سانتیمتر از یکدیگر روی ردیف کشت شده و در مجموع در هر کرت ۶ ردیف کاشت وجود داشت. هر کرت آزمایشی به دو بخش تقسیم و یک بخش برای نمونه‌گیری‌های طول فصل رشد و دیگری برای برآورد عملکرد نهایی منظور شد. به منظور اعمال شوری، از آب چاه شماره ۳۱ مزرعه آستان قدس با شوری ۵ دسی زیمنس بر متر و چاه دیگری در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری مزرعه با هدایت الکتریکی حدود ۱۰ دسی زیمنس بر متر استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی خاک و آب محل آزمایش قبل از کاشت در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. SAR= ۱۰/۹ در شوری ۵ دسی زیمنس بر متر و SAR=۱۵/۲۸ در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر در آب آبیاری می باشد و بافت خاک رسی لومی بود. جهت اعمال تیمارهای کلسیم و پتاسیم به ترتیب کلریدکلسیم (معادل غلظت ۲ میلی‌مولار در هر نوبت آبیاری در روش محلول پاشی که در مجموع ۱۰ نوبت آبیاری غلظت آن به ۲۰ میلی مولار رسید و در روش کاربرد خاکی تنها دو بار با غلظت ۱۰ میلی مولار) و کلرید پتاسیم (معادل غلظت ۲ میلی‌مولار در هر نوبت آبیاری در روش محلول پاشی که در مجموع ۱۰ نوبت آبیاری غلظت آن به ۲۰ میلی مولار رسید و در روش کاربرد خاکی تنها دو بار با غلظت ۱۰ میلی مولار) به کار رفت. با توجه به غلظت در نظر گرفته شده و میزان وزن مولی این عناصر با توجه به روش کاربرد شامل مصرف ۳۵۵ گرم در هر کرت پتاسیم از طریق خاک، ۷/۵ گرم در کرت محلول‌پاشی پتاسیم و ۵۳۲ گرم در کرت کلسیم از طریق خاک و محلول‌پاشی کلسیم ۱۱ گرم در کرت به ترتیب در حدود ۵۰۰ لیتر (آب موجود در هر کرت و در دو نوبت آبیاری) و ۴۰ لیتر آب ( آب موجود برای هر محلول پاشی در هر کرت و در هر نوبت آبیاری) حل و سپس مورد استفاده قرار گرفت. البته در روش کاربرد خاکی ابتدا کود در یک گالن ۴۰ لیتری از آب حل و سپس در مسیر آب آبیاری به منظور تقسیم شدن کامل کود در هر کرت قرار گرفت.

(جدول ۱)- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

| خصوصیات | سدیم | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | سولفات | کربنات | بیکربنات | کلر | هدایت الکتریکی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ($meq.l^{-1}$) | | | | | | | | $dS.m^{-1}$ |
| ۱ | ۳۲/۵۰ | ۸/۶۰ | ۹/۲۰ | ۰/۲۳ | ۱۵/۰۰ | ۰/۴۰ | ۲/۴۰ | ۳۴/۴۰ | ۵ |
| ۲ | ۶۷/۱۰ | ۱۶/۴ | ۲۲/۲ | ۰/۳۸ | ۲۵/۰۰ | ۰/۰۰ | ۳/۰۰ | ۷۵/۶۰ | ۱۰ |

(جدول ۲)- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

| سدیم | کلسیم | منیزیم | پتاسیم | فسفر | هدایت الکتریکی ($EC_e$) |
|---|---|---|---|---|---|
| ($mg.kg^{-1}$) | | | | | $dS.m^{-1}$ |
| ۶۰۸/۰۰ | ۱۱۶/۰۰ | ۵۲/۰۰ | ۳۵/۵۰ | ۱۸/۵۰ | ۷/۷ |

در روش محلول پاشی، کود در ۴۰ لیتر آب حل و توسط محلول پاش پشتی که دارای لانس چهار نازلی بود در ۲ سری محلول پاشی برای هر کرت و هر بار با ۲۰ لیتر و کاملا متوازن محلول پاشی شد تا برگهای گیاه کاملا خیس شود. گیاهان از مرحله ۳ تا ۴ برگی به بعد تحت اعمال تنش قرار گرفتند. صفات ارتفاع بوته، وزن خشک برگ، ساقه و کل گیاه، محتوی رطوبت نسبی برگ، میزان کلروفیل، شاخص سطح برگ و قطر ساقه در مرحله خوشه دهی اندازه‌گیری شدند. کلروفیل، محتوی آب نسبی (RWC) و شاخص سطح برگ (LAI) در سه مرحله پنجه زنی، ساقه روی و خوشه دهی نیز محاسبه شدند. شاخص سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ ( Leaf Area Meter) مدل ELE ساخت کشور انگلستان محاسبه شد. اندازه گیری کلروفیل در اولین برگ کامل از بالا در زمان شروع رشد زایشی و توسط دستگاه کلروفیل‌متر (مدل konica minolta) 502 صورت گرفت و سه بار در مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و خوشه دهی اندزه گیری شد (۸ و ۱۹).

