مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۱۸ شماره ۲ صفحه‌های ۱۹۵ تا ۲۰۸ (۱۳۹۶)

اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سیلیسیم بر رشد توت‌فرنگی و جذب عنصرهای غذایی در تنش شوری در کشت بدون خاک[1]

Effect of Root and Foliar Applications of Silicon on Growth of Strawberry and Mineral Nutrient Uptake under Salinity Stress in Soilless Culture

زهرا سادات خسروفرد*، سعید عشقی، ساسان راستگو و محمد هدایت[2]

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سیلیسیم روی رشد توت‌فرنگی و مقدار برخی عنصرهای غذایی در شرایط تنش شوری انجام شد. آزمایش در کشت بدون خاک به‌صورت فاکتوریل با دو عامل سیلیسیم و شوری در قالب طرح پایه کامل تصادفی در ۴ تکرار روی نشاهای ریشه‌دار شده توت‌فرنگی رقم پاجرو اجرا شد. پس از کشت و استقرار گیاهان، در مرحله چهار تا پنج برگی تنش شوری با استفاده از نمک کلرید سدیم (NaCl) با غلظت صفر و ۴۰ میلی مولار در محلول غذایی اعمال شد. هم‌زمان با تنش شوری، تیمار سیلیسیک‌اسید در غلظت‌های صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار به‌صورت کاربرد ریشه‌ای یک روز در میان همراه با محلول غذایی و غلظت صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار به‌صورت محلول‌پاشی برگی هر دو هفته یک بار استفاده شد. ویژگی‌های ریخت‌شناسی و رویشی شامل وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، سطح برگ، شاخص سبزینگی، سطح ویژه برگ، عملکرد کل و عنصرهای معدنی شامل سدیم، پتاسیم، کلر، سیلیسیم و نیتروژن گیاهان اندازه‌گیری شدند. نتیجه‌ها نشان داد که با افزایش غلظت نمک از صفر به ۴۰ میلی‌مولار در کلیه سطح‌های کاربرد سیلیسیم، همه ویژگی‌ها به‌جز مقدار سدیم شاخساره و ریشه کاهش یافت. در بیشتر موارد استفاده از سیلیسیم باعث کاهش اثر منفی شوری شد، به‌طوری‌که ویژگی‌های رویشی گیاهان تیمار شده با سیلیسیم در شرایط شوری کاهش کمتری نسبت به گیاهان شاهد داشتند. همچنین، کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم تأثیر بیشتری در کاهش اثرهای منفی شوری بر گیاه داشت.

واژه‌های کلیدی: توت‌فرنگی، سیلیسیم، شوری، عملکرد، کاربرد ریشه‌ای.

مقدمه

امروزه تنش شوری مهم‌ترین تنش غیرزیستی برای گیاهان است، زیرا افزون بر کاهش محصول، باعث کاهش مقدار آب شیرین و زمین‌های قابل استفاده برای کشاورزی می‌شود. تمامی آب‌های طبیعی نمک‌های محلول دارند، غلظت این نمک‌ها تعیین می‌کند که آیا آب کیفیت بالا دارد یعنی قابل آشامیدن و استفاده برای آبیاری است بدون این‌که نیاز به احتیاط ویژه‌ای داشته باشد و یا کیفیت آن پایین (بدمزه و یا شور) می‌باشد. مقدار نمک‌ها در منطقه ریشه (یا غلظت نمک محلول در خاک) تعیین می‌کند که آب و خاک عادی است و یا این‌که زیر تأثیر شوری قرار دارد. در سطح جهانی، خاک‌های زیر تأثیر شوری بیشتر در منطقه‌های خشک می‌باشند و در زمین‌های آبیاری شده، تشکیل خاک‌های زیر تأثیر شوری، از مهم‌ترین فرایندهای تخریب شیمیایی خاک می‌باشد (۵). بیش از ۶٪ از مساحت کل زمین‌های جهان دچار انواع شوری است، که در سطح کلیه قاره‌های جهان پراکنده می‌باشند (۲۳).

۱- تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۲

۲- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه خلیج فارس بوشهر، استاد علوم باغبانی دانشگاه شیراز و استادیاران علوم باغبانی دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (z.khosrofard@yahoo.com).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

مساحت کل زمین‌های شور جهان (با شوری طبیعی و ثانویه) بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار برآورده شده است (۲۳). براساس برآورد سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (۲۳) در حدود ۳۹۷ میلیون هکتار خاک‌های شور و ۴۳۴ میلیون هکتار خاک‌های سدیمی (در کل ۸۳۱ میلیون هکتار خاک شور و سدیمی) در جهان وجود دارد. شوری خاک از مهم‌ترین عامل‌های محدودکننده کشاورزی در کشور است، به‌طوری که ایران از نظر وسعت زمین‌های شور در رده سوم آسیا و پنجم جهان قرار دارد (۴۷). مطالعه‌های جدید نشان داده است که در حدود ۲۵/۵ میلیون هکتار از خاک‌های کشور شوری کم تا متوسط (۴ تا ۱۶ دسی زیمنس بر متر) و ۸/۵ میلیون هکتار شوری شدید (۱۶ تا ۳۲ دسی زیمنس بر متر) دارند (۱۱). خاک‌های دارای شوری کم تا متوسط در کوهپایه‌های زاگرس و البرز واقع شده‌اند. زمین‌های با مشکل شوری شدید را به‌طور عمده در فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب، جلگه خوزستان و دشت‌های ساحلی دریای خزر می‌توان یافت. از سویی، بیشتر آب موجود در کره زمین، شور است و عمده آب شیرین به شکل یخ می‌باشد. افزون بر این، آب‌های موجود از گسترش زمانی و مکانی یکنواختی برخوردار نیستند. منابع آب شیرین، چه سطحی و چه زیرزمینی، در بسیاری از کشورها و قاره‌ها رو به کاهش هستند. رقابت روزافزونی از سوی بخش‌های مختلف جامعه و نه‌تنها برای کمیت آب بلکه برای کیفیت آن صورت می‌گیرد. یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌ها در زمینه منابع آب شیرین، کشاورزی است (۱۲). مسأله شوری در بسیاری از ناحیه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ناحیه‌های گسترده‌ای از ایران تولید محصول‌های زراعی را محدود می‌کند (۱۱) و یکی از عامل‌های مهم کاهش‌دهنده رشد گیاهان در بسیاری از منطقه‌های جهان است (۴۵).

