دوفصلنامه‌ی علوم به زراعی گیاهی
دوره سیزدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲

اثر کاربرد سیلیس بر کاهش تنش ناشی از شوری در گیاه تربچه

ابراهیم فانی[*1]، شکوفه حاجی هاشمی[2]
۱. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران
۲. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء (ص) بهبهان، بهبهان، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات : پست الکترونیکی: ebrahim_710@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴ آذرماه ۱۴۰۲ ; تاریخ پذیرش:۲۸ اسفندماه ۱۴۰۲)

چکیده

وسعت زیاد اراضی شور در جهان و تقاضای رو به افزایش برای مواد غذایی به دلیل افزایش جمعیت جهان، اهمیت استفاده از راهکارهایی مناسب جهت بالا بردن تحمل گیاهان به شوری برای کشت آنها در زمین‌های شور را ضروری نموده است. سیلیس بعد از اکسیژن دومین ترکیب معدنی در کره زمین است که هنوز نقش آن به طور کامل در همه گیاهان روشن نیست اما اثر مثبت آن بر عملکرد و مقاومت به تنش‌های محیطی مشخص شده است. به‌منظور بررسی اثر کود سیلیس بر کاهش اثرات مضر ناشی از تیمار شوری در گیاه تربچه، این آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در شهرستان بهبهان در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. تیمارها شامل تنش شوری در دو سطح (صفر و ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) و کود سیلیس در دو سطح (صفر و دو گرم در لیتر) بودند. نتایج نشان داد که تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m)، شاخص فتوسنتزی (PI_{ABS}) و عدد کلروفیل‌متر (SPAD) و همچنین کاهش طول ریشه و ارتفاع گیاه شد، در حالیکه تیمار کود سیلیس سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر آنها شد. بین صفت عدد کلروفیل‌متر (SPAD) با صفات شاخص فتوسنتزی و میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) همبستگی مثبت و معنی‌دار دیده شد. بر طبق نتایج ، کاربرد کود سیلیس در شرایط تنش شوری با اثر مثبت بر میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m)، شاخص فتوسنتزی و عدد کلروفیل‌متر (SPAD)، سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر گیاه تربچه شد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع گیاه، شاخص فتوسنتزی، میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو

مقدمه

تربچه با نام علمی (*Raphanus Sativus* L.) گیاهی از خانواده‌ی شب‌بویان که قسمت خوراکی آن ریشه غده مانند بوده که به رنگ‌های مختلف سفید، قرمز، سیاه و دو رنگ دیده می‌شود. تربچه به دلیل دارا بودن سطح بالایی از ویتامین C و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانتی بالا، در درمان سرطان موثر است (۳۱). در انواع نقلی تربچه، هیپوکتیل و در انواع کشیده آن، ریشه به همراه هیپوکوتیل به صورت خام و سالاد مصرف می‌شود (۸). تربچه دارای انواع مواد غذایی مانند کربوهیدرات، پروتئین، فیبر و ترکیبات معدنی است (۱۵). بخشهای مصرفی تربچه سرشار از مواد زیستی مانند سولفورافان، گلوکورافانین و گلوکوبراسیسین است (۷، ۱۳، ۲۲). ترکیبات زیستی مذکور اثر زیادی در درمان سرطان پروستات (۳۲)، کولون (۲۵) و سرطان سینه (۲۶) داشته‌اند.

در پنجاه سال اخیر تجمع بالای نمک خاک از عوامل اصلی محدودکننده در تولید محصولات زراعی است (۱۷). با توجه به افزایش سریع جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای مواد غذایی، استفاده از زمین‌های شور جهت کشاورزی شتاب بیشتری گرفته است (۱۲). تنش شوری صفر تا ۲۰۰ میلی‌مولار بر رشد، فتوسنتز، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کلروفیل کل و کارتنوئید گیاه تربچه اثر می‌گذارد (۶). در آزمایشی تنش شوری بر دو رقم تربچه میزان کلروفیل، کلروفیل a، کلروفیل b و نسبت کلروفیل a به b را کاهش داد (۲۹). با قرارگرفتن گیاه در معرض غلظت بالای نمک، میزان جذب آب به شدت کاهش یافته که این مسئله سطح آب درون و برون‌سلولی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و همچنین باعث کاهش فعالیت روزنه‌ای و درنتیجه فتوسنتز می‌شود (۲۰).

