Archive of SID

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۵۱۳-۵۰۳

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 3, Fall. 2016, p. 503-513

تأثیر سیلیکون روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor L.*) تحت تنش شوری

سیما حسیبی[۱] - حسن فرح‌بخش[۲*] - غلامرضا خواجویی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۴

چکیده

امروزه شوری خاک از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است، که به‌عنوان یک مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح می‌باشد. از این‌رو به‌منظور بررسی تأثیر سیلیکون در جهت افزایش تحمل به شوری سورگوم دانه‌ای، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خُردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش شوری و نرمال در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهیدباهنر کرمان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌اجرا درآمد. عامل اصلی شامل سیلیسیم در دو سطح (صفر و شش میلی‌مولار) و عامل فرعی شامل ژنوتیپ‌ها (ارقام سپیده، پیام و لاین‌های TN-04-95، TN-4-70، TN-04-71، TN-04-39، TN-04-107، TN-04-100، TN-04-37، TN-04-68، TN-04-83، TN-04-62) بود. نتایج تجزیه مرکب نشان‌داد که سیلیسیم به‌طور معنی‌دار عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰دانه و نفوذپذیری غشاء پلاسمایی را تحت شرایط تنش شوری بهبود بخشید. بیش‌ترین میزان عملکرد در شرایط تنش شوری از ارقام سپیده و پیام حاصل شد. نتایج نشان‌داد که ژنوتیپ‌های پیام و TN-04-39 به‌ترتیب مقاوم‌ترین و حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها بودند. به‌طور کلی، می‌توان گفت که سیلیسیم تا حدی قادر است اثرات منفی شوری بر عملکرد سورگوم دانه‌ای و اجزای آن را در هر دو شرایط تنش و غیر تنش کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، محتوای آب نسبی، نشت یونی

مقدمه

شوری خاک از جمله تنش‌های محیطی است که به‌عنوان یک مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح است. پس از خشکی از مهم ترین و متداول‌ترین تنش محیطی در سطح جهان و از جمله ایران است (Shahidi *et al*., 2010). از جمله دلایلی که می‌توان در زمینه به‌وجود آمدن شوری در خاک ذکر نمود، تبخیر زیاد آب از سطح خاک و استفاده از آب‌های با کیفیت پایین و شور می‌باشند (Emam, 2004). مهم‌ترین واکنش گیاه به افزایش شوری خاک، کاهش سرعت رشد است. در مواجه با شوری، ابتدا رشد رویشی گیاه متأثر می‌شود (Khaladbarin and Eslamzadeh, 2001)؛ بنابراین وجود مقادیر زیاد نمک در محیط ریشه یک محدودیت جدی برای تولید محصول در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد. سورگوم (ذرت خوشه‌ای) با نام علمی *Sorghum bicolor* L. از تیره غلات گیاهی است، یک‌ساله، روزکوتاه، خودگشن و متحمل به شوری و خشکی که از نظر میزان تولید در سطح جهانی بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، ذرت (*Zea mays*)، برنج (*Oryza sativa*) و جو (*Hordeum vulgare*) در ردیف پنجم می‌باشد (Stoskopf, 1985) و در تغذیه دام و طیور نقش مهمی را به عهده دارد. علی‌رغم فراوان بودن سیلیسیم در سطح زمین به‌دلیل همراه بودن آن با سایر عناصر از دسترس گیاهان خارج بوده وگیاهان تنها قادر به‌استفاده از فرم سیلسیلیک‌اسید ($Si(OH_4)$) آن می‌باشند و جزء عناصر ضروری برای رشد گیاه قرار نگرفته است. مطالعات زیادی در زمینه تأثیر سیلیکون در رشد گیاه، چه در شرایط ایده‌آل و چه در شرایطی که گیاه تحت تنش قرارگرفته انجام شده است و همه این مطالعات تأثیر مثبت سیلیکون را در رشد و عملکرد گیاه در هر دو شرایط و به‌خصوص در شرایط تنش به‌اثبات رسانده‌اند (Tahir *et al*., 2006). سیلیکون به‌طور چشم‌گیری اثرات انواع تنش‌های غیرزنده از جمله شوری، خشکی، سرما و هم‌چنین سمیت عناصر سنگین، آلومینیوم و منگنز را کاهش می‌دهد (Liang *et al*., 2006). از جمله دلایلی که می‌توانند در کاهش اثرات زیان‌بار تنش شوری در گیاه توسط سیلیسیم دخیل باشند، می‌توان به بهبود وضعیت آب در گیاه، افزایش فعالیت فتوسنتز، تعدیل اثرات مخرب یون‌هایی مانند سدیم به‌وسیله جلوگیری و