در پایان داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS و MSTATC تجزیه و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که شوری باعث کاهش معنی‌داری در شاخص RWC، قطر ساقه (در سطح یک درصد)، ارتفاع گیاه و کلروفیل برگ (در سطح پنج درصد) شده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۵ نشان داد که بیشترین ارتفاع (۶۳/۶۰ سانتیمتر)، RWC (۸۵/۴۱ درصد)، کلروفیل (۳۵/۶۰) و قطر ساقه (۳/۷۵ سانتیمتر) از سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر و کمترین مقادیر آن از شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. به عبارت دیگر شوری در سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر موجب کاهش ۳/۵ درصدی RWC نسبت به شوری ۵ دسی زیمنس بر متر شد. این کاهش برای مقادیر کلروفیل ۹/۶ درصد، ارتفاع ۸/۶ درصد و برای قطر ساقه ۹/۸ درصد بود. شوری همچنین موجب کاهش ۹/۹ درصدی وزن خشک کل گیاه شد که معنی‌دار نبود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۴ نشان می‌دهد که شوری تأثیر معنی‌داری (در سطح پنج درصد) بر RWC در هر سه مرحله رشدی داشته است. همچنین شوری دارای تأثیر معنی‌داری بر کلروفیل برگ (در سطح یک درصد) در مرحله خوشه دهی بوده ولی بر LAI و وزن خشک گیاه در هیچ یک از مراحل رشد، اثر معنی‌داری نداشت. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد بیشترین RWC در هر سه مرحله به ترتیب با میانگین‌های ۹۲/۴۸، ۹۰/۰۰ و ۸۵/۴۱ درصد، از شوری ۵ دسی زیمنس بر متر حاصل شده و با افزایش شوری از مقادیر آن‌ها در هر سه مرحله رشدی کاسته گردید. شوری تنها در مرحله خوشه دهی روی کلروفیل برگ اثر معنی‌داری داشت و کلروفیل برگ در مراحل پنجه‌زنی و ساقه‌روی تحت تأثیر تنش شوری قرار نگرفت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین کلروفیل در شوری ۵ دسی زیمنس بر متر و در مرحله خوشه‌دهی به دست آمد و افزایش شوری در این مرحله موجب کاهش ۱۰/۰ درصدی مقدار کلروفیل شد. با اینکه شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه نداشت اما شوری در سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر در این سه مرحله به ترتیب موجب کاهش ۱۴/۹، ۱۸/۰ و ۹/۸ درصدی وزن خشک گیاه گردید. احمدی و سی وسه مرده (۸) نیز گزارش کردند که ارتفاع و وزن خشک جو بوسیله شوری کاهش می‌یابد. این کاهش رشد ممکن است به دلیل اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک باشد که جذب آب و عناصر غذایی را کاهش داده و در نهایت باعث کاهش رشد ریشه و بخش هوایی می‌شود. کاهش رشد و عملکرد در شرایط شوری نیز احتمالاً به علت تغییر در انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها، کاهش رشد بخش هوایی به ویژه برگ‌ها و یا به دلیل بسته شدن جزئی یا کلی روزنه‌ها یا به علت اثر مستقیم نمک بر سیستم فتوسنتزی و یا تأثیر بر توازن یونی در گیاهان است (۳).

**(جدول ۳)- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در مرحله خوشه دهی**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مقدار آب نسبی | قرائت کلروفیل متر | ارتفاع | وزن خشک | وزن خشک ساقه | وزن خشک برگ | تعداد برگ | LAI | قطر ساقه |
| r تکرار | ۲ | ۱۹/۲۶۰ ** | ۲۰/۰۱ ns | ۵۵۲/۹۷ ** | ۱۷۴۸۸/۲۷ ** | ۹۲۶۱/۱۹ ** | ۱۲۰۹/۶۳ ** | ۱/۸۷ * | ۸/۸۲ ** | ۲/۱۵ ** |
| a شوری | ۱ | ۵۱/۸۱ ** | ۱۴۵/۲۵ * | ۲۷۷/۴۴ * | ۲۲۵۰/۹۱ ns | ۶۰۲/۰۸ ns | ۳۷۲/۹۶ ns | ۱۰/۷۳ ** | ۲/۵۷ ns | ۱/۶۱ ** |
| r×a | ۲ | ۲۱/۱۴ | ۸/۵۲ | ۳۱/۹۰ | ۲۷۰/۶۰ | ۱۱۹/۲۰ | ۱۷۸/۹۵ | ۰/۰۲ | ۱/۲۵ | ۰/۲۳ |
| b نوع مصرف | ۱ | ۳/۵۸ ns | ۵/۲۶ ns | ۰/۸۵ ns | ۲۵۲/۵۴ ns | ۳۵۸/۶۱ ns | ۰/۷۵ ns | ۰/۱۷ ns | ۰/۰۰۵ ns | ۰/۳۰ ns |
| c نوع کود | ۳ | ۱۴/۳۲ ** | ۲۱/۴۵ ns | ۱۱۷/۹۱ * | ۵۰۷۳/۹۶ ns | ۴۶۴۵/۳۲ * | ۲۴/۶۳ ns | ۰/۵۷ ns | ۰/۱۶ ns | ۰/۳۰ ns |
| a×b | ۱ | ۵/۵۱ ns | ۰/۵۴ ns | ۳۴/۶۸ ns | ۱۳۶/۳۵ ns | ۱۴۷/۷۰ ns | ۱۴/۹۶ ns | ۰/۰۶ ns | ۰/۱۰ ns | ۰/۴۰ ns |
| a×c | ۳ | ۱۱/۴۴ * | ۸/۹۴ ns | ۵۰/۱۴ ns | ۷۴۳/۵۲ ns | ۳۹۵/۶۵ ns | ۱۰۶/۴۱ ns | ۰/۲۶ ns | ۰/۷۲ ns | ۰/۰۴۹ ns |
| b×c | ۳ | ۲/۰۵ ns | ۲۲/۵۴ ns | ۴/۰۷ ns | ۳۰۱۱/۵۳ ns | ۱۴۹۶/۱۰ ns | ۲۶۸/۱۹ ns | ۰/۱۹ ns | ۱/۹۰ ns | ۰/۰۴۱ ns |
| a×b×c | ۳ | ۱/۷۷ ns | ۹/۲۳ ns | ۵/۸۱ ns | ۱۷۷۹/۰۸ ns | ۷۶۹/۱۳ ns | ۲۰۸/۷۶ ns | ۰/۰۳ ns | ۱/۴۸ ns | ۰/۰۸۵ ns |
| Error | ۲۸ | ۲/۸۷ | ۲۳/۶۱ | ۳۹/۰۲ | ۲۰۸۸/۳۲ | ۱۲۸۰/۷۳ | ۱۶۳/۳۱ | ۰/۳۴ | ۱/۱۵ | ۰/۱۳ |
| cv | – | ۲/۰۰۹ | ۱۴/۳۴ | ۱۰/۲۰ | ۳۴/۶۸ | ۳۸/۰۲ | ۱۳۳/۶۴ | ۴/۰۸ | ۳۳/۵۷ | ۱۰/۱۱ |