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa* Duch.، گیاهی نهان‌دانه از تیره وردسانان[۱] است. رشد این گیاه علفی پایا در اقلیم معتدل گرم و در بستر غنی از گیاه‌خاک و خاک اسیدی بسیار خوب است (۳، ۲۴). در ایران، براساس آمار فائو در سال ۲۰۱۳، سطح زیر کشت توت فرنگی ۲۵۵۷ هکتار با تولید ۳۳۷۵۲ تن بوده است (۲۲). بیان شده است که عملکرد محصول‌ها در شرایط شور کاهش می‌یابد و سه دلیل برای آن بیان کرده‌اند: ۱- شوری بر فراهمی عنصرهای غذایی اثر می‌گذارد، ۲- شوری سبب ایجاد جذب رقابتی می‌شود و ۳- شوری بر انتقال یا بخش‌بندی عنصر غذایی در گیاه تأثیرگذار است. کاربرد عنصرهای غذایی می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای کاهش اثرهای سمیت یونی و ناهنجاری‌های تغذیه‌ای گیاهان در خاک‌های شور مورد توجه قرار گیرد (۱۰). سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوسته زمین (۳۱٪) بعد از اکسیژن (۴۹٪) است (۴۶). اگرچه سیلیسیم برای گیاهان یک عنصر معدنی ضروری در نظر گرفته نشده، ولی در برخی گیاهان یک عنصر مفید است (۲۰، ۲۱). در بررسی‌ها مشخص شده که هنگام استفاده از سیلیسیم، دیواره‌های یاخته‌های روپوست به‌وسیله لایه‌های محکم سیلیسیم آغشته می‌شوند و در برابر از دست رفتن آب به‌وسیله تعرق کوتیکولی و نیز در برابر آلودگی‌های قارچی محافظت می‌شوند. افزون بر دیواره‌های یاخته‌ای روپوست برگ‌ها، سیلیسیم در دیواره‌های یاخته آوند چوبی نیز قرار می‌گیرد و از فروریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند. سیلیسیم به‌عنوان عنصری که باعث کاهش انواع تنش‌ها مانند سمیت عنصرها، شوری، خشکی و سرمازدگی می‌شود، شناخته شده است (۳۵). سیدلرفاطمی و همکاران (۷) اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری در شرایط گلخانه‌ای و کشت آبی را با سه سطح سیلیسیم (صفر، ۱و۲ میلی‌مولار) و سه سطح کلرید سدیم (صفر، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مولار) بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که شوری اثر کاهنده معنی‌داری روی شاخص‌های رشد و نمو گیاه داشت، به‌طوری‌که تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک برگ و ریشه با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش و با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی در شرایط شوری، افزایش یافت. در پژوهشی نشان داده شد که کاربرد سیلیسیم روی گیاه شنبلیله باعث افزایش ۱۱، ۹ و ۸ درصدی کلروفیل a در غلظت‌های ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی مولار

۱- Rosaceae

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

شوری نسبت به گیاهان شاهد شد (۱). در پژوهشی اثر برهمکنش سطح‌های مختلف سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهو پیچ توسط پیوست و همکاران (۴) بررسی و نتیجه گرفته شد که سیلیسیم باعث کاهش اثرهای منفی ناشی از برخی تنش‌ها مثل شوری می‌شود. هم‌چنین بیان شد که کاربرد سیلیسیم تأثیر مثبت و معنی‌داری در تعداد برگ در بوته، ارتفاع ساقه اصلی و شاخص سطح برگ گیاه خرفه داشت و هم‌چنین شاید بتوان از سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید در افزایش عملکرد گیاهان زراعی و هم‌چنین افزایش مقاومت آن‌ها به تنش‌های محیطی استفاده نمود. نتیجه‌های پژوهش سیدلر فاطمی و همکاران (۶) نشان داد که شوری اثر کاهنده معنی‌داری روی شاخص‌های رشد ونموی گیاه توت‌فرنگی داشت، به‌طوری‌که تعداد برگ، سطح برگ و وزن تر و خشک برگ و ریشه با افزایش غلظت کلرید سدیم کاهش و با افزودن سیلیسیم به محلول غذایی در شرایط شوری، افزایش یافت. شاخص‌های عملکرد در شرایط شوری کاهش و با کاربرد سیلیسیم، به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

کشت گلخانه‌ای توت‌فرنگی در ایران، صنعتی در حال پیشرفت است و بنابراین انجام پژوهش‌هایی برای بهبود کمیت و کیفیت آن ضروری به‌نظر می‌رسد. از سوی دیگر به‌دلیل شور شدن آب، چاره‌ای جز استفاده از آب‌های با کیفیت پایین‌تر برای تولید محصول نیست. بنابراین انجام پژوهش‌های مختلف در زمینه افزایش تحمل این گیاه در شرایط شوری می‌تواند راهگشایی برای بالا بردن سطح زیر کشت این محصول و افزایش تولید آن در کشور باشد. به‌طورکلی هدف از انجام این طرح بررسی اثر سیلیسیم بر رشد توت‌فرنگی در شرایط شوری بود.

مواد و روش‌ها

ماده‌های گیاهی

بوته‌های ریشه‌دار شده توت‌فرنگی رقم پاجرو از نهالستانی تجاری در شیراز تهیه و در تاریخ ۵ مهر ۱۳۹۵ به گلدان‌های سه لیتری پر شده با پرلایت و کوکوپیت با نسبت حجمی ۱:۱ منتقل شد. گیاهان در گلخانه با دمای روز و شب به‌ترتیب ۳±۲۵ و ۳±۱۵ درجه سلسیوس و شرایط نور طبیعی نگهداری شد و ۳۵ روز پس از انتقال به گلخانه اندازه‌گیری‌های کمی و کیفی انجام شد.

تیمار آزمایشی

ابتدا، آبیاری گیاهان یک روز در میان و به مدت یک هفته با آب و سپس به مدت یک هفته با محلول نیم‌هوگلند و پس ازآن با محلول کامل هوگلند انجام شد. گرمایش گلخانه با استفاده از بخاری برقی متصل به یک ترموستات همراه با پنکه برقی به‌منظور یکسان‌سازی دما در سرتاسر فضای گلخانه انجام گرفت. خنک‌سازی هوای گلخانه نیز با استفاده از تهویه از راه ورودی گلخانه انجام شد.

تیمار شوری

پس از استقرار گیاهان (مرحله چهار تا پنج برگی)، به‌منظور اعمال تنش شوری، از نمک کلرید سدیم (NaCl) در محلول غذایی در دو غلظت صفر و ۴۰ میلی‌مولار استفاده شد. روش اعمال شوری به این صورت بود که غلظت‌های نمک در محلول غذایی هوگلند به‌صورت یک روز در میان داده شد، به‌گونه‌ای که در هر بار آبیاری حدود ۲۰٪ خروجی از ته گلدان‌ها وجود داشت. هر هفته یک بار هم گلدان‌ها با آب، آب‌شویی می‌شدند. مدت زمان اعمال تنش شوری دو ماه بود.