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار بخش زراعت و اصلاح‌نباتات دانشگاه شهید باهنر کرمان، دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی
۳- دانشیار بخش زراعت و اصلاح‌نباتات دانشگاه شهید باهنر کرمان، دکتری زراعت (اکولوژی کشاورزی)
(*- نویسنده مسئول: (Email: hfarahbakhsh@uk.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش جذب یون مذکور و افزایش فعالیت آنزیم (H^+-ATPase)که باعث افزایش جذب پتاسیم از خاک و حرکت آن به‌سمت ساقه می‌گردد، اشاره نمود (Rohanipour, 2010). کاربرد برگی عناصر غذایی میکرو و ماکرو به‌عنوان روشی مؤثر برای بهبود جذب و افزایش سرعت جذب این عناصر توسط برگ‌ها و اندام‌های هوایی ثابت شده است، زیرا این عناصر بدون این‌که تحت تأثیر عوامل محدودکننده خاک در محدوده ریشه قرار گیرند، به‌راحتی توسط برگ‌ها و از طریق کوتیکول و روزنه‌ها جذب و با طی کوتاه‌ترین مسافت ممکن وارد دستجات آوندی، سلول‌های مزوفیل و آپوپلاست می‌شوند (Emadi, 2011). معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه‌بَر کمبود مواد آلی خاک، شاهد pHهای بالا و مقادیر زیاد $CaCo_3$ نیز در خاک هستیم (Malakouti, 2008). با توجه به‌این‌که در حال حاضر تنش شوری مهم‌ترین تنش غیرزیستی به‌خصوص در مناطق جنوبی کشورمان بوده که محدودکننده تولید بسیاری از محصولات کشاورزی است (Peyvast *et al*., 2009). هم‌چنین با توجه به تأثیری که سیلیسیم در بهبود مقاومت به تنش‌های مختلف در سایر گیاهان داشته است، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سیلیسیم در بهبود تحمل به شوری سورگوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان با عرض‌جغرافیایی ۳۰درجه و طول‌جغرافیایی ۵۶درجه، میانگین بارندگی ۱۵۰میلی‌متر با ارتفاع ۱۷۵۴متر از سطح دریا و با آب‌وهوای گرم و خشک واقع در جنوب شرقی ایران انجام شد. ژنوتیپ‌های مورد استفاده شامل ارقام سپیده، پیام و لاین‌های TN-04-68, TN-04-62, TN-04-95, TN-04-70, TN-04-71, TN-04-39, TN-04-107, TN-04-100, TN-04-37, TN-04-83 بودند که از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر کرج تهیه گردید. در این مطالعه تأثیر دو سطح سیلیسیم (صفر و شش میلی‌مولار) و دو سطح شوری (صفر و ۱۰دسی‌زیمنس بر متر) بر گیاه سورگوم موردبررسی قرار گرفت. برای تهیه زمین ابتدا از گاوآهن برگردان‌دار برای عملیات شخم استفاده شد. سپس کلوخه‌ها توسط دیسک خُرد و اقدام به جوی‌وپشته شد. کاشت بذور بر روی پشته‌ها به‌صورت دستی و آبیاری توسط کنتور حجمی بلافاصله پس از کاشت انجام گردید. خاک محل آزمایش دارای بافت شنی-لومی بود. در این آزمایش از سدیم سیلیکات به‌عنوان منبع سیلیسیم استفاده شد. محلول‌پاشی سیلیکون طی دو مرحله و هم‌زمان با اعمال تنش شوری صورت گرفت؛ به‌نحوی‌که، محلول‌پاشی اول در مرحله چهار-شش برگی و محلول‌پاشی دوم در مرحله شش برگ کاملاً توسعه‌یافته با غلظت شش میلی‌مولار صورت گرفت. محلول‌پاشی توسط سم‌پاش دستی و به‌میزان ۸۰۰لیتر در هکتار صورت گرفت. به‌منظور جلوگیری از واردشدن خسارت ناگهانی به گیاه و در نتیجه نابودی گیاهچه، اعمال شوری به‌تدریج صورت گرفت؛ به‌طوری‌که اولین تنش با میزان EC=۵ در مرحله شش برگ کاملاً توسعه‌یافته اعمال گردید و سپس به‌تدریج در آبیاری‌های بعدی تنش وارده بیشتر شد تا به حد موردنظر (۱۰دسی‌زیمنس بر متر) رسید. فاصله بین دو بوته روی ردیف ۱۰سانتی‌متر، فاصله بین ردیف‌های کاشت ۵۰سانتی‌متر و طول هر پشته ۱/۵متر در نظر گرفته شد. کاشت بذور در تاریخ یک خرداد ۱۳۹۲ صورت پذیرفت. بذور گیاهان تحت تیمار شوری نیز در بلوک‌های سیمانی به‌ابعاد ۸۰×۱۰۰×۱۰۰ سانتی‌متر با فواصل فوق‌الذکر در همان محل کشت شدند. قبل از کاشت، جهت تعیین ظرفیت زراعی خاک، آبیاری توسط کنتور حجمی تا زمان خروج آب از لوله‌های تعبیه شده در کف کرت (اشباع خاک) صورت گرفت. پس از گذشت ۲۴ساعت آب خروجی هر کرت (آب ثقلی) اندازه‌گیری و پس از کسر از مقدار آب داده شده، مقدار حاصل به‌عنوان تقریبی از ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شد. با توجه به مشخص شدن مقدار آب امکان ثابت نگه داشتن سطح شوری در کرت‌ها فراهم گردید. قبل از کاشت با توجه به مقدار فسفر خاک (۱۰ppm)، کود شیمیایی فسفات‌تریپل به‌مقدار لازم تا عمق ۳۰cm خاک مخلوط گردید. برای تأمین ازت از کود اوره به‌صورت سرک استفاده شد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

براساس روش Ritchie and Nguyen, 1990 نمونه‌برداری از آخرین برگ توسعه‌یافته تمامی تیمارهای آزمایشی انجام شد و نمونه‌ها بلافاصله درون پاکت زیپ‌دار در ظرفی محتوای یخ قرار گرفته و در آزمایشگاه وزن تَر آن‌ها به‌وسیله ترازوی دارای دقت ۰،۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد (F_w). سپس تمامی نمونه‌ها در آب‌مقطر قرار داده شده و به‌مدت ۲۴ساعت در یخچال با دمای چهار درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بعد از ۲۴ساعت وزن اشباع برگ‌ها اندازه‌گیری (S_w) و برگ‌ها به‌مدت ۲۴ساعت دیگر در دمای ۷۰درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفته و وزن خشک هرکدام تعیین گردید (D_w). با قرار دادن اعداد حاصل از توزین در فرمول زیر، محتوای نسبی آب برگ به‌دست آمد.

$$RWC\ (\%)=(F_w - D_w) / (S_w - D_w) \times 100$$

میزان نفوذپذیری غشاء پلاسمایی

براساس روش Zheng *et al*, 2008 برگ‌های انتخاب شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شده و با دقت توسط آب‌مقطر شسته شدند. برگ‌ها را در ظرف‌های کوچک دارویی که در آن ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر قرار داشت گذاشته و برای مدت حدود نیم‌ساعت توسط شیکر و با دور۱۰۰rpm به‌هم‌زده شدند؛ بعد از این مرحله EC محلول گرفته شد (EC_0). سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ساعت در یخچال گذاشته شدند و بعد از گذشت این مدت EC محلول اندازه‌گیری

www.SID.ir

Archive of SID

گردید (EC_1). سپس همان نمونه‌ها در داخل اتوکلاو و دمای ۱۲۰درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲۰دقیقه قرار گرفتند و بعد از خنک شدن مجدداً EC توسط دستگاه ECسنج قرائت گردید (EC_2) و در نهایت با استفاده از رابطه زیر نفوذپذیری غشا پلاسمایی محاسبه گردید.

$$\text{Relative Permeability (\%)} = (EC_1 - EC_0) / (EC_2 - EC_0) \times 100$$

شاخص کلروفیل

جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD) استفاده شد. نحوه انجام کار بدین‌صورت بود که تعداد پنج برگ عاری از گردوغبار از هر گیاه که شاخص کل گیاه بودند، انتخاب و با قراردادن برگ در بین دو الکترود دستگاه، میانگین قرائت‌های انجام شده به‌عنوان محتوای کلروفیل آن گیاه در نظر گرفته شد.

شاخص سطح برگ

جهت محاسبه شاخص سطح برگ طول و پهنای برگ در عریض‌ترین قسمت به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری و بعد از ضرب کردن طول×عرض×عدد ثابت ۰/۷۵ شاخص سطح برگ بر حسب سانتی‌مترمربع گزارش گردید (Rashed Mohasel *et al*., 1997).

وزن خشک کل اندام هوایی گیاه

پس از برداشت یک مترمربع از گیاهان از سطح خاک و انتقال به آزمایشگاه، تا رسیدن به وزن ثابت در آون با درجه‌حرارت ۷۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک آن‌ها بر حسب گرم بر مترمربع محاسبه شد.

جهت تعیین عملکرد دانه پس از برداشت بوته‌های هر کرت، خوشه‌ها جدا و سپس دانه‌های هر خوشه جدا و توزین شدند. نمونه‌ای از دانه‌های هر کرت جهت تعیین رطوبت در آون گذاشته شد و پس از تعیین رطوبت عملکرد بر اساس ۱۴درصد رطوبت برای هر تیمار محاسبه شد. علاوه‌بَر این صفات وزن ۱۰۰۰دانه، شاخص برداشت و ارتفاع بوته نیز تعیین گردید.