سیلیس بعد از اکسیژن دومین ترکیب معدنی در کره زمین است که هنوز نقش آن به طور کامل در همه گیاهان روشن نیست اما اثرات مثبت آن بر عملکرد و تحمل به تنش‌های محیطی مشخص شده است (۲۳). سیلیس یک عنصر غیرضروری و در عین حال مفید برای بسیاری از گیاهان محسوب می‌شود (۲۰)، که به ویژه برای ر شد و نمو گیاهان تحت شرایط تنش خشکی و شوری نقش دارد (۲). جذب سیلیس به وسیله گیاهان تحت تنش شوری، موجب افزایش فعالیت H^+-ATPase و H^+-Ppase در تونوپلاست و غشاء پلاسمایی می‌شود. این تغییرات عاملی برای کاهش جذب سدیم و افزایش جذب پتاسیم و تغییر توزیع یونها در ریشه‌ها و برگ‌های این گیاهان است. این عنصر همچنین برفعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان نیز اثر مثبت دارد (۱۹). گزارش‌های متعدی مبنی بر نقش عنصر سیلیس در کاهش اثرات مضر تنش‌های شوری در گیاهان وجود دارد (۴، ۱۱، ۲۸). سیلیس در گیاهان به صورت اسید سیلیسیک ($Si(OH)_4$) منتقل می‌شود (۱۰). تیمار سیلیس سبب افزایش تحمل گیاهان در برابر تنش‌های مختلف از جمله شوری، گرما و خشکی می‌شود (۱۰، ۲۰، ۲۱). با توجه به اثرات مثبت سیلیس در افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان، در مطالعه حاضر به بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه تربچه به برهم‌کنش تیمار کود سیلیس و تنش شوری ناشی از کلرید سدیم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

بذر تربچه (*Raphanus sativus* L.) از فروشگاه معتبر بذر تهیه شد. مطالعه حاضر به صورت گلدانی طبق طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در اسفندماه سال ۱۴۰۰ در محیط باز در شهرستان بهبهان واقع در جنوب شرقی استان خوزستان انجام شد. آزمایش در گلدان‌های پلاستیکی کوچک با استفاده از خاک باغی و خاک‌برگ

(نسبت ۱:۳) انجام گرفت. ابتدا بذور در گلدان‌های پلاستیکی به نحوی کشت گردید که در نهایت در هر گلدان یک گیاه وجود داشت. فاکتورهای آزمایش شامل تیمار شوری با نمک کلرید سدیم در دو سطح (صفر و ۲۰۰ میلی‌مولار) و کود سیلیس در دو سطح (صفر و دو گرم در لیتر مطابق با توصیه ی مصرف بر روی پاکت کود) بود. برای تیمار گیاه با کود سیلیس بعد از رشد گیاهچه‌ها و در مرحله چهار برگ حقیقی، تیمار گلدان‌ها با کود سیلیس (صفر و دو گرم در لیتر) در چهار مرحله همراه با آب آبیاری در یک بازه‌ی زمانی پنج روزه انجام شد و بعد از آن طی یک دوره‌ی ۱۸ روزه، هشت مرحله اعمال تیمار شوری برای گلدان‌های دارای تنش شوری به صورت آبیاری با آب شور ۲۰۰ میلی مولار و همزمان آبیاری گدان‌های دارای آبیاری معمولی (کنترل) اعمال گردید. بعد از آبیاری گلدان‌ها با آب شور ناشی از کلرید سدیم به مدت ۱۸ روز، صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان اندازه‌گیری شد.