تیمار سیلیسیمی

هم زمان با تنش شوری، تغذیه سیلیسیک‌اسید به صورت کاربرد ریشه‌ای در سه غلظت صفر، ۱ و ۲ میلی‌مولار همراه با محلول غذایی و محلول‌پاشی برگی با غلظت‌های صفر، ۴ و ۸ میلی‌مولار هر دو هفته انجام شد. در مرحله محلول‌پاشی، سطح برگ‌ها به‌طور کامل خیس و برای جلوگیری از رسیدن محلول به محیط کشت، اطراف گیاهان با ورق آلومینیومی پوشانده شد. گیاهان شاهد فقط محلول غذایی هوگلند را از ریشه دریافت نمودند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

پس از پایان دوره دو ماهه اعمال تیمارهای شوری و سیلیسیک‌اسید، ویژگی‌های رویشی (وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، سطح برگ، شاخص سبزینگی[1] وزن و سطح ویژه برگ، درصد نیتروژن برگ) و مقدار عنصرهای (سدیم، پتاسیم، کلر، سیلیسیم و نیتروژن) گیاهان ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری سطح تک برگ در هفته ششم آزمایش، تعداد ۳ برگ از هر تکرار انتخاب، سطح کل آن‌ها توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (شرکت Delta devices LTD انگلیس) اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها حساب شد. برای سطح ویژه برگ[2] ابتدا ۱۰ دیسک برگی، هر یک به مساحت یک سانتی‌متر مربع، از هر تکرار تهیه شد. سپس دیسک‌ها در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند تا این که به‌طور کامل آب خود را از دست دادند. از فرمول ۱ برای محاسبه وزن و سطح ویژه استفاده شد (۸).

فرمول (۱) وزن خشک دیسک برگی/۱۰= ($g\ cm^{-2}$) سطح ویژه برگ

در پایان دوره آزمایش، گیاهان از گلدان خارج و ریشه‌های آن‌ها با آب به‌طور کامل شستشو شد. قسمت ریشه از شاخساره جدا و هر قسمت به‌صورت جداگانه با ترازوی دیجیتال و با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، وزن شد. سپس به‌مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سلیسیوس قرار داده و وزن خشک ریشه و شاخساره اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزینگی و درصد نیتروژن از دستگاه تجزیه عنصرهای غذایی گیاهی[4] (مدل) GVD 36803 استفاده شد. پس از رسیدن میوه‌های اول و دوم، وزن و میانگین آن‌ها اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری سدیم و پتاسیم، یک گرم پودر گیاهی از هر نمونه وزن و درون بوته‌های چینی ریخته شد. آن‌گاه بوته‌ها در کوره با دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت قرار گرفتند تا دوده‌های حاصل از سوختن اولیه ماده‌های گیاهی از کوره خارج شود. سپس دمای کوره به آرامی به ۵۵۰ درجه سلسیوس رسانده شد تا محتویات بوته‌های چینی به خاکستر تبدیل شوند. به خاکستر به‌دست آمده، ۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۲ نرمال (۸۳ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) افزوده شد. پس از حل شدن، از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و به ارلن افزوده شد. در پایان، با آب مقطر داغ حجم ارلن را به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس به‌وسیله دستگاه فلیم فتومتر (مدلJenwayPEP7 ، شرکت ELE Instrument Co.Ltd) اندازه‌گیری شد. عصاره سیلیسیم به روشی همانند روش تهیه عصاره سدیم و پتاسیم تهیه شد. بدین‌صورت که پس از خاکستر کردن یک گرم از نمونه‌های گیاهی و افزودن ۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید، با آب مقطر داغ حجم آن به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و سپس از دستگاه جذب اتمی (مدلPerkin Elmer3110) ساخت آمریکا برای اندازه‌گیری استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار کلر یک گرم از گیاه به خاکستر تبدیل شد. آنگاه به خاکستر، ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر در حال جوشیدن افزوده و پس از حل شدن در یک بطری با کاغذ صافی صاف شد. خاکستر ۵ مرتبه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر جوش شستشو ، از کاغذ صافی عبور داده و به بطری افزوده شد. پس از خنک شدن، به محلول، ۳ تا ۴ قطره معرف فنل فتالئین افزوده شد. چنان‌چه رنگ محلول ارغوانی می‌شد، محلول قلیایی بود و برای تنظیم pH چند قطره نیتریک اسید ۰/۱ نرمال افزوده می‌شد تا رنگ محلول صورتی کم‌رنگ شود. اما اگر بعد از افزودن فنل فتالئین محلول بی‌رنگ بود، با محلول سود ۰/۱ نرمال خنثی می‌شد تا یک رنگ صورتی کم‌رنگ تشکیل شود. سپس pH آن با استیک اسید رقیق بین ۶ تا ۷ تنظیم شد. پس از تنظیم pH، ۵ قطره کرومات پتاسیم ۵٪ به آن افزوده و با نیترات نقره ۰/۰۵ نرمال (۲/۱۲ گرم نیترات نقره در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر) تیتر شد تا رسوب قرمز آجری رنگی مشاهده شود. آن‌گاه با استفاده از فرمول ۳، درصد کلر در وزن خشک محاسبه شد (۱۸).

فرمول (۲) $\%CL= (V_2-V_1)(ml)\times N(AgNO_3)\times 35.5\times 100/W\times 1000$

که در آن: V2حجم نیترات نقره، V1: حجم محلول بلانک، N: نرمالیته نیترات نقره و W: وزن نمونه است.

۱- Greenness index ۲- Specific leaf area ۳- Specific leaf weight ۴- Plant Nutrient Analyzer

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اول شامل ۲ سطح شوری (۰ و ۴۰ میلی‌مولار) و عامل دوم روش کاربرد سیلیسیم به دو روش ریشه‌ای (۰، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی برگی (۰، ۴ و ۸ میلی‌مولار) بود. واکاوی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

سطح تک برگ و سطح ویژه برگ

نتیجه‌ها نشان داد که افزایش غلظت نمک از صفر به ۴۰ میلی‌مولار در تمامی تیمارها، باعث کاهش سطح برگ شد (جدول ۱). از سویی کاربرد سیلیسیم به‌صورت کلی باعث افزایش سطح برگ نسبت به تیمار شاهد در هر دو روش شد. بیشترین مقدار سطح برگ در این آزمایش در غلظت صفر میلی‌مولار نمک و با کاربرد دو میلی‌مولار ریشه‌ای سیلیسیم به‌دست آمد. در روش محلول‌پاشی نیز، در صفر میلی‌مولار نمک و ۸ میلی‌مولار سیلیسیم بیشترین سطح برگ به‌دست آمد. همچنین نتیجه‌ها نشان داد که اثر کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم در مقایسه با کاربرد محلول‌پاشی برگی بیشتر بوده است. اثر سیلیسیم بر سطح تک‌برگ در شرایط شوری نیز بیشتر از شرایط طبیعی بود. بیان شده است که رشد گیاهان در شرایط تنش ممکن است از راه اسمزی و بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط رشد ریشه، یا به‌دلیل اثر ویژه یون‌ها در فرایندهای سوخت‌وسازی کاهش یابد (۹). پژوهش‌های کوتجین و همکاران (۲۹)، سعید و همکاران (۴۲) و نیز اورسینی و همکاران (۳۹) نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار سطح برگ در توت‌فرنگی می‌شود.