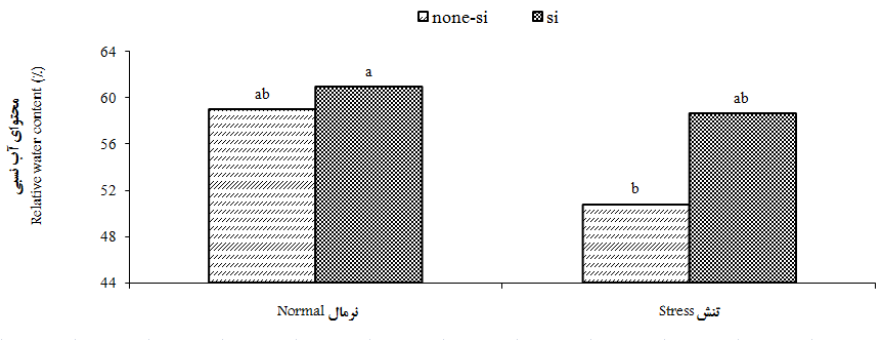
تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق به‌صورت کرت‌های خُردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط تنش شوری و نرمال صورت گرفت؛ سیلیسیم در کرت اصلی و ژنوتیپ‌ها در کرت فرعی قرار گرفتند. سپس دو آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب آنالیز شدند. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن و سطح معنی‌داری (α=۰/۰۵) استفاده شد و داده‌ها توسط نرم‌افزارهای SAS، Excel و MSTAT-C آنالیز شدند.

نتایج و بحث

محتوای آب نسبی برگ

محتوای آب نسبی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل شوری و سیلیکون و هم‌چنین اثر متقابل ژنوتیپ و شوری قرار گرفت (جدول ۱). در شرایط نرمال تفاوت معنی‌داری در محتوای آب نسبی بین دو سطح سیلیسیم وجود نداشت؛ در حالی‌که در شرایط تنش استفاده از سیلیسیم منجر به افزایش محتوای آب نسبی برگ در حد شرایط نرمال شد و عدم کاربرد سیلیسیم سبب کاهش ۱۳درصدی در محتوای آب نسبی برگ شد (شکل ۱). بیش‌ترین محتوای آب نسبی در رقم سپیده تحت شرایط اعمال تنش شوری و سیلیکون مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با لاین‌های TN-04-95 وTN-04-70 داشت. علاوه‌بَراین می‌توان گفت که سیلیکون تحت شرایط تنش شوری محتوای آب نسبی گیاه را در ارقام سپیده، پیام و لاین‌های TN-04-62، TN-04-37، TN-04-83 و TN-04-68 نسبت به شرایط نرمال افزایش داده است، هرچند که این افزایش معنی‌دار نبود (شکل ۲).



شکل ۱- اثر متقابل شوری و سیلیسیم بر محتوای آب نسبی

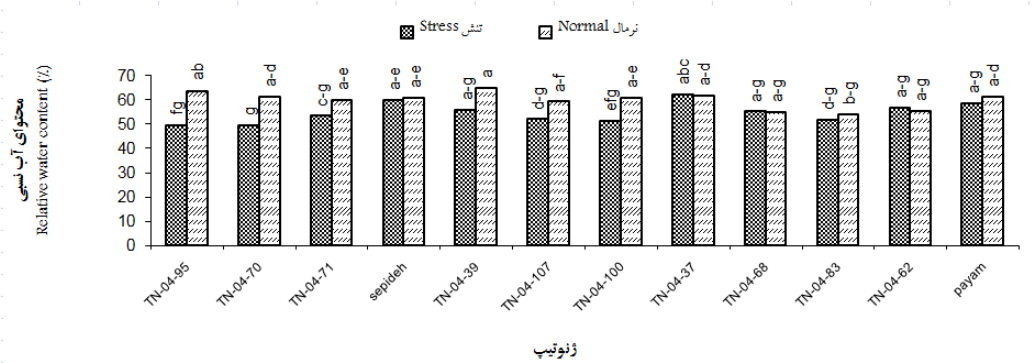
Figure 1- The interaction of salinity and silicon on relative water content

در اثر شوری مقدار آب مصرفی گیاه کاهش می‌یابد، که می‌تواند مربوط به کاهش پتانسیل آب محیط ریشه و کاهش توان گیاه در

www.SID.ir

Archive of SID

جذب آب باشد (Chaudnuri and Chouduri, 1998). در تحقیقی کاهش محتوای آب نسبی در اثر کاربرد تنش شوری در ذرت (*Zea mays*) گزارش گردید و نتایج آن هم‌چنین نشان‌داد که با افزایش سطح شوری محتوای آب نسبی نیز بیشتر کاهش می‌یابد (El-Bassiouny and Bekheta, 2005). محتوای آب در گیاهانی که تحت شرایط شوری رشد می‌کنند، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند؛ اما اضافه‌کردن سیلیکون به محیط رشد با شرایط شور از این کاهش جلوگیری به عمل آورده و باعث افزایش در محتوای آب گیاهی می‌شود (Raven, 1983).



شکل ۲- اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر محتوای آب نسبی

Figure 2- The interaction of salinity and genotype on relative water content

وزن ۱۰۰۰دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان‌داد که شوری تأثیر معنی‌داری بر وزن ۱۰۰۰دانه داشت و با اعمال تنش به‌طور قابل‌توجهی از وزن ۱۰۰۰دانه کاسته شد. هم‌چنین در هر دو شرایط تنش و نرمال، کاربرد سیلیسیم سبب افزایش وزن ۱۰۰۰دانه گردید که این افزایش، در شرایط تنش معنی‌دار بود (جدول ۲). شوری به‌سبب تداخل در جذب عناصر غذایی و کاهش میزان فتوسنتز تولیدی منجر به کاهش طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰۰دانه، عملکرد دانه، سبوس و کاهش کاه‌وکلش در گیاه اسفرزه (*Plantago psyllium*) گردید (Singh and Pal, 1995). سیلیس باعث رشد رویشی و افزایش تولید ماده خشک، کاهش تعرق و افزایش تعداد برگ‌ها می‌شود و از این طریق موجب افزایش ماده خشک، تعداد پنجه و وزن ۱۰۰۰دانه می‌گردد و بر کیفیت دانه و کمیت آن اثر می‌گذارد (Agarie *et al*., 1993).

عملکرد دانه

بیش‌ترین میزان عملکرد دانه با میزان ۹۸۷/۶گرم در مترمربع در لاین TN-04-39 مشاهده شد که تحت شرایط نرمال و محلول‌پاشی سیلیسیم قرار گرفته بود. براساس نتایج جدول ۲ عملکرد دانه تحت شرایط تنش شوری و کاربرد سیلیسم برای ژنوتیپ‌های پیام، سپیده، TN-04-68، TN-04-37 نسبت به شرایط نرمال افزایش نشان‌داد؛ به‌طوری‌که رقم سپیده تحت این شرایط افزایش ۳۸درصدی نسبت به شرایط نرمال و عدم کاربرد سیلیسیم داشت. سیلیس در گیاه برنج باعث افزایش عملکرد شد. با مصرف سیلیسیم عملکرد دانه به‌طور غیر معنی‌داری افزایش یافت (Mobasser *et al*., 2008).