دستگاه کلروفیل‌متر قابل حمل (CCM -200 plus Opti-sciences, Tyngsboro, Massachusetts, USA) برای تعیین میزان کلروفیل کل (عدد SPAD) استفاده شد. دستگاه کلروفیل فلوریمتر (Hansatech Poket PEA, England) برای اندازه‌گیری شاخص‌های F_v/F_m و PI_{ABS} استفاده شد (۱۴). طول ریشه اصلی به وسیله خط‌کش و از محل اتصال بخش هوایی به ریشه تا انتهای ریشه و ارتفاع گیاه به وسیله خط‌کش و از سطح خاک تا انتهای گیاه اندازه‌گیری شد. محاسبه‌های آماری به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری $p \leq ۰/۰۵$ انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داد ه‌ها، بین سطوح تنش شوری از لحاظ اثر بر صفات ارتفاع گیاه، شاخص فتوسنتزی و عدد کلروفیل‌متر در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. به‌طور کلی نتایج مطالعه حاضر حاکی از اثر منفی تنش شوری بر گیاه تربچه بود که با گزارشات قبلی مبنی بر کاهش عملکرد این گیاه در پاسخ به تنش شوری مطابقت داشت (۱، ۳). اختلاف بین سطوح کود سیلیس از لحاظ اثر برصفت میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو در سطح احتمال پنج درصد و بر شاخص فتوسنتزی و عدد کلروفیل‌متر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش شوری در کود سیلیس نیز بر میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو و شاخص فتوسنتزی در سطح احتمال یک درصد و بر عدد کلروفیل‌متر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

طول ریشه اصلی در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت به طوری که طول ریشه اصلی در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار ۴/۸۳ سانتی‌متر در مقایسه با ۵/۲۸ سانتی‌متر تیمار شاهد بود که کاهش ۸/۵۲ درصدی را نشان داد (جدول ۲). کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن اختلاف معنی‌داری بر روی طول ریشه اصلی تربچه نداشت (جدول ۲). بوخات و همکاران (۹) طی مطالعه‌ای اعلام نمودند که تنش شوری در گیاه تربچه سبب کاهش میزان رشد گیاه می‌شود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با تیمار شاهد ارتفاع گیاه را ۲۰/۲۵ درصد کاهش داد (۱۰/۸۳ سانتی‌متر در تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار در مقایسه با ۱۳/۵۸ سانتی‌متر در شرایط عدم شوری). همچنین کاربرد دو گرم در لیتر کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربد آن اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت (جدول ۲). با افزایش شوری و کاهش جذب آب، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها کمتر شده و رشد گیاه متوقف می‌گردد برخی محققان طی مطالعاتی نشان دادند که کاهش میزان رشد گیاه تحت

تنش شوری می‌تواند به دلایلی چون سمیت نمک همراه با جذب زیادی یونهایی مثل سدیم و کلر، اختلال در جذب و انتقال یونهایی مانند پتاسیم و کلسیم، مهار تقسیم و گسترش سلولی و یا حتی مرگ سلولی، کمبود آب و یا عدم تعادل مواد غذایی دخالت در فرایندهای طبیعی سلول به‌ویژه فرایندهای دخیل در تولید انرژی و تنفس باشد (۳۰). مطالعات بر گیاه گوجه‌فرنگی نشان داد که تنش شوری باعث با افزایش میزان اتیلن سبب کاهش ارتفاع گیاه شد که با نتایج مطالعه حاضر همسو بود (30).

جدول ۱ - تجزیه واریانس اثر تنش شوری توسط کلرید سدیم و کود سیلیس بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تربچه

منابع تغییر	درجه آزادی	طول ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو	شاخص فتوسنتزی	عدد کلروفیل- متر
شوری	۱	۰/۶۰ ns	۲۲/۶۸**	۰/۰۰۸ns	۰/۴۳ **	۵۷/۸۶**
سیلیس	۱	۰/۱۴ns	۳/۵۲ ns	۰/۰۱۴*	۰/۳۹**	۴۹/۰۰۵**
شوری × سیلیس	۱	۰/۶۰ ns	۰/۱۸ ns	۰/۰۲۶**	۰/۲۹ **	۲۰/۱۵*
خطا	۸	۰/۶۵	۰/۹۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۷	۳/۶۹
ضریب تغییرات	-	۱۶/۰۵	۸/۱۰	۷/۲۵	۱۴/۹۰	۱۹/۳۹