با افزایش شوری، تعداد و سطح برگ در همه گیاهان کاهش یافت (جدول ۲). در واقع کاهش رشد برگ، سریع‌ترین پاسخ گیاه به شوری است (۴۹). سیلیسیم با کاهش تعرق گیاه و یا رسوب در زیر یاخته‌های روپوست برگ و ساقه باعث کاهش هدررفت آب از کوتیکول می‌شود و با حفظ و نگهداری آب در یاخته سبب افزایش فشار آماس می‌شود و سطح برگ افزایش می‌یابد که در هر دو روش به‌تقریب نتیجه‌ها به یک مقدار تغییر کرد، اما در روش کاربرد ریشه‌ای، سطح تک‌برگ افزایش بیشتری نسبت به کاربرد به روش محلول‌پاشی برگی داشت. رسوب کریستال‌های سیلیکات در یاخته‌های روپوستی مانعی را برای کاهش آب از کوتیکول‌ها ایجاد می‌کند (۳۰). نتیجه‌های مقایسه میانگین نیز نشان داد که با افزایش غلظت شوری در تمامی تیمارها سطح ویژه برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. گیاهان دریافت‌کننده سیلیسیم سطح ویژه برگ کمتری در هر دو روش کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی نسبت به شاهد داشتند که به‌احتمال، به‌دلیل افزایش ماده خشک در واحد سطح برگ توسط تغذیه سیلیسیمی می‌باشد. هم‌چنین کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی سیلیسیم تفاوت چندانی برای این ویژگی نشان ندادند. در بررسی‌های پیشین مشخص شد که استفاده از سیلیسیم سبب ضخیم شدن لایه‌های کوتیکولی در اثر رسوب سیلیسیم در برگ می‌شود (۴۳) که به‌احتمال علت کاهش سطح ویژه برگ در این پژوهش به این دلیل بوده است.

وزن تر و خشک شاخساره و ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که تیمار شوری باعث کاهش وزن تر شاخساره‌ها در غلظت‌های مختلف ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی شد (جدول ۱). بیشترین وزن تر شاخساره در هر دو سطح شوری در تیمار کاربرد ریشه‌ای با غلظت دو میلی مولار سیلیسیم به‌دست آمد، درحالی‌که کمترین مقدار آن در شاهد بود. چنین به نظر می‌رسد که تأثیر کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم نسبت به کاربرد محلول‌پاشی آن در ارتباط با وزن تر شاخساره بیشتر باشد. از سویی در کلیه سطح‌های سیلیسیم، شوری باعث کاهش مقدار وزن تر شاخساره شد که نشان‌دهنده اثرهای منفی شوری بر وزن تر شاخساره و هم‌چنین تأثیر مثبت سیلیسیم بر این ویژگی است. اثرهای منفی شوری بر وزن تر شاخساره در گیاه توت‌فرنگی در پژوهش‌های کارلیداگ و همکاران (۲۷) ثابت شده است.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

نتیجه‌ها نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک شاخساره شد، به صورتی که در شوری ۴۰ میلی‌مولار وزن خشک شاخساره در روش کاربرد ریشه‌ای نسبت به شوری صفر میلی‌مولار ۲۷٪ کاهش نشان داد (جدول۱). بیشترین وزن خشک در روش کاربرد ریشه‌ای، کاربرد ۲ میلی‌مولار سیلیسیم و شوری صفر بود که نسبت به شاهد حدود ۲۸٪ افزایش نشان داد. هم‌چنین اثر کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم بر وزن خشک شاخساره نسبت به کاربرد محلول‌پاشی آن بیشتر بود. در پژوهشی که توسط کایا و همکاران (۲۸) انجام شد اثر منفی شوری بر وزن خشک شاخساره در گیاه توت‌فرنگی گزارش شد که به‌احتمال به علت کاهش دسترسی به آب و سمیت یون‌های سدیم و کلر می‌باشد.

وزن تر ریشه با افزایش مقدار شوری در هر دو روش کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی سیلیسیم کاهش یافت (جدول ۱). بیشترین وزن تر ریشه در روش کاربرد ریشه‌ای، در تیمار ۲ میلی‌مولار سیلیسیم در شرایط بدون شوری به‌دست آمد که افزایش حدود ۴۳ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد. با تفاوت معنی‌داری نسبت به این تیمار، دومین وزن تر مربوط به تیمار محلول‌پاشی ۸ میلی‌مولار سیلیسیم در تیمار بدون شوری بود که افزایش حدود ۳۴٪ در این ویژگی را نسبت به وزن تر ریشه گیاهان شاهد سبب شد (جدول ۱). گیاهان در تیمار شوری ۴۰ میلی‌مولار، بیشترین وزن ریشه را در تیمار محلول‌پاشی برگی ۸ میلی‌مولار سیلیسیم نشان دادند. تورهان و اریس (۵۰) نشان دادند که کاربرد شوری کلرید سدیم با غلظت‌های مختلف به مدت ده هفته، بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی توت‌فرنگی رقم کاماروزا تأثیر داشت. پژوهش‌های قبلی نشان داد که سیلیسیم از تخریب ساختار چربی غشای یاخته‌ای گیاهان برنج رشد یافته در شرایط خشکی و گرما جلوگیری می‌کند و کاربرد سیلیسیم باعث ثبات و جلوگیری از اختلال عمل در غشای یاخته‌ای گیاهان رشد یافته در شرایط تنش شوری می‌شود (۱۵). هم‌چنین مشخص شده که سیلیسیم به‌طور معنی‌داری وزن تر ریشه را در شرایط شوری در گیاه توت‌فرنگی افزایش می‌دهد (۳۸).

در تیمار بدون شوری افزایش غلظت سیلیسیم در هر دو روش کاربرد، در غلظت‌های پایین‌تر، باعث افزایش و در غلظت‌های بالاتر، باعث کاهش وزن خشک ریشه شد (جدول ۱). در سطح شوری ۴۰ میلی‌مولار نیز، با افزایش غلظت سیلیسیم، مقدار این ویژگی افزایش یافت. به‌طور کلی بالاترین مقدار وزن خشک ریشه در تیمار کاربرد ریشه‌ای ۱ میلی‌مولار سیلیسیم در شرایط بدون تنش شوری مشاهده گردید که نسبت به شاهد حدود ۴۶٪ افزایش نشان داد (۶/۳ گرم در مقابل ۴/۳ گرم). افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی تأثیر منفی بر ویژگی‌های رشد و نموی گیاه دارد (۷). به‌عبارت‌دیگر، شوری مقدار انرژی لازم برای حفظ حالت طبیعی یاخته را افزایش می‌دهد و در نتیجه انرژی کمتری برای نیازهای رشدی باقی می‌ماند (۳۷). گزارش شده است که شوری اثرهای زیانباری بر وزن خشک ریشه در توت‌فرنگی (۱۷، ۲۸) و گندم (۱۶) دارد.