وزن خشک کل اندام هوایی گیاه

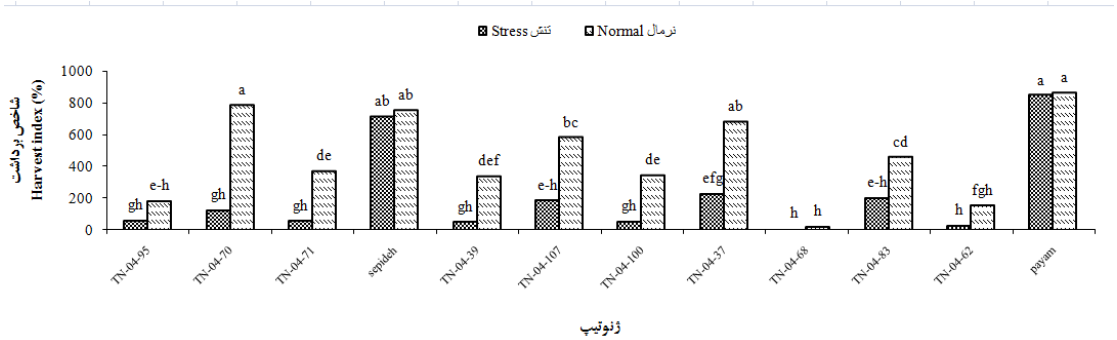
وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری ($p\leq$۰/۰۵) تحت تأثیر سیلیسیم قرار گرفت (جدول ۱). سیلیسیم توانست تحت تنش شوری وزن خشک را در ژنوتیپ‌های پیام، سپیده، TN-04-107، TN-04-70، TN-04-37 نسبت به شرایط نرمال و عدم برگ‌پاشی سیلیکون افزایش دهد. با توجه به نتایج جدول ۲ اضافه‌نمودن سیلیکون به ژنوتیپ سپیده و TN-04-37 تحت شرایط تنش به شکل قابل‌ملاحظه‌ای سبب تجمع ماده خشک در اندام هوایی گشت؛ این تأثیر سیلیسیم در شرایطی که گیاه تحت تنش قرار نداشت مشاهده نگردید. با این‌حال بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی متعلق به لاین TN-04-68 با وزن تقریبی چهارکیلوگرم در مترمربع بود که تحت شرایط نرمال و کاربرد سیلیکون رشد کرده بود. وزن خشک گیاهی که متأثر از رشد گیاه و و انجام فعالیت فتوسنتز در گیاه است مسلماً با کاهش رشد گیاهی و فعالیت فتوسنتز، کاهش می‌یابد (Mirmohammadi and Ghareh yazi, 2002). در آزمایش انجام گرفته بروی گیاه ذرت مشاهده شد که وزن خشک اندام هوایی گیاهانی که تحت تنش شوری در بازه زمانی ۱۵روزه قرار گرفته بودند، ۴۵درصد کمتر از تیمار شاهد بود (Neto *et al*., 2006). وزن تَر و خشک گیاه جو (*Hordeum vulgare*) در شرایطی که گیاه تحت شرایط شوری رشد کند کاهش پیدا می‌کند اما این تأثیر منفی تنش شوری با اضافه‌کردن سیلیسیم کاهش پیدا می‌کند (Liang *et al*., 2003).

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص برداشت

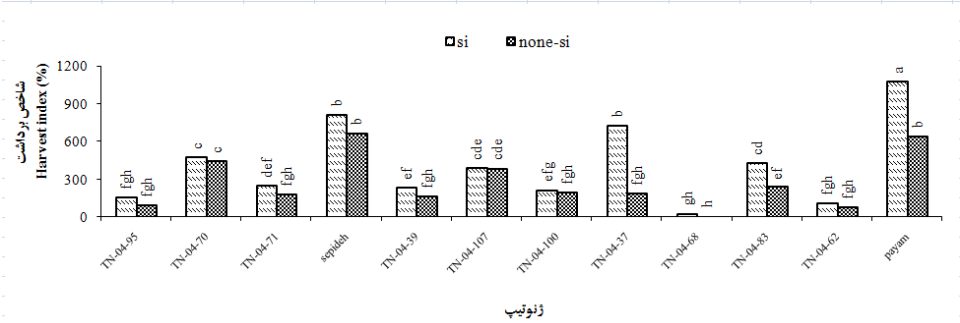
در این تحقیق اثرات متقابل شوری و ژنوتیپ در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). از بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه به‌ترتیب ارقام پیام و سپیده کمترین حساسیت به شوری را نشان‌دادند. شاخص برداشت سایر ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر شوری بیش از ۵۰درصد کاهش نشان‌داد (شکل ۳). Sedghi, 2007 نشان‌داد که شاخص برداشت تحت تأثیر مصرف سیلیسیم قرار نگرفت، اما روند آن افزایشی بود، زیرا میزان عملکرد دانه را نسبت به عملکرد کاه با شدت بیشتری افزایش داد.



شکل ۳- اثر متقابل شوری و ژنوتیپ بر شاخص برداشت

Figure 3- The interaction of salinity and genotypes on Harvest Index

شاخص برداشت تحت تأثیر اثر متقابل سیلیس و رقم در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). طبق شکل ۴ بیش‌ترین میزان شاخص برداشت در رقم پیام مشاهده شد که تحت شرایط تنش شوری و مصرف سیلیکون رشد کرده بود. سپس رقم سپیده بیش‌ترین میزان شاخص برداشت را در همین شرایط به‌خود اختصاص داد، به‌طوری‌که تفاوت معنی‌داری با لاین TN-04-37 که تحت شرایط نرمال و مصرف سیلیکون رشد کرده بود نداشت. کمترین شاخص برداشت نیز مربوط به لاین TN-04-68 در شرایط تنش و عدم مصرف سیلیکون مشاهده گردید.



شکل ٤- اثر متقابل سیلیسیم و ژنوتیپ بر شاخص برداشت

Figure 4- The interaction of silicon and genotypes on Harvest Index

شاخص سطح برگ

در این مطالعه شاخص سطح برگ تحت تأثیر اثر متقابل شوری، سیلیکون و رقم در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شده است (جدول ۱). براساس نتایج جدول ۲، سیلیکون توانسته است در شرایط تنش شوری سطح برگ را در ارقام سپیده، پیام و لاین‌های TN-04-62, TN-04-100 TN-04-37 TN-04-83, TN-04-68 به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد؛ گرچه این افزایش برای ژنوتیپ‌های پیام و TN-04-100 معنی‌دار نبود. بیش‌ترین شاخص سطح برگ مربوط به لاین TN-04-39 بود که تحت شرایط نرمال و اعمال سیلیکون رشد کرده بود؛ در حالی‌که تفاوت معنی‌داری با لاین TN-04-62 که در شرایط تنش همراه با اعمال سیلیکون رشد کرده بود نداشت. کاهش در توسعه و گسترش برگ‌ها توسط تنش شوری می‌تواند به‌علت کاهش در توسعه پذیری دیواره سلولی و یا افزایش در آستانه عملکرد به وجود آید (Hu and Schmidhalter, 2004). شاخص سطح برگ

www.SID.ir

Archive of SID

در کلزا (*Brassica napus*) با افزایش شوری کاهش می‌یابد که این کاهش در نتیجه ممانعت از بزرگ‌شدن و تقسیم سلول است (Kazimi, 2004). در تحقیقی نتایج نشان‌داد گیاهانی که تحت تأثیر شوری قرار داشتند در مقایسه با تیمار شاهد، کاهش ۵۸درصدی در سطح برگ شان نشان می‌دهند در حالی‌که اگر به گیاهان تحت تأثیر شوری، سیلیکون اضافه شود فقط ۲۰درصد کاهش در سطح برگ در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده می‌شود (Romero-Aranda, 2006).