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد

**(جدول ٤)- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در مراحل مختلف رشد سورگوم**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | محتوی آب نسبی برگ | | | قرائت کلروفیل متر | | | شاخص سطح برگ | | | وزن خشک کل | |
| | | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی |
| r تکرار | ۲ | ۵/۶۲ ** | ۹/۲۶ ** | ۱۹/۲۶۰ ** | ۸۱/۶۵ * | ۱۲۸/۵۷ ns | ۲۰/۰۱ ns | ۰/۸۸ ns | ۵/۶۸ * | ۸/۸۲ ** | ۱۸۸۵/۷۳ ns | ٤٦٠٥/٣٢ ns | ۱۷٤۸۸/۲۷ ** |
| a شوری | ۱ | ۲۶/۶٤ ** | ۱۱/۶۲ ** | ۵۱/۸۱ ** | ۰/۳۳ ns | ۲/۹۵ ns | ۱٤٥/۲٥ * | ۰/۳۱ ns | ۲/۵۳ ns | ۲/۵۷ ns | ۷۰۳/۰۳ ns | ۵۲۶۲/٦٤ ns | ۲۲۵۰/۹۱ ns |
| r×a | ۲ | ۲/۹٤ | ۱۲/۸۱ | ۲۱/۱٤ | ٦۳/۰۰ | ۱٦/۰۹ | ۸/۵۲ | ۱/۳۳ | ۰/٤۰ | ۱/۲۵ | ۱۰۲۵/۵۱ | ۲۱۸۳/۸٤ | ۲۷۰/٦۰ |
| b نحوه مصرف | ۱ | ۰/۳۹ ns | ۰/۸٤ ns | ۳/۵۸ ns | ۷/۲۰ ns | ۰/۷۷ ns | ۵/۲٦ ns | ۰/۰۲ ns | ۰/۰٤ ns | ۰/۰۰۵ ns | ۲/۲۹ ns | ۹۳۲/۸۰ ns | ۲۵۲/۵٤ ns |
| c نوع کود | ۳ | ۱۰/۵٤ ** | ۹/۵۵ ** | ۱٤/۳۲ ** | ۲٦/٦۸ ns | ۷/۳٤ ns | ۲۱/٤۵ ns | ۱/۲٤ ns | ۱/٦۹ ns | ۰/۱٦ ns | ۲۲۸۸/۱۲ ns | ۵۲۳۱/۱٦ ns | ۵۰۷۳/۹٦ ns |
| a×b | ۱ | ۰/۲۱ ns | ۲/۷۰ ns | ۵/۵۱ ns | ۱/٤۰ ns | ۱۳/۷٦ ns | ۰/۵٤ ns | ۰/۷۲ ns | ۰/۰۷ ns | ۰/۱۰ ns | ۳٦۰/۲۵ ns | ۱۰٦۵/۹٦ ns | ۱۳٦/۳۵ ns |
| a×c | ۳ | ۰/۵۹ ns | ٤/۷۸ * | ۱۱/٤٤ * | ۲۸/۱۷ ns | ۲۵/۲۲ ns | ۸/۹٤ ns | ۱/۰۱ ns | ۰/۲۵ ns | ۰/۷۲ ns | ۱٦۳۵/۰۸ ns | ۵۵۳/٤۱ ns | ۷٤۳/۵۲ ns |
| b×c | ۳ | ۰/٦۵ ns | ۰/۳۳ ns | ۲/۰۵ ns | ۱/٦۲ ns | ۱۹/۳۲ ns | ۲۲/۵٤ ns | ۱/۵۹ ns | ۱/۱۹ ns | ۱/۹۰ ns | ۱٤۸٦/۲۷ ns | ۱۷۵۲/۰۱ ns | ۳۰۱۱/۵۳ ns |
| a×b×c | ۳ | ۰/۳۸ ns | ۰/٤۱ ns | ۱/۷۷ ns | ۹/۲۹ ns | ۱۰/۷۳ ns | ۹/۲۳ ns | ۰/۱۵ ns | ۰/٤۹ ns | ۱/٤۸ ns | ۱٤۷/۳۱ ns | ۱۸۱۲/٤٦ ns | ۱۷۷۹/۰۸ ns |
| Error | ۲۸ | ۰/٦۰ | ۱/۰٦ | ۲/۸۷ | ۱۹/۷۲ | ٤۱/۳۰ | ۲۳/٦۱ | ۰/۸۰ | ۱/۳۸ | ۱/۱۵ | ۹۹٦/۹۳ | ۱۹۹۷/۸۷ | ۲۰۸۸/۳۲ |
| cv | – | ۰/۸٤ | ۱/۱۵ | ۲/۰۰۹ | ۹/۹۱ | ۱٦/۲٤ | ۱٤/۳٤ | ٦۹/٦٤ | ۳۹/٦۹ | ۳۳/۵۷ | ٦٦/۲۹ | ٤۲/۲۰ | ۳٤/٦۸ |