شاخص سبزینگی

نتیجه‌ها نشان داد که میانگین شاخص سبزینگی با افزایش شوری کاهش معنی‌داری یافت، که نشان‌دهنده اثرهای منفی شوری بر شاخص سبزینگی می‌باشد (جدول ۱). در گیاهان دریافت‌کننده سیلیسیم، شاخص سبزینگی در هر دو روش محلول‌پاشی برگی و کاربرد ریشه‌ای افزایش یافت، که نشان‌دهنده اثرهای مثبت سیلیسیم می‌باشد. بیشترین شاخص سبزینگی در گیاهان بدون تیمار شوری و کاربرد ریشه‌ای سیلیسیم ۱ میلی‌مولار و محلول‌پاشی ۴ میلی‌مولار مشاهده شد. همچنین به‌این دلیل که تفاوت معنی‌داری در سطح‌های کاربرد برگی و ریشه‌ای سیلیسیم در مقایسه با هم مشاهده شد، بنابراین به نظر می‌رسد که تأثیر کاربرد ریشه‌ای این عنصر بر شاخص کلروفیل بیشتر باشد. گزارش شده است که مصرف سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار شاخص سبزینگی نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۲). آداتیا و بستفورد (۱۴) گزارش نمودند که افزودن سیلیسیم

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

به محیط رشد گیاه خیار، باعث افزایش شاخص سبزینگی برگ و افزایش فتوسنتز از راه تأثیر بر فعالیت آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز می‌شود (۱۳).

عملکرد بوته

نتیجه‌ها نشان داد که میانگین عملکرد بوته با افزایش مقدار شوری کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۲). شوری سبب کاهش جذب آب و عنصرهای غذایی به‌دلیل به هم خوردن تعادل عنصر غذایی و به‌همین دلیل سبب کاهش تعداد میوه و عملکرد می‌شود (جدول ۱). با کاربرد عنصر سیلیسیم، دیواره‌های یاخته‌های روپوست با لایه‌های محکم سیلیسیم آغشته و در برابر از دست رفتن آب به‌وسیله تعرق کوتیکولی محافظت می‌شوند. افزون‌بر دیواره‌های یاخته‌ای روپوست برگ‌ها، سیلیسیم در دیواره‌های یاخته آوند چوبی نیز قرار می‌گیرد و از فروریختن آوندها در شرایط تعرق زیاد جلوگیری می‌کند (۳۶).

درصد کلر و نیتروژن

برای دو ویژگی درصد کلر شاخساره و درصد کلر ریشه، اثر شوری معنی‌دار بود، ولی اثر این عامل بر درصد نیتروژن برگ معنی‌دار نشد. اثر عامل سیلیسیم نیز تنها بر مقدار کلر ریشه معنی‌دار بود درحالی‌که اثر آن بر درصد کلر شاخساره و درصد نیتروژن برگ معنی‌دار نبود. اثر برهمکنش شوری و سیلیسیم نیز بر درصد کلر شاخساره و ریشه معنی‌دار بود، ولی بر درصد نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۲). در شرایط شوری ۴۰ میلی‌مولار، مقدار کلر در تیمارهای سیلیسیم کاهش یافت. تنش شوری هم باعث افزایش معنی‌دار مقدار کلر در شاخساره شد (جدول ۲). هم‌چنین نتیجه‌های مشابهی برای درصد کلر ریشه نیز به‌دست آمد، با این تفاوت که در شرایط شوری صفر میلی‌مولار نیز تیمار سیلیسیم باعث کاهش درصد کلر شد (جدول ۲). کمترین مقدار کلر ریشه در تیمار محلول‌پاشی ۸ میلی‌مولار سیلیسیم مشاهده شد، که مقدار آن نسبت به شاهد حدود ۴۳٪ کاهش نشان داد. هم‌چنین اثر هیچ‌کدام از عامل‌ها بر درصد نیتروژن معنی‌دار نشد (جدول ۲). در بررسی‌ها مشخص شده که شوری سبب افزایش غلظت عنصرهایی مانند کلر می‌شود (۴۵). طباطبایی در سال ۲۰۰۶ گزارش نمود که با افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی، غلظت نیتروژن و نیترات در برگ‌های زیتون کاهش یافت که به‌احتمال به دلیل جایگزینی کلرید با نیترات می‌باشد که باعث افزایش غلظت کلر و کاهش غلظت نیتروژن می‌شود (۴۸).

سدیم و پتاسیم شاخساره و ریشه

نتیجه‌ها نشان داد که شوری باعث افزایش قابل‌توجه در مقدار سدیم شاخساره و ریشه در تمامی تیمارها شده است. به‌طوری‌که با افزایش غلظت نمک تجمع سدیم در شاخساره و ریشه افزایش یافت (جدول ۲). نتیجه‌ها همچنین نشان داد که افزایش غلظت سیلیسیم در شاخساره و ریشه در هر دو روش، سبب کاهش سدیم شده است. به‌احتمال سیلیسیم با کاهش انتقال سدیم سبب کاهش غلظت سدیم در دو روش کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی، در ریشه و شاخساره شده است. هم‌چنین با توجه به جدول‌های مقایسه میانگین‌های وزن میوه و درصد سدیم شاخساره (جدول ۲) مشاهده می‌شود که در شرایط شوری ۴۰ میلی مولار، به نظر می رسد مهمترین پیامد ناشی از افزایش غلظت سدیم در تیمارها، کاهش وزن میوه و پدیده تجمع می‌باشد. بیان شده است که شوری باعث افزایش سدیم ریشه و شاخساره می‌شود (۲۶). طباطبایی (۴۸)، کایا و همکاران (۲۸) و تورهان و اریس (۵۰) اثر شوری بر توت‌فرنگی را بررسی کرده‌اند و دریافتند که افزایش شوری سبب افزایش غلظت سدیم می‌شود. این نتیجه به‌دلیل وجود یون سدیم زیاد در محیط و جایگزینی این یون به‌جای یون پتاسیم می‌باشد (۷). در پژوهشی نشان داده شد که افزایش غلظت پتاسیم با کاربرد سیلیسیم باعث افزایش فعالیت ATPaseها و در نتیجه بهبود عملکرد غشا و افزایش جذب پتاسیم می‌شود (۳۱).