ارتفاع

براساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد سیلیکون در شرایط تنش سبب بهبود ارتفاع در رقم سپیده و لاین TN-04-37 نسبت به گیاهان شاهد شد، اگرچه که این تفاوت معنی‌دار نبود (نتایج نشان‌داده نشده است). از آنجا که نوسانات ارتفاع گیاه معمولاً بارزترین مشخصه ژنتیکی و تغییر شرایط محیطی در اغلب گیاهان است، گاهی‌اوقات افزایش ارتفاع بوته یک مزیت برای رقابت با سایر بوته‌ها در جامعه گیاهی محسوب می‌شود که یکی از نتایج آن تشکیل برگ‌های جدید در بالای سایه‌انداز است. این خصوصیت، کارآمدترین برگ‌ها را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار می‌دهد (Ozouni douji *et al*., 2007). سیلیسیم باعث بهبود ارتفاع گیاه و هم‌چنین باعث افزایش مقاومت به ورس در گیاه برنج می‌شود (Fallah, 2008).

جدول ۱-تجزیه واریانس تیمارهای مختلف برای صفات اندازه‌گیری شده در سورگوم دانه‌ای

Table 1- Analysis of variance for traits in sorghum treatments

منابع تغییر SOV	درجه آزادی df	ارتفاع Hieght (cm)	وزن هزاردانه (1000-grain weight) (gr)	عملکرد دانه (Grain Yield gr m^{-2})	وزن خشک اندام هوایی (gr m^{-2}) (Shoot dry weight gr m^{-2})	شاخص برداشت Harvest Index	شاخص کلروفیل SPAD Number	شاخص سطح برگ (Leaf area index)	نفوذپذیری غشاء (Relative permeability %)	محتوای نسبی آب برگ relative water content
بلوک(R)	2	305.87ns	63.64ns	1757.73ns	3517ns	1091.07ns	34.18ns	0.04ns	1.34ns	65.52 ns
شوری(Salt)	1	185940.86**	4776.82**	316457.03**	10845631.44**	2225662.11**	6177.63**	2.13**	2096.68**	992.03**
خطا ۱(Error1)	2	422.28	20.65	13762.46	21009.65	26402.16	16.72	0.005	0.74	9.74
سیلیکون (Silicon)	1	6635.5**	876.98**	1163348.78**	6429961.83**	651818.23**	133.02*	11.72**	1303.28**	861.05**
شوری×سیلیکون Salt×Silicon	1	1605.58*	64.43*	97411.70**	155356.67ns	45.47ns	550**	0.59*	12.19*	319.41*
خطا ۲(Error2)	4	469.34	19.20	4289.35	25533.78	27362.12	3.46	0.02	2.27	44.50
ژنوتیپ Genotype	11	10516.77**	185.20**	140446.82**	8845585.83**	787739.86**	105.12**	0.86**	253.40**	89.85*
ژنوتیپ×شوری Salt×Genotype	11	4757.78**	169.77**	224812.11**	1237663**	116232.28**	64.55**	0.88**	141.97**	82.20*
ژنوتیپ×سیلیکون Silicon Genotype×	11	157.86ns	16.51ns	11394.77*	276120.34**	90578.07**	24.80 ns	0.21*	49.58**	7.57 ns
ژنوتیپ×سیلیکون ×شوری Silicon Genotype×Salt	11	221.58ns	3077 ns	32034.41**	108934.60*	12624.66ns	24.73ns	0.57**	17.19**	11.64ns
خطای کل Total Error	88	225.56	14.51	3680.763	48283.9	10129.89	15.64	0.06	2.85	25.09
ضریب تغییرات CV(%)		15.40	20.24	22.27	17.44	29.65	12.95	29.83	20.98	8.73

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج‌درصد، یک‌درصد و غیر معنی‌دار.

*, **, ns: significant at 5%, 1% and non-significant, respectively

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه شوری، سیلیکون و ژنوتیپ

Table 2- Comparison of the interactions between the salt, silicon and genotype

تیمارهای آزمایش(Treatments)			وزن ۱۰۰۰دانه (1000-grain weight) (gr)	وزن خشک اندام هوایی گیاه (Shoot dry weight gr m^{-2})	عملکرد دانه (Grain Yield gr m^{-2})	نفوذپذیری غشاءپلاسمایی (Relative permeability %)
شوری (Salt)	سیلیکون (Silicon)	ژنوتیپ (Genotype)				
عدم تنش (Normal)	کاربرد سیلیکون (Si)	TN-04-95	26.57 a-g	3088.19 b	907.26 ab	3.73 m-t
		TN-04-70	31.15 a	1192.60 g-k	836.20 b	1.73 p-u
		TN-04-71	30.83 ab	1707 f	670.93 cd	0.77 stv
		Sepideh	22.46 d-m	347.38 q-v	234.06 mno	1.19 r-u
		TN-04-39	30.04 abc	2922.55 bc	987.06 a	0.53 tu
		TN-04-107	28.10 a-g	1084.52 g-l	590.7 def	1.51 p-u
		TN-04-100	29.58 a-e	2131.56 e	715.02 c	1.33 q-u
		TN-04-37	20.78 g-o	177 tuv	144.34 o-t	0.29 u
		TN-04-68	31.58 a	4058.15 a	110.92 p-u	1.87 o-u
		TN-04-83	18.52 i-q	1016.6 h-m	525.38 e-h	0.35 u
		TN-04-62	24.92 a-k	3107.26 b	485.82 f-i	2.36 n-u
		Payam	22 f-m	504.71 o-u	427.35 h-k	2.51 n-u
	عدم کاربرد سیلیکون (None-Si)	TN-04-95	25.19 a-j	2925.81 bc	375.46 jkl	9.60 gh
		TN-04-70	29.81 a-d	862.22 j-o	546.25 d-g	22.32 c
		TN-04-71	28.59 a-f	1240.51 g-k	380.18 i-l	4.42 k-r
		Sepideh	21.32 f-n	228.30 s-v	154.61 o-s	5.87 i-m
		TN-04-39	26.43 a-h	2078.41 e	607.70 de	5.47 j-n
		TN-04-107	25.35 a-j	581.15 n-t	305.50 lmn	5.12 j-o
		TN-04-100	27.40 a-g	1402.53 fgh	453 g-j	6.37 h-m
		TN-04-37	18.74 i-p	93.41 uv	30.41 tu	4.81 k-p
		TN-04-68	18.07 j-q	2806.95 bc	53.78 stu	7.29 h-k
		TN-04-83	17.42 k-r	669.54 l-r	213.13 nop	1.47 q-u
		TN-04-62	17.51 k-r	2247.23 de	330.27 klm	6.13 i-m
		Payam	17.52 k-r	341.10 q-v	205.96 n-q	4.51 k-r
تنش (Stress)	کاربرد سیلیکون (Si)	TN-04-95	15.89 m-r	2580.36 cd	190.33 o-r	6.38 h-m
		TN-04-70	18.08 j-q	969.05 i-n	117.06 o-u	12.88 f
		TN-04-71	22.59 c-m	955.03 i-n	78.12 r-u	4.21 k-r
		Sepideh	23.54 b-l	750.52 l-r	540.11 efg	4.61 k-q
		TN-04-39	12.25 p-u	1079.28 g-l	106.12 p-u	5.64 i-n
		TN-04-107	12.64 p-u	768.83 l-q	142.04 o-t	3.91 l-s
		TN-04-100	19.03 h-p	1298.68 ghi	86.64 q-u	3.69 m-t
		TN-04-37	22.23 e-m	577.07 n-t	234.19 mno	4.47 k-r
		TN-04-68	5.50 uvm	2663.88 c	56.30 stu	30.22 ab
		TN-04-83	13.34 o-t	636.22 m-s	156.65 o-s	8.90 ghi
		TN-04-62	3.52 vw	1284.75 ghi	72.59 r-u	6.4 h-m
		Payam	25.72 a-i	399.07 p-v	475.38 ghi	11.46 fg
	عدم کاربرد سیلیکون (None-Si)	TN-04-95	8.32 s-v	2122.05 e	100.45 p-u	18.43 de
		TN-04-70	14.23 n-s	694.88 l-r	79.19 r-u	27.48 b
		TN-04-71	11.18 q-u	849.52 k-o	29.87 tu	10.57 fg
		Sepideh	17.83 j-r	181.12 tuv	91.75 q-v	6.61 h-m
		TN-04-39	0 w	517.11 o-t	0 u	7.10 h-l
		TN-04-107	11.77 p-u	718.60 l-r	127.9 o-t	7.13 h-l
		TN-04-100	18.69 i-q	824.46 k-p	33.46 tu	8.41 g-j
		TN-04-37	10.46 r-v	80.44 v	1.02 u	9.60 gh
		TN-04-68	5.50 uvw	1449.48 fg	80.22 r-u	31.75 a
		TN-04-83	6.61 t-w	636.50 m- s	90.40 q-u	16.33 e
		TN-04-62	0.06 w	1280.05 g-j	1.27 u	18.42 de
		Payam	16.16 l-r	325.34 r-v	167.25 o-s	20.13 cd