*، ** و ns، به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵٪ و ۱٪ و عدم معنی‌دار بودن می‌باشد

براساس نظر اسکاتز و فانگمیر (۲۸) کاهش میزان کلروفیل در اثر تنش مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول است. این رادیکال‌های آزاد سبب پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه این رنگیزه می‌گردند. به نظر می‌رسد کاهش غلظت کلروفیل تحت شرایط تنش به واسطه اثر کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی و در نتیجه تجزیه کلروفیل باشد (۸).

نتایج جدول ۳ همچنین نشان می‌دهد نحوه مصرف عناصر به صورت افزودن به خاک یا محلول پاشی بر هیچ یک از صفات مورد بررسی در این آزمایش معنی‌دار نبود، ولی مصرف عناصر کلسیم و پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر RWC (در سطح یک درصد)، ارتفاع و وزن خشک ساقه (در سطح پنج درصد) داشت به طوریکه RWC به میزان ۸۵/۶ درصد از مصرف توام کلسیم و پتاسیم و بیشترین مقادیر ارتفاع (۶۴/۶۰ سانتیمتر)، وزن خشک کل (۱۴۶/۰۹ گرم در بوته)، وزن خشک ساقه (۱۰۸/۲۲ گرم در بوته) و قطر ساقه (۳/۷۰ سانتیمتر) از مصرف پتاسیم به دست آمد (جدول ۵). بیشترین مقدار کلروفیل به میزان ۳۵/۰۹ (۹/۹ درصد بیشتر از شاهد) نیز از مصرف توام کلسیم و پتاسیم حاصل شد اما تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت.

نتایج جدول ۴ نیز نشان می‌دهد نحوه مصرف عناصر بر هیچ یک از صفات مورد بررسی در مراحل مختلف رشد اثر معنی‌دار نداشت، ولی مصرف عناصر کلسیم و پتاسیم تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر RWC در هر سه مرحله داشت و هیچ یک از صفات دیگر تحت تأثیر مصرف کلسیم و پتاسیم قرار نگرفتند. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۶ نشان می‌دهد که بیشترین RWC در هر سه مرحله به ترتیب با میانگین ۹۲/۹، ۹۲/۵ و۸۵/۶ درصد از مصرف توام کلسیم و پتاسیم و بعد از آن از مصرف پتاسیم به تنهایی و کمترین مقادیر RWC از تیمار شاهد حاصل شد. بیشترین وزن خشک گیاه در مرحله پنجه‌زنی از مصرف کلسیم (۴۸/۳ درصد بیشتر از شاهد)، در مرحله ساقه‌روی از مصرف توام کلسیم و پتاسیم (۳۷/۹ درصد بیشتر از شاهد) و در مرحله خوشه‌دهی از مصرف پتاسیم به تنهایی (۳۰/۷ درصد بیشتر از شاهد) حاصل شد. به طور کلی مصرف کلسیم، پتاسیم و مصرف توام آنها از لحاظ وزن خشک گیاه با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشته ولی تفاوت معنی‌داری بین این تیمارها با تیمار شاهد وجود داشت. افزایش محتوی رطوبت نسبی برگ در اثر تغذیه گیاه با نیتروژن (۲۶) و پتاسیم گزارش شده است. جُوانی و همکاران (۱۸) نیز در بررسی‌های خود به افزایش عملکرد گیاهان با استفاده از پتاسیم اشاره کرده‌اند. افزایش مقدار کلروفیل با مصرف پتاسیم و کلسیم نیز با نتایج اشرف (۹) و گارگ و همکاران (۱۴) مطابقت دارد.

در بین اثرات متقابل، تنها اثر متقابل شوری در مصرف عناصر و برای RWC معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین بیشترین تعداد برگ (۱۵/۰۸) و RWC (۸۷/۵۶ درصد) از مصرف توام کلسیم و پتاسیم در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز تأثیر پتاسیم از سایر تیمارها بیشتر بوده و مصرف توام کلسیم و پتاسیم موجب کاهش تعداد برگ و محتوی رطوبت نسبی برگ (حتی کمتر از شاهد) در این شرایط شد. برای صفات ارتفاع و وزن خشک وضعیت تا حدی متفاوت بود به گونه‌ای که بیشترین ارتفاع (۶۷/۰۸ سانتیمتر) و وزن خشک کل (۱۵۵/۴۵ گرم در بوته) از مصرف پتاسیم در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر به دست آمده و در سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز بیشترین تأثیر بر این صفات مربوط به مصرف کلسیم بود. اگرچه مصرف پتاسیم در شرایط شوری برای برخی صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود اما مصرف پتاسیم در شرایط شوری منجر به بهبود رشد سورگوم در این شرایط شد (جدول ۷).