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری درسطح ۵ و ۱درصد

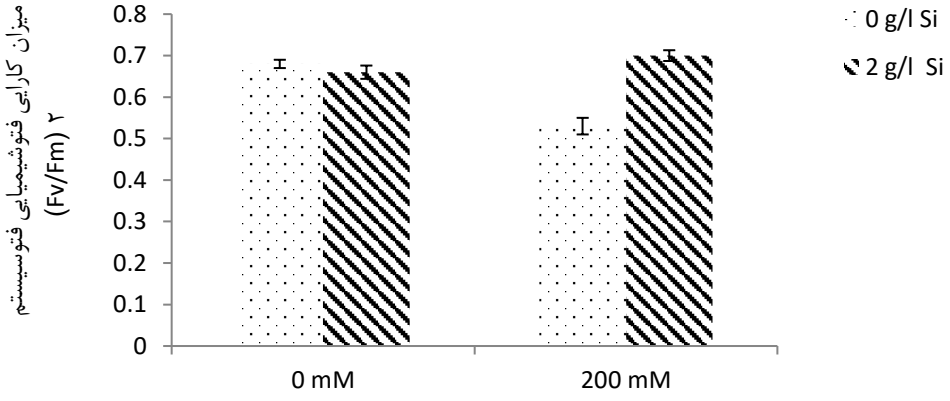
جدول ۲ - مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش شوری توسط کلرید سدیم و کود سیلیس بر برخی صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی تربچه

تیمار	طول ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو	شاخص فتوسنتزی	عدد کلروفیل‌متر
شوری (میلی‌مولار)					
آب مقطر	۵/۲۸a	۱۳/۵۸a	۰/۶۷a	۷۰۷a	۱۲/۱۰a
۲۰۰	۴/۸۳a	۱۰/۸۳b	۰/۶۱a	۰/۶۹b	۷/۷۱b
سیلیس (گرم در لیتر)					
۰	۵/۱۶a	۱۲/۷۵a	۰/۶۱b	۰/۷۰b	۷/۸۹b

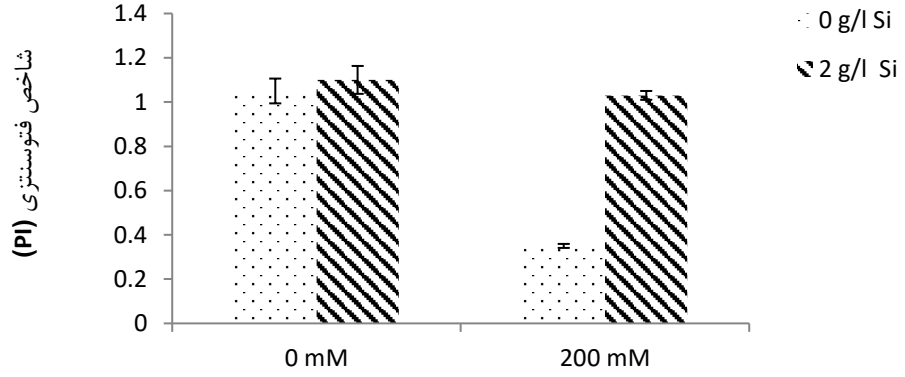
حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که کاربرد کود سیلیس دو گرم در لیتر در سطح معنی‌داری (پنج درصد) سبب کاهش اثرات مضر شوری بر میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) شد (جدول ۱). برهم‌کنش تنش شوری در کود سیلیس نشان داد که در تیمار تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کاربرد کود سیلیس دو گرم در لیتر در مقایسه با عدم کاربرد آن، میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) را ۲۴/۲۸ درصد افزایش داد که در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (نمودار ۱). همچنین نتایج نشان داد که کاربرد کود سیلیس دو گرم در لیتر اثرات مضر شوری بر شاخص فتوسنتزی (PI_{ABS}) را نیز کاهش داد (جدول ۱). نمودار برهم‌کنش تنش شوری در کود سیلیس نشان داد که در شرایط شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، میزان شاخص فتوسنتزی (PI_{ABS}) در موقع کاربرد کود سیلیس ۱/۰۳ در مقایسه با ۰/۳۵ عدم کاربردکود بود (نمودار ۲). زمانی که گیاهان در معرض تنش قرار می‌گیرند، میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) به‌منظور ایجاد تعادل بین میزان انتقال الکترون فتوسنتزی و متابولیسم کربن کاهش می‌یابد (۱۸). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر عملکرد بهتر فتوسیستم‌ها در گیاهان تیمار شده با سیلیس در شرایط تنش وجود دارد (۲۷، ۳۳) که با نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر مطابقت دارد، زیرا میزان F_v/F_m و PI_{ABS} در تنش شوری توأم با سیلیس بیشتر از تنش شوری بدون تیمار سیلیس بود. کاهش مشاهده‌شده در شاخص‌های F_v/F_m و PI_{ABS} در گیاه تربچه آبیاری شده با کلریدسدیم، نشاندهنده‌ی اثرات منفی تنش شوری بر فتوسنتز گیاه است. در گیاهان آبیاری‌شده با کلریدسدیم رابطه مستقیمی بین کاهش شاخص‌های فلورسانس و میزان کلروفیل‌ها مشاهده شد. نتایج نشان داد که آبیاری گیاهان تربچه با غلظت بالای کلریدسدیم سبب کاهش توأم میزان کلروفیل‌ها و بازده کوانتومی فتوسیستم‌ها شد. تنش شوری سبب کاهش بازدهی فلورسانس کلروفیل‌ها به‌دلیل کاهش انتقال الکترون در فتوسیستم-ها می‌شود (۲۴).