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند

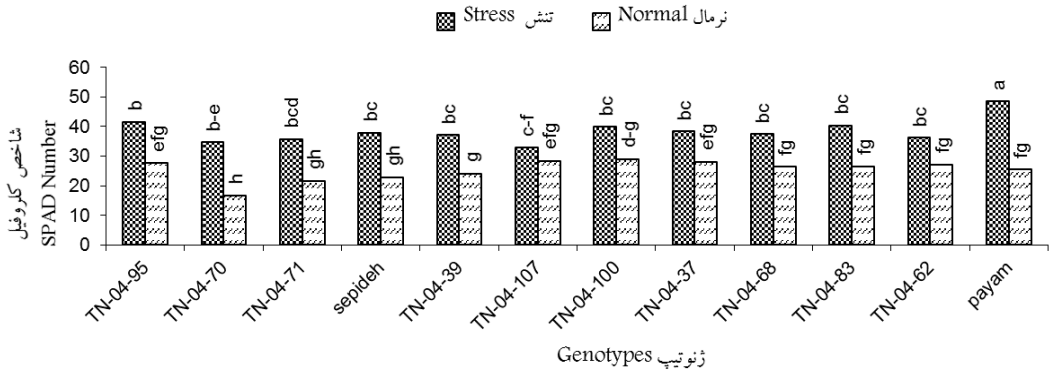
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level

www.SID.ir

Archive of SID

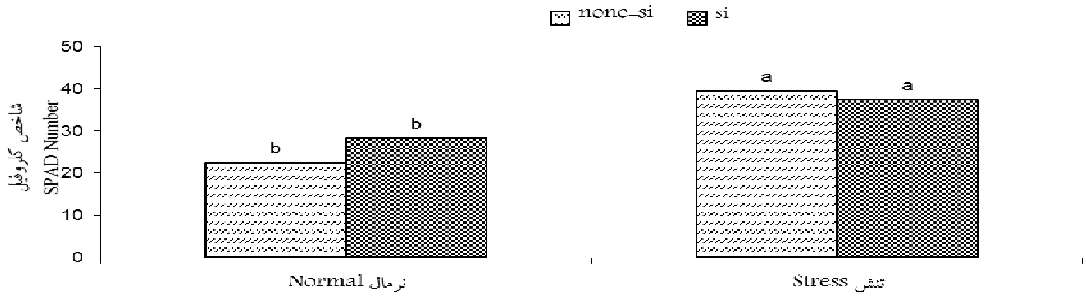
شاخص کلروفیل

Borzouei *et al*, 2011 نشان‌دادند شوری تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a نداشت، ولی باعث کاهش معنی‌داری میزان کلروفیل b و هم‌چنین افزایش میزان کل کلروفیل دو رقم گندم (*Triticum aestivum*) گردید. Sioseh mardeh, 1998 با بررسی بروی سه رقم گندم به‌این نتیجه رسید که در شرایط شوری موازنه و تعادل رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌هم می‌خورد و اشاره کرد که در گیاهان خیلی حساس کلروفیل‌ها در اثر شوری آسیب دیده در حالی‌که در گیاهان متحمل به شوری میزان کلروفیل افزایش نشان می‌دهد. این افزایش احتمالاً به‌دلیل تجمع کلروفیل های a و b می‌باشد، ولی در گیاهان حساس به شوری کاهش در میزان کلروفیل عمدتاً به‌دلیل تخریب کلروفیل a است که تجزیه‌پذیرتر به‌نظر می‌رسد. باتوجه به متحمل بودن سورگوم به شوری، میزان کلروفیل همه ژنوتیپ‌های موردمطالعه در شرایط تنش افزایش داشته است (شکل ۵). بیش‌ترین میزان کلروفیل مربوط به رقم پیام در شرایط تنش و عدم کاربرد سیلیکون مشاهده شد. با توجه به جدول تجزیه واریانس سیلیکون در شرایط اعمال تنش شوری میزان کلروفیل گیاهی را در سطح معنی‌داری یک‌درصد نسبت به شرایط نرمال افزایش داده است؛ منتها به‌نظر می‌رسد که سیلیکون در شرایط تنش از افزایش بیش از حد کلروفیل جلوگیری نموده است، زیرا که میزان کلروفیل در شرایط تنش و عدم کاربرد سیلیکون بیشتر از شرایطی است که سیلیکون به‌کار نرفته است (شکل ۶).