در بین اثرات متقابل، اثر متقابل شوری در مصرف عناصر و برای محتوی رطوبت نسبی برگ در مراحل ساقه‌دهی و خوشه‌دهی معنی‌دار بود (جدول ۴). به طوریکه بیشترین RWC در سطح شوری ۵ دسی زیمنس بر متر (در هر سه مرحله) و در سطح شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر (در مرحله پنجه‌زنی) از مصرف توام کلسیم و پتاسیم به دست آمد ولی در مراحل ساقه‌روی و خوشه دهی در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر از مصرف پتاسیم به تنهایی حاصل شد. کمترین مقادیر RWC نیز در هر سه مرحله از شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و عدم مصرف کود به دست آمد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل شوری× مصرف عناصر× نحوه مصرف آن‌ها نیز نشان داد که محلول پاشی کلسیم و پتاسیم در شوری ۵ دسی زیمنس بر متر بیشترین RWC را در هر سه مرحله به خود اختصاص داده ولی با افزایش شوری تا سطح ۱۰ دسی زیمنس بر متر، محلول‌پاشی پتاسیم به تنهایی بیشترین تأثیر را بر RWC در مراحل ساقه‌روی و خوشه دهی دارد.

بیشترین وزن خشک بوته در شوری ۵ دسی زیمنس بر متر نیز از مصرف توام کلسیم و پتاسیم به دست آمد ولی در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر بیشترین وزن خشک مربوط به مصرف کلسیم بود و این تیمار توانست در شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر تفاوت بسیار معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد ایجاد کند. بطور کلی مصرف کلسیم به صورت محلول پاشی و پتاسیم به صورت خاکی اثر مثبتی بر رشد سورگوم دارد. افزایش رشد سورگوم با مصرف پتاسیم در شرایط شوری احتمالاً به دلیل نقش مثبت پتاسیم در پایداری آنزیم‌ها و پروتئین‌ها و کاهش اثرات سمیت سدیم است (۶).

از آنجائیکه مصرف خاکی و محلول پاشی عناصر کلسیم و پتاسیم تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و هزینه کمتر مصرف خاکی کودها، پیشنهاد می‌شود در گیاه سورگوم و در محدوده شوری اعمال شده از پتاسیم به صورت خاکی استفاده شود ولی در شرایطی که کاربرد کود به صورت محلول پاشی است بهتر است از کلسیم استفاده شود.

**(جدول ۵)- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی و فرعی بر صفات مورد بررسی در مرحله خوشه دهی**

| صفات / تیمارها | محتوی آب نسبی برگ (%) | قرائت کلروفیل متر | ارتفاع (Cm) | وزن خشک (g/plant) | وزن خشک ساقه (g/plant) | وزن خشک برگ (g/plant) | تعداد برگ | شاخص سطح برگ | قطر ساقه (Cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **شوری** | | | | | | | | | |
| ۵ dS/m | ۸۵/۴۱ a | ۳۵/۶۰ a | ۶۳/۶۰ a | ۱۳۸/۶۰ a | ۹۷/۶۶ a | ۴۰/۷۶ a | ۱۴/۸۱ a | ۳/۴۳ a | ۳/۷۵ a |
| ۱۰ dS/m | ۸۳/۳۳ b | ۳۲/۲۱ b | ۵۸/۷۹ b | ۱۲۴/۹۰ a | ۹۰/۵۷ a | ۳۵/۱۹ a | ۱۳/۸۶ b | ۲/۹۶ a | ۳/۳۸ b |
| نحوه مصرف | | | | | | | | | |
| کاربرد خاکی | ۸۴/۱۰ a | ۳۳/۵۳ a | ۶۱/۳۲ a | ۱۳۴/۰۵ a | ۹۶/۸۵ a | ۳۷/۸۵ a | ۱۴/۴۰ a | ۳/۱۹ a | ۳/۶۵ a |
| محلول‌پاشی | ۸۴/۶۴ a | ۳۴/۱۹ a | ۶۱/۰۶ a | ۱۲۹/۴۶ a | ۹۱/۳۹ a | ۳۸/۱۰ a | ۱۴/۲۷ a | ۳/۲۱ a | ۳/۴۹ a |
| کلسیم و پتاسیم | | | | | | | | | |
| شاهد | ۸۳/۰۲ c | ۳۱/۹۶ a | ۵۸/۰۸ b | ۱۰۱/۲۳ b | ۶۵/۰۲ b | ۳۶/۲۱ a | ۱۴/۰۱ a | ۳/۰۶ a | ۳/۳۶ b |
| پتاسیم | ۸۴/۷۶ ab | ۳۴/۰۷ a | ۶۴/۶۰ a | ۱۴۶/۰۹ a | ۱۰۸/۲۲ a | ۳۹/۱۹ a | ۱۴/۴۵ a | ۳/۳۰ a | ۳/۷۰ a |
| کلسیم | ۸۴/۱۰ bc | ۳۴/۳۲ a | ۶۳/۰۵ ab | ۱۴۰/۲۵ ab | ۱۰۲/۸۴ a | ۳۷/۴۰ a | ۱۴/۴۹ a | ۳/۱۵ a | ۳/۶۹ a |
| کلسیم+پتاسیم | ۸۵/۶۱ a | ۳۵/۰۹ a | ۵۹/۰۳ b | ۱۳۹/۴۵ ab | ۱۰۰/۴۱ a | ۳۹/۱۰ a | ۱۴/۴۰ a | ۳/۲۹ a | ۳/۵۲ ab |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری ندارند