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

جدول ۱- اثر روش‌های کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های رویشی و شاخص سبزینگی توت‌فرنگی در شرایط شوری.

Table 1. Effect of silicon application methods on vegetative growth characters and greenness index of strawberry under salinity conditions.

سیلیسیم Si (mM)	شاهد Control	کاربرد ریشه‌ای Soil application		محلول‌پاشی برگی Foliar application		
شوری Salinity (mM)	0	1	2	4	8	Mean
سطح برگ Leaf area (cm^2)						
0	84.5 a†	86.52 a	93.2 a	75.52 b	87.27 a	85.42 A
40	47.2 e	62.15 cd	74.5 b	59.4 d	68.52 bc	62.36 B
Mean	65.85 C	74.34 B	83.90 A	67.46 C	77.90 B	
سطح ویژه برگ Special leaf area ($cm^{-2}g$)						
0	157.1 a	151.9 ab	151.6 ab	145.9 ac	145.6 ac	150.4 A
40	145.9 ac	138.4 cd	146.0 ac	132.4 d	140.1 bd	140.5 B
Mean	151.5 A	145.1 AB	148.8 A	139.1 B	142.8 AB	
وزن تر شاخساره Shoot fresh weight (g)						
0	31.73 c	35.40 b	39.10 a	29.40 d	33.10 c	33.75 A
40	26.8 f	26.85f	29.05 de	26.00 f	27.55 ef	27.25 B
Mean	29.26 C	31.7 b	34.07 A	27.70 d	30.32 BC	
وزن خشک شاخساره Shoot dry weight (g)						
0	7.5 c	7.7 c	9.6 a	6.7 d	8.6 b	8.0 A
40	5.5 e	5.8 e	5.9 e	5.6 e	6.0 de	5.7 B
Mean	6.5 BC	6.7 B	7.7 A	6.1 C	7.3 A	
وزن تر ریشه Root fresh weight (g)						
0	22.2 e	24.4 d	31.8 a	22.4 e	29.8 b	26.12 A
40	20.2 f	19.3 f	28.5 b	17.3 g	26.5 c	22.3 B
Mean	21.2 C	21.8 C	30.1 A	19.8 d	28.1 B	
وزن خشک ریشه Root dry weight (g)						
0	4.3 cd	6.3 a	4.7 bc	5.3 b	3.7 de	4.8 A
40	4.1 cd	4.0 cd	4.5 c	3.1 e	4.2 cd	3.9 B
Mean	4.2 BC	5.1 A	4.6 B	4.2 B	3.9 C	
شاخص سبزینگی Greenness index						
0	25.0 ab	33.0 a	29.5 ab	32.0 ab	27.0 ab	29.3 A
40	16.0 c	29.5 ab	24.0 ac	23.0 bc	25.5 ab	23.6 B
Mean	20.5 B	31.2 A	26.7 B	27.5 B	26.2 B	
عملکرد بوته Yield (g per plant)						
0	99.20 b-d	108.70 b	131.80 a	106.70 bc	129.80 a	115.24 A
40	76.18 f	86.08 e	98.17 cd	82.08 ef	96.17 d	87.73 B
Mean	87.69 C	97.39 B	114.98 A	94.39 BC	112.98 A	

† Means with the same letters are not significant at the 5% level of probability using Duncan multiple range test.

†میانگین‌های با حرف‌های مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

جدول ۲- تأثیر شوری و سیلیسیم بر غلظت عنصرهای غذایی در توت‌فرنگی.

Table 2. Effects of salinity and silicon on mineral nutrient concentration in strawberry.

سیلیسیم Si (mM)	شاهد Control	کاربرد ریشه‌ای Soil application		محلول‌پاشی برگی Foliar application		
شوری Salinity (mM)	0	1	2	4	8	Mean
کلر برگ Cl in leaf (%)						
0	2.11 c	2 c	1..8 c	1.99 c	1.7 c	1.92 B
40	3.6 a	2.9 b	2.7 b	2.8 b	2.6 b	2.92 A
Mean	2.85 A	2.45 AB	2.25 AB	2.39A B	2.15 B	
کلر ریشه Cl in root (%)						
0	4.34 c	3.64 e	3.2 f	2.64 g	2.2 h	3.2 B
40	6.6 a	5.11 b	5.09 b	4.11 d	4.09 d	5 A
Mean	5.47 A	4.37 C	4.14 C	3.37 D	3.14 E	
نیتروژن برگ N in leaf (%)						
0	2.22 a	2.26 a	2.34 a	2.23 a	2.26 a	2.26 A
40	2.14 a	2.25 a	2.28 a	2.21 a	2.24 a	2.22 A
Mean	2.18 A	2.25 A	2.31 A	2.22 A	2.25 A	
سدیم برگ Na in leaf (mg g^{-1} DW)						
0	3.03 d	2.85 d	2.6 d	2.75 d	2.5 d	2.74 B
40	14.1 a	13.08 b	11.9 6c	13.48 ab	12.05 c	12.93 A
Mean	8.56 A	7.96 A	7.28 B	8.11 A	7.27 B	
سدیم ریشه Na in root (mg g^{-1} DW)						
0	2.7 c	2.53 c	2.52 c	2.30 c	2.30 c	2.47 A
40	4.4 a	3.65 b	3.6 b	3.4 b	3.36 b	3.66 B
Mean	3.55 A	3.09 B	3.06 B	2.85 C	2.83 C	
پتاسیم برگ K in leaf (mg g^{-1} DW)						
0	37.35 ae	42.61 a	41.11 ab	40.61 ac	39.11 ad	40.15 A
40	30.63 e	34.09 ec	36.6b e	32.09 e	33.6 de	33.2 B
Mean	33.99 B	38.35 A	38.35 A	36.35 A	36.35 A	
پتاسیم ریشه K in root (mg g^{-1} DW)						
0	3.27 d	3.75 a	3.8 a	3.5 bc	3.6 ab	3.58 A
40	2.74 f	3.12 de	3.3 cd	2.92 ef	3.1 de	3.03 B
Mean	3.01 D	3.43 AB	3.55 A	3.21 C	3.35 BC	
سیلیسیم برگ Si in leaf (mg g^{-1} DW)						
0	5.17 h	9.8 f	16.97 a	13.42 cd	15.82 b	12.23 A
40	4.62 h	6.6 g	13.82 c	11.57 e	12.75 d	9.87 B
Mean	4.89 E	8.2 d	15.39 A	12.49 C	14.28 B	

† Means with the same letters are not significant at the 5% level of probability using Duncan multiple range test.