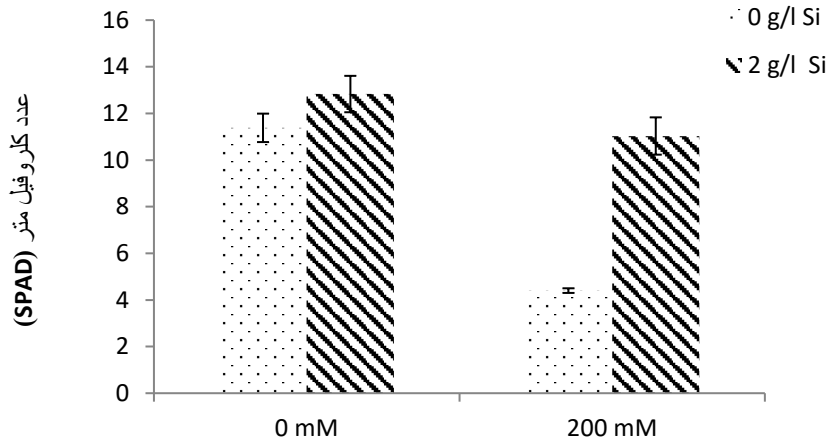
نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تنش شوری در کود سیلیس در سطح پنج درصد بر عدد کلروفیل‌متر (SPAD) معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین نمودار برهم‌کنش تنش شوری در کود سیلیس نشان داد که هم در شرایط عدم تنش و نیز در شرایط تنش شوری ۲۰۰ میلی‌مولار، کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن تفاوت معنی‌داری بر عدد کلروفیل‌متر (SPAD) داشت به طوری که در شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و کاربرد کود سیلیس عدد کلروفیل‌متر (SPAD) ۱۱/۰۳، در صورتی‌که در شرایط عدم کاربرد کود سیلیس در تنش شوری عدد کلروفیل‌متر (SPAD) ۴/۴ بود. در شرایط شوری صفر نیز کاربرد کود سیلیس در مقایسه با عدم کاربرد آن عدد کلروفیل‌متر (SPAD) را افزایش داد (نمودار ۳). حدود ده درصد وزن خشک کلروپلاست‌ها را کلروفیل تشکیل می‌دهد. اگر گیاه تحت تأثیر تنش‌های محیطی مانند شوری قرار بگیرد، تغییرات ایجاد شده در مقدار کلروفیل برگ به دلیل سنتز آنتوسیانین‌های تولید شده بسیار متفاوت از شرایط بدون تنش خواهد بود (۱۶). در این مطالعه تیمار کود سیلیس سبب کاهش اثرات مضر تنش شوری بر روی میزان کلروفیل‌ها در گیاه تربچه شد که با مطالعات ژانگ و همکاران (۳۳) بر روی گیاه گوجه فرنگی مطابقت داشت.