**(جدول ٦)- نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی و فرعی بر صفات مورد بررسی در مراحل مختلف رشد سورگوم**

| تیمارها | محتوی آب نسبی برگ | | | قرائت کلروفیل متر | | | شاخص سطح برگ | | | وزن خشک کل | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی | پنجه‌زنی | ساقه‌روی | خوشه‌دهی |
| شوری | | | | | | | | | | | | |
| ۵ dS/m | ۹۲/۴۸ a | ۹۰/۰۰ a | ۸۵/۴۱ a | ۴۴/۷۰ a | ۳۹/۸۱ a | ۳۵/۶۰ a | ۱/۳۶ a | ۳/۱۹ a | ۳/۴۳ a | ۵۱/۴۵ a | ۱۱۶/۳۷ a | ۱۳۸/۶۰ a |
| ۱۰ dS/m | ۹۰/۹۹ b | ۸۹/۰۱ b | ۸۳/۳۳ b | ۴۴/۸۶ a | ۳۹/۳۱ a | ۳۲/۲۱ b | ۱/۲۰ a | ۲/۷۳ a | ۲/۹۶ b | ۴۳/۸۰ b | ۹۵/۴۳ b | ۱۲۴/۹۰ b |
| نحوه مصرف | | | | | | | | | | | | |
| کاربرد خاکی | ۹۱/۶۴ a | ۸۹/۳۷ a | ۸۴/۱۰ a | ۴۵/۱۷ a | ۳۹/۴۳ a | ۳۳/۵۳ a | ۱/۲۶ a | ۲/۹۳ a | ۳/۱۹ a | ۴۷/۴۰ a | ۱۰۱/۴۹ a | ۱۳۴/۰۵ a |
| محلول‌پاشی | ۹۱/۸۲ a | ۸۹/۶۴ a | ۸۴/۶۴ a | ۴۴/۳۹ a | ۳۹/۶۹a | ۳۴/۱۹ a | ۱/۳۰ a | ۲/۹۹ a | ۳/۲۱ a | ۴۷/۸۴ a | ۱۱۰/۳۱ b | ۱۲۹/۴۶ b |
| کلسیم و پتاسیم | | | | | | | | | | | | |
| شاهد | ۹۰/۶۵ c | ۸۸/۵۳ c | ۸۳/۰۲ c | ۴۳/۳۰ c | ۳۸/۵۵ c | ۳۱/۹۶ c | ۰/۸۵ c | ۲/۴۱ c | ۳/۰۶ c | ۳۵/۸۳ b | ۷۵/۳۷ b | ۱۰۱/۲۳ b |
| پتاسیم | ۹۱/۸۴ b | ۸۹/۸۵ ab | ۸۴/۷۶ ab | ۴۵/۳۰ ab | ۳۹/۶۰ ab | ۳۴/۰۷ ab | ۱/۳۳ ab | ۳/۰۸ ab | ۳/۳۰ ab | ۴۶/۲۹ ab | ۱۱۶/۷۷ a | ۱۴۶/۰۹ a |
| کلسیم | ۹۱/۵۲ b | ۸۹/۰۷ bc | ۸۴/۱۰ bc | ۴۶/۶۳ bc | ۴۰/۴۵ bc | ۳۴/۳۲ bc | ۱/۶۳ bc | ۳/۱۱ bc | ۳/۱۵ bc | ۶۷/۳۳ a | ۱۱۰/۰۸ ab | ۱۴۰/۲۵ ab |
| کلسیم+پتاسیم | ۹۲/۹۲ a | ۹۰/۵۷ a | ۸۵/۶۱ a | ۴۳/۹۰ a | ۳۹/۶۵ a | ۳۵/۰۹ a | ۱/۳۱ a | ۳/۲۴ a | ۳/۲۹ a | ۴۱/۰۶ ab | ۱۲۱/۳۹ a | ۱۳۹/۴۵ ab |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری ندارند