†میانگین‌های با حرف‌های مشترک اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

نتیجه‌های مقایسه میانگین نشان داد غلظت پتاسیم در تمامی تیمارها در ریشه و شاخساره، کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین مقدار پتاسیم ریشه در بین کلیه سطح‌های کاربردی سیلیسیم، در سطح دو میلی‌مولار کاربرد ریشه‌ای به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۱۸٪ افزایش نشان داد. میانگین غلظت پتاسیم در شاخساره و ریشه در غلظت ۴۰ میلی مولار شوری در تمامی تیمارها، با افزایش مقدار سیلیسیم، افزایش یافت. نتیجه‌های پیشین نشان داده است که با افزایش شوری، غلظت پتاسیم و نسبت پتاسیم به سدیم کاهش می‌یابد (۷). در شرایط تنش شوری یون سدیم به‌جای یون پتاسیم جذب می‌شود و با یون پتاسیم برای جذب در گیاه رقابت می‌کند که این باعث کاهش جذب پتاسیم می‌شود (۴۰). ارزیابی نسبت پتاسیم به سدیم یک معیار مهم در تحمل گیاه به شوری است و بر این اساس افزایش مقدار پتاسیم به سدیم می‌تواند اثرهای بد سدیم را در گیاه کاهش دهد (۴۸). همچنین سیلیسیم، با کاهش جذب نمک و افزایش نسبت پتاسیم به سدیم مقدار فتوسنتز را در شرایط شوری افزایش می‌دهد (۷) که باعث بهبود عملکرد گیاه می‌شود.

سیلیسیم برگ

اثر دو عامل شوری و سیلیسیم و همچنین برهمکنش آن‌ها بر مقدار این ویژگی معنی‌دار بود. به‌صورت کلی مقدار سیلیسیم با افزایش سطح‌های تیماری با این عامل افزایش بسیار معنی‌داری را نشان داد. همچنین شوری باعث کاهش معنی‌دار این عامل در کلیه سطح‌ها شد (جدول ۲). در بررسی‌های پیشین مشخص شد که انتقال سیلیسیم در گیاهان از درون آوند چوبی انجام می‌گیرد. بنابراین توزیع آن‌ها در شاخه‌ها و برگ‌ها و اندام‌های هوایی، به‌وسیله مقدار تعرق در اندام‌ها، تعیین می‌شود (۴۱). در واقع بیشترین غلظت‌های سیلیسیم در گیاه در محل‌هایی مشاهده می‌شود که بیشترین تبخیر و تعرق را دارند (۲۵).

نتیجه گیری

نتیجه‌های حاصل از این پژوهش، نشان داد که شوری باعث کاهش وزن اندام‌های هوایی، عملکرد میوه و شاخص سبزینگی در هر دو روش کاربرد ریشه‌ای و محلول‌پاشی برگی شده است. هم‌چنین نتیجه‌ها نشانگر اثرهای سودمند کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و زیست‌شیمیایی گیاه توت‌فرنگی در شرایط شوری در هر دو روش محلول‌پاشی برگی و کاربرد ریشه‌ای می‌باشد. اگرچه سیلیسیم عنصر ضروری برای بیشتر گیاهان محسوب نمی‌شود، ولی اثرهای سودمندی بر رشد گیاه دارد. در شرایط که با تنش شوری مواجه هستیم می‌توان با استفاده از محلول پاشی و استفاده ریشه‌ای سیلیسیم اثرات منفی تنش شوری را به طور معنی‌داری کاهش داد.

منابع References

۱. آرویی، ح.، م. ناصری، س.ح. نعمتی و م. کافی. ۱۳۹۳. تأثیر سیلیس در کاهش اثرات تنش شوری در گیاه شنبلیله *Trigonella foenum- graecum*. پژوهش‌های کاربردی زراعی، ۱۷۲-۱۶۵:۲۷.

۲. بهتاش، ف.، س. طباطبایی، م. ج. ملکوتی، م. ح. سرورالدین و ش. اوستان. ۱۳۸۷. اثر کادمیم و سیلیسیم بر رشد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی چغندر لبویی. مجله دانش کشاورزی پایدار، ۶۶-۵۳:۲۰.

۳. پورثانی، م. ۱۳۷۰. چند نکته مهم درباره توت‌فرنگی. انتشارات دانشمند، ۳۳۲ ص.

۴. پیوست، غ. ع.، م. ر. زارع و ح. ا. سمیع‌زاده. ۱۳۸۶. اثر متقابل سطوح مختلف سیلیسیم و تنش شوری بر رشد کاهو پیچ تحت شرایط کشت در سیستم لایه نازک محلول غذایی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ویژه علوم باغبانی. ۸۸-۷۹: ۲۲.

۵. جعفری، م. ۱۳۷۳. سیمای شوری و شورروی‌ها. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۵۵ ص.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

۶. سیدلر فاطمی، ل.، س. ج. طباطبائی و ا. فلاحی. ۱۳۸۷. اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی، ۹۵-۸۸: ۲۳.

۷. سیدلر فاطمی، ل.، س. ج. طباطبائی و ا. فلاحی. ۱۳۸۸. تأثیر سیلیسیم بر شدت فتوسنتز و غلظت عناصر غذایی گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله دانش کشاورزی پایدار، ۱۱۹-۱۰۷: ۱.

۸. کاشانی، س. ۱۳۸۸. مطالعه اثر تنش شوری بر مقدار کلروفیل در اسپرس و یونجه. فصل‌نامه علمی پژوهشی گیاه و زیست‌بوم، ۸۹-۱۸:۷۷.

۹. کاشی، ع. و ج. حکمتی. ۱۳۷۰. پرورش توت‌فرنگی. انتشارات احمدی، تهران. ۳۵۹ ص.

۱۰. ملکوتی، م ج.، پ. کشاورز و ن. کریمیان. ۱۳۸۷. روش جامع تشخیص و توصیه بهینه کود برای کشاورزی پایدار. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۷۵۵ ص.

۱۱. میلانی، پ. ۱۳۷۵. چگونگی بهره‌برداری از اراضی شور. مقدمه‌ای بر شوری خاک. نشریه فنی شماره ۱۷. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. تهران، صفحه‌های ۱۱ تا ۱۳.

۱۲. هاشمی نیا، م. ۱۳۸۳. مدیریت آب در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۵۱۹ ص.

۱۳. یارنیا، م. ۱۳۸۶. ارزیابی تعدادی از شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام سورگوم علوفه‌ای در شرایط تنش شوری. مجله علوم کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، ۶۷-۵۶: ۱.