شکل ۱- برهمکنش تنش شوری و کود سیلیس بر میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m)



شکل ۲- برهمکنش تنش شوری و کود سیلیس بر شاخص فتوسنتزی (PI_{ABS})



شکل ۳- برهمکنش تنش شوری و کود سیلیس بر عدد کلروفیل‌متر (SPAD)

نتایج جدول همبستگی بین صفات مورد بررسی (جدول ۳) نشان داد صفت طول ریشه با صفت ارتفاع گیاه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. بین صفات شاخص فتوسنتزی و میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) همبستگی مثبت و معنی‌دار دیده شد. صفت عدد کلروفیل‌متر (SPAD) با صفات میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m) و شاخص فتوسنتزی همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد اما با صفات طول ریشه و ارتفاع گیاه همبستگی منفی داشت.

جدول ۳- همبستگی بین صفات در گیاه تربچه

	صفات	۱	۲	۳	۴
۱	ارتفاع گیاه	۰/۵۹۴*			
۲	میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو	-۰/۴۲۲ns	۰/۰۸۰ns		
۳	شاخص فتوسنتزی	-۰/۱۲۱ns	۰/۳۳۱ns	۰/۸۴۲**	
۴	عدد کلروفیل متر	-۰/۲۹۴ns	۰/۱۱۱ns	۰/۷۴۸**	۰/۸۲۱**

ns، * و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری درسطح احتمال پنج و یک درصد

نتیجه‌گیری کلی

بررسی اثرات تیمار کود سیلیس در گیاه تربچه تحت تنش شوری نشان‌دهنده‌ی بهبود صفاتی مانند طول ریشه، ارتفاع گیاه، میزان کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم دو (F_v/F_m)، شاخص فتوسنتزی و عدد کلروفیل‌متر (SPAD) و در نتیجه افزایش تحمل گیاه به شوری بالا بود. نتایج این مطالعه شرایط را برای تحقیقات بیشتر در زمینه استفاده از کود سیلیس به عنوان یک عنصر سازگار به محیط زیست به‌منظور افزایش تحمل انواع گیاهان به تنش شوری فراهم نمود. باید مطالعات بیشتری در ارتباط با واکنش‌های گیاه در سطح مولکولی به تنش شوری و کاربرد کود سیلیس انجام داد تا بتوان به نتایج قطعی‌تری دست یافت.

منابع

۱. قنبری، مژگان.، جوانمردی، شورانگیز.، افتخاریان جهرمی، علیرضا. و فرزانه، محسن،۱۳۹۰. بررسی جوانه زنی بذر تربچه (**Raphanus sativus**) در شرایط تنش شوری. اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی،ساوه.

۲. کرمی، لیلا. و محمودی، رضا. ۱۳۹۶. نقش سیلیس در گیاهان تحت تنش شوری. پنجمین کنگره ملی زیست شناسی و علوم طبیعی ایران،تهران.

۳. محمدزاده توتونچی، پیمان. و امیرنیا، رضا.۱۳۹۲. بررسی اثرات تنش شوری بر جوانه زنی و رشد گیاهچه تربچه (***Raphanus sativus* L.**). اولین همایش ملی علوم کشاورزی با تاکید بر تنش های غیرزیستی،نقده.

4. Abdelaal, K.A., Mazrou, Y.S. and Hafez, Y.M. 2020. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. Plants, 9 (6): 733.

5. Ahmed, H.A.A., Koçak Şahin., N., Akdoğan, G., Yaman, C., Köm, D. and Uranbey, S. 2020. Variability in salinity stress tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties using in vitro screening. Ciência e Agrotecnologia, 44: 1-14.