**(جدول ۷)- نتایج اثر متقابل برصفات مورد بررسی در مرحله خوشه دهی**

| تیمارها | | محتوی آب نسبی برگ (%) | قرائت کلروفیل متر | ارتفاع (Cm) | وزن خشک | وزن خشک ساقه | وزن خشک برگ | تعداد برگ | شاخص سطح برگ | قطر ساقه(cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | (g/plant) | | | | | |
| **اثر متقابل شوری×نوع مصرف کلسیم و پتاسیم(a×b)** | | | | | | | | | | |
| ۵ dS/m | کاربرد خاکی | ۸۴/۸۰ a | ۳۵/۱۶ a | ۶۴/۵۸ a | ۱۴۲/۵۸ a | ۱۰۲/۱۵ a | ۴۰/۰۸ a | ۱۴/۹۰ a | ۳/۳۷ a | ۳/۹۲ a |
| | محلول‌پاشی | ۸۶/۰۲ a | ۳۶/۰۴ a | ۶۲/۶۱ a | ۱۳۴/۶۲ a | ۹۳/۱۷ a | ۴۱/۴۵ a | ۱۴/۷۱ ab | ۳/۴۹ a | ۳/۵۸ a |
| ۱۰ dS/m | خاک کاربرد | ۸۳/۴۰ a | ۳۱/۹۰ a | ۵۸/۰۷ a | ۱۲۵/۵۱ a | ۹۱/۵۵ a | ۳۵/۶۲ a | ۱۳/۸۹ ab | ۳/۰۰ a | ۳/۳۷ a |
| | محلول‌پاشی | ۸۳/۲۷ a | ۳۲/۳۵ a | ۵۹/۵۰ a | ۱۲۴/۳۰ a | ۸۹/۶۰ a | ۳۴/۷۵ a | ۱۳/۸۴ b | ۲/۹۳ a | ۳/۴۰ a |
| اثر متقابل شوری×مصرف کلسیم و پتاسیم (a×c) | | | | | | | | | | |
| ۵ dS/m | شاهد | bc۸۳/۲۶ | ۳۴/۴۳ a | ab۶۰/۷۳ | ۱۱۷/۰۰ a | ۷۴/۳۳ a | ۴۲/۶۶ a | ۱۴/۴۶ ab | ۳/۵۹ a | ۳/۵۳ a |
| | پتاسیم | abc۸۴/۹۱ | ۳۴/۷۰ a | a۶۷/۸۰ | ۱۵۵/۴۵ a | ۱۱۱/۷۶ a | ۴۲/۹۸ a | ۱۴/۸۶ a | ۳/۶۲ a | ۳/۸۶ a |
| | کلسیم | ab۸۵/۹۱ | ۳۶/۷۰ a | ab۶۲/۵۶ | ۱۳۷/۲۱ a | ۹۸/۵۵ a | ۳۸/۶۶ a | ۱۴/۸۳ a | ۳/۲۵ a | ۳/۸۱ a |
| | کلسیم+پتاسیم | a۸۷/۵۶ | ۳۶/۵۸ a | ab۶۳/۳۰ | ۱۴۴/۷۵ a | ۱۰۶/۰۰ a | ۳۸/۷۵ a | ۱۵/۰۸ a | ۳/۲۶ a | ۳/۸۰ a |
| ۱۰ dS/m | شاهد | ab۸۲/۷۸ | ۲۹/۵۰ a | b۵۵/۴۳ | ۸۵/۴۶ b | ۵۵/۷۰ b | ۲۹/۷۶ b | ۱۳/۵۶ b | ۲/۵۳ a | ۳/۲۰ a |
| | پتاسیم | ab۸۴/۶۱ | ۳۳/۴۵ a | ab۶۱/۴۱ | ۱۳۶/۷۳ a | ۱۰۴/۶۶ a | ۳۵/۴۰ a | ۱۴/۰۳ ab | ۲/۹۸ a | ۳/۵۳ a |
| | کلسیم | c۸۲/۲۹ | ۳۱/۹۵ a | ab۶۳/۵۵ | ۱۴۳/۲۸ a | ۱۰۷/۱۳ a | ۳۶/۱۵ a | ۱۴/۱۵ ab | ۳/۰۴ a | ۳/۵۶ a |
| | کلسیم+پتاسیم | bc۸۳/۶۶ | ۳۳/۶۰ a | b۵۴/۷۶ | ۱۳۴/۱۵ a | ۹۴/۸۱ ab | ۳۹/۴۵ a | ۱۳/۷۱ b | ۳/۳۲ a | ۳/۲۵ a |
| اثر متقابل نحوه مصرف×مصرف کلسیم و پتاسیم (b×c) | | | | | | | | | | |
| | شاهد | ۸۳/۰۲ a | ۳۱/۹۶ a | ۵۸/۰۸ a | ۱۰۱/۲۳ a | ۶۵/۰۱ a | ۳۶/۲۱ a | ۱۴/۰۱ a | ۳/۰۶ a | ۳/۳۶ a |
| کاربرد خاکی | پتاسیم | ۸۳/۸۷ a | ۳۵/۵۱ a | ۶۵/۵۱ a | ۱۴۲/۹۱ a | ۱۰۶/۶۸ a | ۳۸/۸۶ a | ۱۴/۴۵ a | ۳/۲۷ a | ۳/۷۸ a |
| | کلسیم | ۸۳/۹۶ a | ۳۲/۶۵ a | ۶۳/۱۸ a | ۱۲۷/۸۸ a | ۹۶/۳۵ a | ۳۱/۵۳ a | ۱۴/۴۸ a | ۲/۶۵ a | ۳/۷۸ a |
| | کلسیم+پتاسیم | ۸۵/۵۴ a | ۳۴/۰۰ a | ۵۸/۵۳ a | ۱۶۴/۱۶ a | ۱۱۹/۳۶ a | ۴۴/۸۰ a | ۱۴/۶۵ a | ۳/۷۷ a | ۳/۶۶ a |
| محلول‌پاشی | پتاسیم | ۸۵/۶۵ a | ۳۲/۶۳ a | ۶۳/۷۰ a | ۱۴۹/۲۶ a | ۱۰۹/۷۵ a | ۳۹/۵۱ a | ۱۴/۴۵ a | ۳/۳۲ a | ۳/۶۱ a |
| | کلسیم | ۸۴/۲۴ a | ۳۶/۰۰ a | ۶۲/۹۳ a | ۱۵۲/۶۱ a | ۱۰۹/۳۳ a | ۴۳/۲۸ a | ۱۴/۵۰ a | ۳/۶۴ a | ۳/۶۰ a |
| | کلسیم+پتاسیم | ۸۵/۶۷ a | ۳۶/۱۸ a | ۵۹/۵۳ a | ۱۱۴/۷۳ a | ۸۱/۴۵ a | ۳۳/۴۰ a | ۱۴/۱۵ a | ۲/۸۱ a | ۳/۳۸ a |

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری ندارند

## منابع


۱- حق نیا غ. ۱۳۶۸. راهنمای تحمل گیاهان نسبت به شوری. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- حق‌نیا غ. و کوچکی ع. ۱۳۶۷. ظرفیت تولید گیاهان شورزی و خشکی‌زی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۲ (۲):۹۱-۸۳.

۳- حیدری شریف‌آباد ح. ۱۳۸۰. گیاه و شوری. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران. ۱۹۰ صفحه.

۴- کافی م. و دامغانی ع. ۱۳۷۹. مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۵- صفاری ح. ۱۳۷۵. بررسی توازن پتاسیم در تعدادی از مزارع گندم‌خیز استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ۹۴ صفحه.

۶- نجف ح. و میرمعصومی م. ۱۳۷۶. بررسی عکس‌العمل‌های فیزیولوژیکی سویا در شرایط تنش شوری. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ۱(۱۳): ۸۰-۷۵.