شکل ۵- اثر متقابل شوری و رقم بر شاخص کلروفیل

Figure 5- The interaction of salinity and genotypes on SPAD Number



شکل ٦- اثر متقابل شوری و سیلیسیم بر شاخص کلروفیل

Figure 6- The interaction of Salinity and silicon on SPAD Number

نفوذپذیری غشاء پلاسمایی

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس نفوذپذیری غشاء پلاسمایی تحت تأثیر اثر متقابل سه‌گانه شوری، سیلیسیم و ژنوتیپ در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان‌داد که بیش‌ترین نفوذپذیری غشاء مربوط به لاین TN-04-68 می‌باشد، که تحت تنش شوری و عدم مصرف سیلیکون قرار گرفته بود و اختلاف معنی‌داری با سایر ژنوتیپ‌ها داشت. مصرف سیلیکون تحت شرایط تنش شوری توانسته بود، سبب بهبود پایداری غشاءپلاسمایی در ژنوتیپ‌های TN-04-95, TN-04-70, TN-04-71, TN-04-100, TN-04-107, TN-04-37, TN-04- و سپیده شود. هم‌چنین تحت شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

تنش شوری و عدم مصرف سیلیسیم کمترین نفوذپذیری غشاء در رقم سپیده مشاهده گردید (جدول ۲). جهت اندازه‌گیری نفوذپذیری غشاء پلاسمایی از پارامتری تحت عنوان تراوش یونی غشاء استفاده می‌شود که هرچه تراوش یونی بیشتر باشد در نتیجه نفوذپذیری غشاء هم بیشتر می‌شود. نتایج تحقیقات مختلف حاکی از افزایش نفوذپذیری غشا پلاسمایی در اثر ایجاد شرایط تنش شوری است که علت این امر، ایجاد شرایط اکسیدی است که یون سدیم به‌طور غیرمستقیم و با تولید رادیکال‌های آزاد در غشاءپلاسمایی به‌وجود می‌آورد و به‌تبع آن پراکسیدی‌شدن لیپیدهای غشاء افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه نفوذپذیری غشاء و حساسیت آن به ورود عوامل بیماری زا و یون‌های مزاحم کم می‌شود (Jenks, 2007). در آزمایشی تنش شوری (کلریدسدیم ۱۵۰میلی‌مولار) باعث افزایش معنی‌دار در سطح محتوای مالون‌دی‌آلدهید در گیاه ارزن (*Panucum miliaceum*) شد که این افزایش سطح پراُکسیداسیون غشاء را نشان می‌دهد و با توجه به این یافته‌ها تنش شوری باعث افزایش نفوذپذیری غشاء پلاسمایی و افزایش حساسیت گیاه به یون‌های مزاحمی مثل سدیم می‌شود (Sreenivasulu *et al*., 1999). با انجام آزمایشی که تأثیرات سیلیکون را بر روی ذرت رشد کرده تحت شرایط تنش شوری بررسی می‌نمود، مشخص شد که تنش شوری باعث آسیب به غشاء می‌شود و با بسته‌شدن سلول‌های روزنه، جذب Co_2را کاهش می‌دهد و در نتیجه باعث کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیکی و آنتی‌اُکسیدانتی و افزایش پراُکسیداسیون غشاء شده و نفوذپذیری غشا را افزایش می‌دهد، اما اضافه‌کردن سیلیسیم به محیط رشد با تحریک فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اُکسیدانتی باعث کاهش نفوذپذیری غشاءپلاسمایی و در نتیجه کاهش آثار زیان‌بار شوری می‌شود (Moussa, 2006).

نتیجه‌گیری

استفاده از سیلیسیم سبب بهبود صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سورگوم شد. به‌خصوص تحت شرایط تنش شوری اکثر ژنوتیپ‌ها پاسخ مثبتی به عنصر سیلیسیم دادند. طبق نتایج به‌دست آمده تحت شرایط تنش شوری و کاربرد سیلیسیم بیش‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در رقم سپیده (۵۴۰گرم در مترمربع) و پیام (۴۷۵گرم در مترمربع) مشاهده گردید؛ کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به لاین‌های TN-04-39 و TN-04-68 در شرایط تنش و عدم کاربرد سیلیسیم بود. به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد، از بین ژنوتیپ‌های مورد آزمایش رقم سپیده، پیام و لاین TN-04-100بهترین پاسخ به سیلیسیم در شرایط تنش را داشته و تنش شوری را بهتر تحمل کرده‌اند؛ حساس‌ترین ژنوتیپ‌های موردمطالعه به شوری نیز لاین‌های TN-04-39, TN-04-68, TN-04-62 بودند . بنابراین به‌طور کلی به‌نظر می‌رسد که می‌توان از سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید در افزایش عملکرد این گیاه و افزایش مقاومت آن به شوری استفاده نمود.

References

1. Agarie, S., Agata, H., Kubota, F. and Kaufman, B.1993. Effect of silicon on growth.dry matter production and photosynthesis in rapeseed, crop production and improvement technology No.34.
2. Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H. R., Khorasani, A. and Majdabadi, A. 2011. Study of physiological charities and activity of superoxide enzyme on two sensitive and resistant varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different stage of growth by irrigation with saline water. (In Persian with English abstract)
3. Chaudnuri, K., and Chouduri, M.A. 1998. Effects of short term NaCl stress on water relation and gas exchange if two jute species. Journal of Plant Biology 40: 373-383.
4. El-Bassiouny, H. M .S. and Bekheta, M. A. 2005. Effect of salt stress on relative water content, lipid peroxidation, polyamines, amino acids and ethylene of two wheat cultivars. International Journal of Agriculture and Biology 3: 363-368.
5. Emadi, M. 2011. Effect of foliar application of polyamines and some essential nutrients on qualitative and quantitative characteristics of different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) in ahvaz. Master thesis. Agriculture College of Chamran University. (In Persian with English abstract)
6. Emam, Y. 2004. Agriculture of Grain. Publication of Shiraz University. (In Persian)
7. Fallah, A. 2008. Effect of Silicon on the parameters which affected on lodging of rice plant grown under hydroponically condition in a greenhouse experiment. Silicon in Agriculture Conference. South Africa. 21-36 October. (In Persian with English abstract)
8. Hu, Y., and Schmidhalter, U. 2004. Limitation of salt stress to plant growth. In- Plant Toxicology (Hock, B. A., and E. F., Elstner (eds) Marcel Dekker. New York Pp: 191-224.
9. Jenks, M.A., Hasegawa, P.M. and Jain, S. M. 2007. Advances in molecular breeding towaed drought and salt tolerant crops. Published by Springer.
10. Kazemi, F. 2004. Effect of different levels of salinity on growth, yield and yield components of spring rapeseed cultivars. Master of thesis. Department of Plant Production in Ramin Agricultural Research and Higher Education Center. Chamran University of Ahvaz. Pp: 185. (In Persian with English abstract)