14. Adatia, M. and R. Besford. 1986. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. Ann. Bot. 58:343-351.
15. Asch, F., M. Dingkuhn and K. Dorffling. 2000. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field-grown, irrigated rice. Plant Soil 218:1-10.
16. Bandeh hagh, A., H. Kazemey, M. Valizadeh and A. Javanshir. 2004. Resistance of *Triticum aestivum* (spring cultivars) to salinity stress in vegetative and generative stages. Iranian J. Agr. Sci. 35:214-221.
17. Barroso, M. M. and C. Alvarez. 1997. Toxicity symptoms and tolerance of strawberry to salinity in the irrigation water. Sci. Hort. 71:177-188.
18. Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1962. Methods of analysis for soils, plants and waters. Soil Sci. 93:68.
19. Corrales, I. C. Poschenrieder and J. Barceló. 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. Plant Soil. 190:203-209.
20. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci. 91:11-17.
21. Epstein, E. J. D. Norlyn, D. W. Rush, R. W. Kingsbury, D. B. Kelley, G. A. Cunningham and A. F. Wrona. 1980. Saline culture of crops: a genetic approach. Sci. 210:399-404.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

22. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013.
23. FAO – Food and Agriculture Organization. 2006. Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries. Available in: http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm (accessed in 08 July 2006) .
24. Han, H. and K. Lee. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Res J. Agr. Biol. Sci.1:210-215.
25. Henriet, C. X. Draye, I. Oppitz, R. Swennen and B. Delvaux. 2006. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa* spp.) under controlled conditions. Plant Soil. 287:359-374.
26. Kamaenidou, S., T. Cavins and S. Marek. 2002. Silicon supplementation affects greenhouse produced cut flower. MS Thesis, Oklahoma State University. Stillwater. 104 p.
27. Karlidag, H. E. Yildirim and M. Turan. 2009. Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. Sci. Agr. 66:180-187.
28. Kaya, C. H. Kirnak, D. Higgs and K. Saltali. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Sci. Hort. 93:65-74.
29. Keutgen, A. J., and E., Pawelzik. 2009. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. Environ. Exp. Bot. 65:170-176.
30. Liang, C.C. Park, A.Y. and J.L. Guan. 2007. *In vitro* scratch assay: a convenient and inexpensive method for analysis of cell migration *in vitro*. Nat. Protoc. 2(2):329-333.
31. Liang, Y. 1997. Effect of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity of barley under salt stress. Pedosphere, 8:289-296.
32. Loescher, W., Z. Chan, R. Grumet. 2011. Options for developing salt-tolerant crops. HortScience, 46 (8):1085–1092.
33. Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. Soil Sci. 50:11-18.
34. Ma, J.F. and E. Takahashi. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Elsevier, the Netherlands. 281p .

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

35. Marschner, H and P. Marschner. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 650p.
36. Motomura, H., N. Mita and M. Suzuki. 2002. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae–Bambusoideae). Ann. Bot. 90:149-152.
37. Munns, R. and A., Termaat. 1986. Whole-plant responses to salinity. Fun. Plant Biol. 13:143-160.
38. Ondrasek, G., D. Romic, M. Romic, B. Duralija and I. Mustac. 2007. Strawberry growth and fruit yield in a saline environment. Agr. Cons. Sci. 71:155-158.
39. Orsini, F., M. Alnayef, S. Bona, A. Maggio and G. Gianquinto. 2012. Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. Environ. Exp. Bot. 81:1-10.
40. Parida, A.K., and A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxic Environ. Saf. 60:324-349.
41. Parry, D.W. and A. Winslow. 1977. Electron-probe microanalysis of silicon accumulation in the leaves and tendrils of *Pisum sativum* L. following root severance. Ann. Bot. 275-278.
42. Saied, A.S., A.J. Keutgen and G. Noga. 2005. The influence of NaCl salinity on growth, yield and fruit quality of strawberry cvs.'Elsanta'and 'Korona'. Sci. Hort. 103:289-303.
43. Savant, N. K. G. H. Korndörfer, L. E. Datnoff and G. H. Snyder. 1999. Silicon nutrition and sugarcane production: A review 1. J. Plant Nutr. 22: 1853-1903.
44. Silva, J.A. and R.S. Uchida. 2000. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils. Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture. University of Hawaii. Preface and Introduction. 1-7.
45. Sonneveld, C. and W. Voogt. 1990. Response of tomatoes *(Lycopersicon esculentum* Mill.) to an unequal distribution of nutrients in the root environment. Plant Soil. 124:251-256.
46. Sposito, G. 2008. The Chemistry of Soils. Oxford university press. New York. 277 p.
47. Szabolcs, I. 1989. Salt-Affected Soils. CRC Press Inc., Boca Raton. 274 p.
48. Tabatabaei, S. 2006. Effects of salinity and N on the growth, photosynthesis and N status of olive (*Olea europaea* L.) trees. Sci. Hort. 108: 432-438.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

49. Tahir, M.A., A. Rahmatullah, M. Ashraf, S. Kanwal and T. Maqsood. 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. Pakistan J. Bot. 38: 1715-1722.

50. Turhan, E. and A. Eris. 2005. Effects of sodium chloride applications and different growth media on ionic composition in strawberry plant. J. Plant Nutr. 27: 1653-1665.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18 (2): 195-208 (2017)

Effect of Root and Foliar Applications of Silicon on Growth of Strawberry and Mineral Nutrient Uptake under Salinity Stress in Soilless Culture

Z.S. Khosrofard*, S. Eshghi, S. Rastgoo, M. Hedayat [1]

This research was conducted to study the effect of root and foliar applications of silicon on growth and yield of strawberry under salt stress conditions in soilless culture. Experiment was conducted based on factorial experiment considering the silicon concentration and its application method as the first factor and salinity as the second one with in completely randomized design in 3 replications. Seedlings of Pajero cultivar of strawberry were prepared at 4-5 leaf stage. After transplanting into 3 L plastic pots containing cocopeat and perlite (1:1 v/v). Salinity levels were; 0 mM (as control) and 40mM. NaCl along with applying salinity treatments, silicon treatments were applied using silicic acid as 1 and 2mM as root application every other day and at 4 and 8mM as foliar spraying once per two weeks. Morphological and vegetative traits consisted of shoot and root dry weight, leaf area, greenness index, specific leaf area, leaf nitrogen content and yield, sodium, potassium, chlorine, silicon and nitrogen concentration in strawberry plant were measured and analyzed. The results showed that NaCl of 40 mM in all levels of silicon concentrations reduced all traits, except the sodium content of shoot and root. At both salinity levels, silicon showed a positive effect on growth parameters of strawberry and reduced adverse effects of salinity. It also seems that root application of silicon has a greater impact on controlling the negative effects of salinity compared to its foliar application method.

Keywords: Strawberry, Silicon, Salinity, Yield, Root application.

[Downloaded from journal-irshs.ir on 2025-12-06]

[DOR: 20.1001.1.16807154.1396.18.2.7.2]

1. Former M.Sc. Student, Department of Horticultural Science, Persian Gulf University Bushehr, Professor, Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University and Associate Professors, Department of Horticultural Science, Persian Gulf University Bushehr, Iran, respectively.

*Corresponding author, Email: (z.khosrofard@yahoo.com).