6. Bacarin, M. A., Falqueto, A. R., Moraes, C. L., Marini, P. and Löwe, T. R. 2007. Plant growth and leaf photosynthesis in radish plants under NaCl stress. Revista Brasileira de Agrociencia, 13: 473-479.

7. Baenas, N., Piegholdt, S., Schloesser, A., Moreno, D., Garcia-Viguera, C., Rimbach, G. and Wagner, A. 2016. Metabolic activity of radish sprouts derived isothiocyanates in drosophila melanogaster. International Journal of Molecular Sciences, 17: 1-10.

8. Banihani, S. A. 2017. Radish (*Raphanus sativus*) and Diabetes. Nutrients, 9: 1-9

9. Bukhat, S., Manzoor, H., Athar, H. U. R., Zafar, Z. U., Azeem, F. and Rasoul, S. 2020. Salicylic acid induced photosynthetic adaptability of *Raphanus sativus* to salt stress is associated with antioxidant capacity. Journal of Plant Growth Regulation, 39: 809-822.

10. Debona, D., Rodrigues, F. A. and Datnoff, L. E. 2017. Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. Annual Review of Phytopathology, 55: 85-107.
11. Hurtado, A. C., Chiconato, D. A., Prado, R. de M., Sousa Junior, G. da S., Gratao, P. L., Felisberto, G. and Mathias dos Santos, D. M. 2020. Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. Ecotoxicology and Environmental Safety, 203: 110964-110975.
12. Ibrahimova, U., Kumari, P., Yadav, S., Rastogi, A., Antala, M., Suleymanova, Z., Zivcak, M., Tahjib-Ul-Arif, M., Hussain, S. and Abdelhamid, M. 2021. Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. Journal of Biotechnology, 329: 180-191.
13. Ishida, M., Kakizaki, T., Morimitsu, Y., Ohara, T., Hatakeyama, K., Yoshiaki, H. and Nishio, T. 2015. Novel glucosinolate composition lacking 4-methylthio-3-butenyl glucosinolate in Japanese white radish (*Raphanus sativus* L.). Theoretical and Applied Genetics, 128: 2037-2046.
14. Kalaji, H. M., Govindjee, B., Bosac, K., Koscielniakd, J. and Zuk-Gołaszewskae, K. 2011. Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO_2 assimilation of two syrian barley landraces. Environmental and Experimental Botany, 73: 64–72.
15. Khattak, K. F. 2011. Nutrient composition, phenolic content and free radical scavenging activity of some uncommon vegetables of Pakistan. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 24: 277-283.
16. Hajihashemi, S., Jahantigh, O. and Alboghobeish, S. 2022. The redox status of salinity-stressed Chenopodium quinoa under salicylic acid and sodium nitroprusside treatments**.** Frontiers in Plant Science, 13: 1030938.
17. Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A. and Lombi, E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. Environment International, 132: 105078.
18. Krause, G. and Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. Annual Review of Plant Biology, 42: 313-349.
19. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y.G. and Christie, P. 2007. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Environmental Pollution, 147: 422-428.
20. Liu, B., Soundararajan, P. and Manivannan, A. 2019. Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. Plants, 8: 307.
21. Luyckx, M., Hausman, J. F., Lutts, S. and Guerriero, G. 2017b. Silicon and plants: Current knowledge and technological perspectives. Frontiers in Plant Science, 8: 411.
22. Malik, M. S., Riley, M. B., Norsworthy, J. K. and Bridges, J. W. 2010. Variation of glucosinolates in wild radish (*Raphanus raphanistrum*) accessions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 11626-11632.
23. Mann, J. F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. Soil Science and Plant Nutrition, 50: 11-18.

24. Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. Plant Physiology and Biochemistry, 48: 16-20.
25. Nakamura, Y., Nakamura, K., Asai, Y., Wada, T., Tanaka, K., Matsuo, T., Okamoto, S., Meijer, J., Kitamura, Y., Nishikawa, A., Park, E.Y., Sato, K. and Ohtsuki, K. 2008. Comparison of the glucosinolate− myrosinase systems among daikon (*Raphanus sativus*, Japanese white radish) varieties. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56: 2702-2707.
26. Pawlik, A., Wala M., Hac, A., Felczykowska, A. and Herman-Antosiewicz, A. 2017. Sulforaphene, an isothiocyanate present in radish plants, inhibits proliferation of human breast cancer cells. Phytomedicine, 29: 1-10.
27. Rastogi, A., Tripathi, D. K., Yadav, S., Chauhan, D. K., Zivcak, M., Ghorbanpour, M., El-Sheery, N. I. and Brestic, M. 2019. Application of silicon nanoparticles in agriculture. 3 Biotech, 9: 1-11.
28. Rizwan, M., Ali, S., Ibrahim, M., Farid, M., Adrees, M., Bharwana, S.A., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M.F. and Abbas, F. 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: A review. Environmental Science and Pollution Research, 22: 15416-15431.
29. Sajjad, M., Siddiqi, E. H., Bhatti, K. H., Nawaz, K., Hussain, K., Talat, A., Anwar, S., Munir, M. and Afzal, A. 2013. Foliar application of salicylic acid as potent inducer of salt tolerance in radish (*Raphanus sativus* L.). Middle East Journal of Scientific Research, 14:1098-1102.
30. Shibli, R.A., Kushad, M., Yousef, G. G. and Lila, M. 2007. Physiological and biochemical responses of tomato micro shoots to induced salinity stress with associated ethylene accumulation. Plant Growth Regulation, 51: 159-169.
31. Singh, S., Kumari, R., Agrawal, M. and Bhushan, A. S. 2012. Differential Response of Radish Plant to Supplemental Ultraviolet-B Radiation under Varying NPK Levels: Chlorophyll Fluorescence, Gas Exchange and Antioxidants. Physiologia Plantarum, 145:474-484.
32. Steinbrecher, A., Nimptsch, K., Husing, A., Rohrmann, S. and Linseisen, J. 2009. Dietary glucosinolate intake and risk of prostate cancer in the EPIC-Heidelberg cohort study. International Journal of Cancer, 125: 2179-2186.
۳۳. Zhang, Y., Yu, S., Gong, H. J., Zhao, H.L., Li, H. L., Hu, Y. H. and Wang, Y. C. 2018b. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. Journal of Integrative Agriculture, 17: 2151-2159.

Bi-annual Journal of Plant Production Science
Vol. 13, Issue 2, autumn and winter 2023

The effects of feeding by silica on the reduction of stress caused by salinity in radish plant

Ebrahim Fani[1*], Shokoofeh Hajihashemi[2]

1.Assistant Professor of Biology Department, Faculty of Basic Science, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran
2.Assistant Professor of Biology Department, Faculty of Basic Science, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

*Corresponding author; Email: ebrahim_710@yahoo.com
(Received: December 5, 2023; Accepted: March 18, 2024)

Abstract

The large extent of saline lands in the world and the increasing demand for food have necessitated the importance of using appropriate strategies to increase the tolerance of plants to salinity for their cultivation in saline areas. To investigate the effect of silica fertilizer on reducing the harmful effects of salt treatment on radish plant, a pot experiment was designed in a completely randomized design with three replications in Behbahan City in 2021. The treatments included salinity stress at two levels (zero and 200 mM sodium chloride) and silica fertilizer at two levels (zero and 2 g per liter). The results showed that salinity stress caused a significant decrease in the photochemical efficiency of photosystem 2 (F_v/F_m), photosynthetic index (PI_{ABS}), and chlorophyll meter number (SPAD) as well as a decrease in root length and plant height. In contrast, silica fertilizer treatment caused a reduction in the harmful effects of salinity stress on them. Based on the correlation results between the traits, a positive and significant correlation was seen between the chlorophyll meter number (SPAD) traits the photosynthetic index, and the photochemical efficiency of photosystem 2 (F_v/F_m). According to the results of the present study, the application of silica fertilizer under salinity stress conditions with a positive effect on the photochemical efficiency of photosystem 2 (F_v/F_m), photosynthetic index, and chlorophyll meter number (SPAD), decreases the harmful effects of salinity stress on radish plants.

Keywords: Photochemical efficiency of photosystem 2, Photosynthetic index, Plant height