www.SID.ir

Archive of SID

11. Khaladbarin, B., and Eslamzadeh, T. 2001. Mineral nutrition of higher plants. Translation of Marschner book. Publications of Shiraz University. Shiraz. Iran. (In Persian)
12. Liang, Y., Chen, Q., Liu, Q., Zhang, W. and Ding, R. 2003. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt stressed barely (*Hordeum vulgar* L.). Journal of Plant Physiology 160: 1157-1164.
13. Liang, Y., Zhu, Y. and Christie, P. 2006. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A Review. Environmental Pollution 147(2): 422-428.
14. Malakouti, M. J. 2008. The effect of Micro elements in ensuring the efficient use of Macro elements. Journal of Turkish agriculture and forestry 215: 22-32. (In Persian with English abstract)
15. Mir mohamadi, A. and Ghareh yazi, B. 2002. Physiological and breeding aspects of Salinity stress in plants. Publications of Isfahan University. Pp: 274. (In Persian)
16. Mobasser, H.R., Ghanbari mellidareh, A., and Sadeghi, A.H. 2008. Effect of Silicon on the amount of nitrogen and agronomic traits in rice (*Oryza sativa* L.). Silicon in Agriculture Conference. South Africa. 26-31 October. (In Persian with English abstract)
17. Moussa, H.R. 2006. Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed Maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 2: 293-297.
18. Neto, A.D., Prisco, J.T., Eneas-Filho, J., De abreu, C. E. and Gomes-Filho, E. 2006. Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt tolerant and salt-sensitive maize genotypes. Environmental and Experimental Botany 56: 87-94.
19. Ozouni douji, A., Isfahani, A. M., Samieezadeh lahiji, H. A. and Rabiei, M. 2007. Effect of planting density on yield and yield components of two petalled and without petal canola. Journal of Iranian Crop Sciences 2:60-76. (In Persian with English abstract)
20. Peyvast, Gh., Zare, M. and Samieezadeh, H. 2009. Interaction between the different levels of Silicon and Salinity on screw lettuce grown under culture condition in a thin layer of nutrient solution. Journal of Olum & Sanaye Keshavarzi 22: 79-87. (In Persian with English abstract)
21. Rashed mohasel, M. H., Hoseini, M., Abdi, M. V. and Molafilabi, A. 1997. Agriculture of Grain. Publications of Jahad Daneshgahi Mashhad. (In Persian)
22. Raven, J. A. 1983. The transport and function of silicon in plants. Journal of Biological Reviewes 58: 179-207.
23. Ritchie, S.W., and Nguyen, H.T. 1990. "Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistence. Crop sience 30: 105-111.
24. Rohanipour, A. 2010. Effect of Silicon on corn (*Zea mays*) grown under Salinity and hydroponic culture. Master of thesis. Chamran University of Ahvaz. Pp: 166. (In Persian with English abstract)
25. Romero-Aranda, M. R., Juardo, O., Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. Journal of plant Physiology 163: 847-855.
26. Sedghi, A. 2007. Effect of silicon and separation of nitrogen in reaction with use of silicon in rice (*Oriza sativa* L.). Master of thesis. Azad University of varamin. Pp: 90. (In Persian with English abstract)
27. Shahidi, R., Kamkar, B., Latifi, N. and Galeshi, S. 2010. The Effect of different levels of Salinity stress on yield and yield components of hulls barley plants (*Hordeum vulgar* L.). Journal of Electronic Crop Production 2:49-63. (In Persian with English abstract)
28. Singh, L. and Pal., B. 1995. Effect of water salinity on yield attributing characters of blonde psyllium (*Plantago ovata*). Indian Journal of Agricultural Sciences 65:503-505.
29. Sioseh mardeh, A. 1998. Effect of Salinity on changes of Plant ion content at different stages of growth of three varieties of wheat. Master thesis. Agriculture College of Tehran University. Pp: 142. (In Persian with English abstract)
30. Sreenivasulu, N., Ramanjulu, S., Ramachandra-kini, K., Prakash, H. S., Shekar-Shetty, H., Savithri, H. S., and Sudhakar, C. 1999. Toatl peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. Journal of Plant Science 141: 1-9.
31. Stoskopf, N.C. 1985. Cereal Grain Crop.Reston,Virginia,U.S.A.
32. Tahir, M. A., Rahmatullah, T., Aziz, M., Kanwal, A. S. and Maqsood, M.A. 2006. Beneficial effects of Silicon in wheat (Triticum aestivum L.) under salinity stress. Pakistan Journal of Botany 38(5): 1715-1722.
33. Zheng, Y., Jia, A., Ning, T., Xu, J., Li, Z. and Jiang, G. 2008. Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. Journal of Plant Physiology 165: 1455-1465.

www.SID.ir

Archive of SID

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 14, No. 3, Fall. 2016, p. 503-513

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۵۱۳-۵۰۳

The Effect of Silicon on some Morpho-physiological Characteristics and Grain Yield of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under Salt Stress

H. Farahbakhsh[1]- S. Hasibi[2*]- Gh. Khajoeinejad[3]

Received: 13-04-2015
Accepted: 05-07-2015

Introduction

Nowadays, salinity is one of the limiting factors for crop production in arid and semi-arid regions. On the other hand, sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a self-pollinated and short-day plant, which partly has been adapted to salinity and water stress conditions; also play an important role in humans, livestock and poultry nourishments. All studies have showed the positive effects of Silicon on growth and yield of plants in both normal and stress conditions. The aim of this experiment was to improve salinity tolerance of Sorghum by application of Silicon.

Materials and Methods

A split plot experiment based on randomized complete block design with three replications in both normal and salt stress conditions was carried out at research farm of Shahid Bahonar University of Kerman in 2013. Silicon treatments (0 and 6 mM) were considered as main plot and various sorghum genotypes (payam, sepideh, TN-4-70, TN-04-71, TN-04-39, TN-04-107, TN-04-100, TN-04-37, TN-04-68, TN-04-83, TN-04-62 and TN-04-95) were assigned to sub plots. The sodium silicate was used as silica source. The data were analyzed by SAS software using combine analysis. Means comparisons were accomplished by Duncan multiple range test at 5% probability level. Some of the measured traits were as follow: Relative water content (Ritchie and Nguyen, 1990), Relative permeability (33), leaf area index and chlorophyll index (by SPAD).

Results and Discussion

According to the results, use of silicon led to increase of RWC under salinity stress, while RWC decreased by 13% when no silicon applied. Salinity significantly decreased 1000-grain weight. Maximum grain yield obtained from TN-04-37 (987.6 g m^{-2}) under normal condition with foliar application of silicon. Application of silicon under stress condition led to 38% increase in grain yield of Sepideh compared to control. Under salt stress, silicon also increased shoot dry weight in TN-04-107, TN-04-70, TN-04-37, Payam and Sepideh genotypes in comparison with control. Sepideh and Payam showed the lowest sensitive to salinity. In the other genotypes, harvest index decreased more than 50%. The minimum rate of harvest index was recorded for Payam genotypes under salinity stress and silicon treatments. Under stress conditions, silicon significantly increased leaf area index in Sepideh, Payam, TN-04-83, TN-04-68, TN-04-37, TN-04-100 and TN-04-62. Chlorophyll index also increased under salinity stress using silicon treatments. The highest chlorophyll index belonged to TN-04-68 and was significantly different from the others genotypes. Use of silicon improved the membrane stability in TN-04-37, TN-04-107, TN-04-100, TN-04-71, TN-04-70, TN-04-95 and Sepideh.

Conclusions

The results showed that the use of silicon improved the physiological characteristics, yield and yield components of sorghum. Most of the genotypes showed a positive reaction to the applied silicon especially under stress condition. According to the results the maximum yield obtained from Sepideh (540 g m^{-2}) and Payam (475 g m^{-2}), respectively. It seems that among the studied genotypes, Sepideh, Payam and TN-04-100 had the best response to the silicon and showed the minimum sensitivity to the salinity stress. The most sensitive genotypes were TN-04-39, TN-04-68, and TN-04-62. In general it can be said that either under normal condition or salinity stress, silicon is able to improve yield production of grain Sorghum and its components.

Keywords: Grain yield, Harvest index, Relative permeability, Relative water content, SPAD number

1- Associate Professor of Agronomy & Plant Breeding Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Crop Physiology
2- Professor of Agronomy & Plant Breeding Department, Shahid Bahonar University, Ecology
3- MSc Student of Agronomy, Shahid Bahonar University
(*- Corresponding Author Email: hfarahbakhsh@uk.ac.ir)

www.SID.ir