7- Abdelbaki G.K., Siefritz F., Man H.M., Welner H., Kaldenhoff R. and Kaiser W.M. 2000. Nitrate reductase in Zea mays L. under salinity. Plant Cell Environ. 23:15–521.

8- Ahmadi A. and Ceiocemardeh A. 2004. Effect of drought stress on soluble carbohydrate, chlorophyll and proline

in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Iranian J. Agric. Sci. 35: 753-763.
9- Ashraf M. 1994. Breeding for salinity tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 13:17-42.
10- Azizi M. and Rashed Mohasel M.H. 1998. Effect of various irrigation regimes and potassium fertilizer on yield and yield components of soybean. J. Agric. Sci. Tech. 12(2): 76-82.
11- Banuls j., Legaz F. and Primo-Milo E. 1991. Salinity- calcium intractions on growth and ionic concentration of citrus plants. Plant. Soil. 133: 39-46.
12- Carne G.R. and Bowman D.C. 1991. Kinetic of maize leaf elongation. 1. Increased yield threshold limits short term, steady- state elongation rates after exposure to salinity. J. Exp. Bot. 42: 1417-1426.
13- Davenport R.J., Reid R.J. and Smith F.A. 1997. Sodium- calcium interactions in two wheat species differing in sality tolerance. Phisiologia Plantarium. 99: 323- 327.
14- Garg B.K., Vyas S.P., Kathjo S. and Lahiri A.N. 1998. Influence of water deficit stress at various growth stages on some enzymes of nitrogen metabolism and yield in cluster bean genotypes. J. Plant Physiol, 3: 214-218.
15- Greenway H. and Munns R. 1980. Meahcanism of salt tolerance in non- halophytes. Amn Rev Plant Physiol. 13: 149-190.
16- Hajlaoui H., El Ayeb N., Garrec J.P. and Denden M. 2009. 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. Indust. Crop .Prod. In Press.
17- Hawkins H.J. and Lewis O.M. 1993. Combination effect of NaCl salinity, nitrogen from and calcium concentration on growth, ionic content and exchange properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtus. New physiologists. 124:161-170.
18- Jouany C., Colomb B. and Bosc M. 1996. Longe-term effects of potassium fertilization on yields and fertility status of calcareous soils of south-west France. Europ. J. of Agron, 5: 287-294.
19- Levent T.A., Kaya C., Dikilitas M. and Higgs D. 2008. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. Environ.Exp. Botany. 62:1–9.
20- Mahajan S. and Narendra T. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Arch .Biochemis. Biophysic. 444:139–158
21- Mass E.V., and Hoffman G.J. 1977. Crop salt tolerance current assessment.J. Irrig. Drainage Div. Am. Soc. Civ. Eng. 103:115-134.
22- Munns R. 1988. Why measure osmotic adjustement? Aust. J. Plant Physiol. 15: 717-726.
23- Netonda G.W., Onyango J.C. and Beck E. 2004. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. Crop Sci. 44: 806- 811.
24- Niu X., Bressan R.A., Hasegawa P.M. and Pardo J.M. 1995. Homeostatise in NaCl stress environment. Plant Physiol. 109:735-742.
25- Parida A.K. and Das A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicol. Environ. Safety 60: 324–349.
26- Raid R.J. and Smith F.A. 2000. The limits of sodium/ calcium interactions in Plant growth. Aust. J. Plant Physiol. 27: 709- 715.
27- Saneoka H.R., Moghaieb E.A., Premachandra G.S. and Fujita K. 2004. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrotis palustris* Huds. Environ.Exp. Botany. 52: 131-138.
28- Schutz H. and Fangmier E. 2001. Growth and yield responses of spring Wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated $Co_2$ and water limitation. Environ. Pollut. 114: 187-194.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 2, May-Jun 2010, p. 385-393

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۴، شماره ۲، خرداد - تیر ۱۳۸۹، ص. ۳۹۳-۳۸۵

# Effects of Calcium, Potassium and Method of Application on Sorghum *(Sorghum bicolor* L .) Morphological and Physiological Traits in the Presence of Salinity

**S. Sadeghi Lotfabadi[1]* - M. Kafi[2] - H.R. Khazai[3]**

## Abstract

In order to study salt stress, calcium and potassium effects and type of application on sorghum plant, a field experiment was arranged in randomized complete block in split plot design at the Research Field of Center of Excellence for Special Crops, Ferdowsi University of Mashhad at 2008. Experimental treatments were included two levels of salinity (5 and 10 $dS.m^{-1}$) as main plots and factorial of 2 types of application and four levels of $Ca^{2+}$ and $K^{+}$ as main plots in 3 replication. Growth parameters such as plant hight, leaf, stem and plant dry weight, stem diameter measured at 4 growth stages. Chlorophyll index, RWC and LAI measured in 3 stages of growth. Result of statistical analysis showed that salt stress leads to decrease the plant height, chlorophyll index and RWC, but did not affect biomass and LAI. Application of Ca and K only affected RWC, height and stem dry matter. Result showed that use of Ca and K lead to improved growth parameters of sorghum at salt stress conditions but no significant differences between application of sole K and K+Ca treatments were obsered. So, to reduce production expenses, application of only K fertilizer is proposed for soghum production under salt stress conditions.

**Keywords:** Salinity stress, Calcium, Potassium, Type of application, Sorghum

1,2,3- MSc Student of Agronomy, Professor and Associate Professor, Respectively, Faculty of Agriculture, Agronomy and plant breeding Dept, Ferdowsi University of Mashhad
(* - Corresponding author Email: ss1_10063@yahoo.com)