

تعدیل تنش شوری با محلول پاشی نانوسیلیکون در رز باغی مینیاتوری (*Rosa chinensis*) (Jacq.)

میلاد کریمی، حنیفه سید حاجی زاده*، سید مرتضی زاهدی و سحر عزیزی

گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲)

چکیده

به منظور بررسی اثرات محلول پاشی نانوسیلیکون در تعدیل تنش شوری در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز آزمایشی براساس فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. در این پژوهش برای بهبود صفات کمی، کیفی و بیوشیمیایی گل رز باغی در شرایط شور (صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی مولار)، از محلول پاشی نانوسیلیکون در غلظت‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) استفاده شد. نتایج نشان داد شوری ۵۰ میلی مولار در تمامی فاکتورهای اندازه‌گیری شده باعث کاهش شدید این پارامترها نسبت به گیاهان شاهد شد و کمترین مقدار هر پارامتر در غلظت ۵۰ میلی مولار شوری حاصل شد. درحالی‌که محلول-پاشی نانوسیلیکون تحت شوری ۵۰ میلی مولار، باعث محافظت از شاخص کلروفیل، و منجر به افزایش تعداد برگ (۶۴/۲ درصد)، فلورسانس حداکثر (۵۵/۴ درصد) و فلورسانس متغیر (بیش از سه برابر) گردید. همچنین محلول پاشی منجر به کاهش میزان فلورسانس حداقل (۴۴ درصد) در شرایط شوری ۵۰ میلی مولار گردید. نانوسیلیکون با تحریک رشد و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش پراکسیداسیون لیپیدها، میزان مالون دی‌آلدئید و در نهایت باعث کاهش تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی شد. محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط تنش باعث افزایش میزان سنتز پرولین و کاهش آسیب اکسیداتیو به پروتئین شد. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، محلول پاشی نانوسیلیکون به ویژه در غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تحت شرایط تنش شوری در گل رز قابل توصیه است.

کلمات کلیدی: درختچه، پرولین، تنش غیرزیستی، محافظت آنتی‌اکسیدانی، شاخص کلروفیل

مقدمه

شاخه بریده در سرتاسر دنیا محسوب می‌شوند. از طرفی اخیراً با توجه به کاربردهای گوناگون در زمینه تهیه فرآورده‌های دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی، توجه زیادی به این گیاه شده است. گزارش شده که گل رز نسبتاً به شوری حساس بوده و چنانچه در معرض شوری ۲ تا ۳ دسی‌زیمنس بر متر قرار گیرد، عملکرد آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد

رزها (*Roses*) یکی از مهم‌ترین گیاهان برای کشت در فضای سبز هستند و به دلیل گوناگونی در شکل گل، عادت رشدی گیاه و سازگاری با محیط، به‌طور گسترده زیر کشت قرار می‌گیرند (Cai et al., 2014). همچنین رزها به دلیل تنوع در رنگ و زیبایی گل، یکی از محبوبترین و پرفروش‌ترین گل‌های

سیلیکون دومین عنصر فراوان در خاک است و در بسیاری از گیاهان به عنوان یک عنصر مفید برای رشد و نمو گیاه مطرح است. کاربرد سیلیکون (Si) باعث بهبود رشد و نمو در گیاهان مختلف بخصوص هنگامی که تحت تنش های زیستی و غیرزیستی نظیر تنش فلزات سنگین، شوری، خشکی، سرما و یخ زدگی قرار گیرند، می شود (Zhu and Gong, 2014). سیلیکون، از طریق مکانیسم های مختلف تنظیم کننده مانند افزایش فعالیت فتوسنتزی، بهبود وضعیت آب و مدیریت مناسب مواد مغذی، سم زدایی از گونه های واکنش گر اکسیژن با استفاده از سیستم های دفاعی آنتی اکسیدان ها و غیر آنتی اکسیدان ها، کاهش جذب سدیم یا افزایش پتاسیم وابسته به پمپ H^+ -ATPase در اندام های مختلف، تحمل به تنش شوری را افزایش می دهد (Liu *et al.*, 2019). مطالعات نشان می دهد اخیراً استفاده از نانو ذرات در کشاورزی گسترش زیادی پیدا کرده است، هرچند کاربرد آن ها در کشاورزی حتی در سطح جهانی، در مرحله ابتدایی قرار دارد. به دلیل اینکه دیواره سلول گیاهی به عنوان یک مانع برای ورود آسان هر عامل خارجی به داخل سلول های گیاهی عمل می کند، نانو ذرات که قطر منفذ کمتری نسبت به قطر منفذ دیواره سلولی دارند، به راحتی می توانند از منافذ روی دیواره عبور کنند. نانو ذرات در سطح برگ از طریق منافذ روزنه ای و یا پایه های کرک وارد گیاه می شوند و سپس به بافت های مختلف منتقل می شوند (Nair *et al.*, 2010). برخی مطالعات به منظور بررسی تنش شوری در گونه های گل رز انجام شده است. به عنوان مثال در پژوهشی روی شش رقم رز هیبرید باغچه ای، محققان مشاهده نمودند که با افزایش سطح شوری در ارقام Caldwell Pink, Carefree, Delight, Marie, New Dawn, Pavie, The Fairy کاهش سرعت رشد گیاهان، میزان عملکرد و تعداد گل نیز کاهش می یابد (Cai *et al.*, 2014). Hajizadeh و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که نانو سیلیکون به ویژه در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر باعث بهبود رشد، صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ژربرا شد. ضخامت ساقه را افزایش داد اما طول ساقه را کمی تحت تأثیر قرار داد که در شوری ۳۰ میلی مولار

(Kataria and Verma, 2018). گزارش های مختلف روی ارقام گل رز نشان می دهد شوری به ویژه در غلظت های بالا اثر معنی داری بر بسیاری از پارامترهای رشدی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی داشته است؛ به طوری که شوری منجر به کاهش سطح برگ، ارتفاع، تعداد شاخه های فرعی و اندازه گل گردیده است (Yazdani-Biouki *et al.*, 2020). اصغری و دیانت (Asgari and Diyanat, 2021) نشان دادند شوری علاوه بر پارامترهای رشدی، برخی از صفات فیزیولوژیکی مانند رنگیزه های فتوسنتزی و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را در گیاه رز رقم مینما تحت تأثیر قرار می دهد. شوری از مهم ترین تنش های غیرزیستی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می دهد. مطالعات نشان می دهد تنش شوری حداقل باعث خسارت ۲۰ درصدی به محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است (Hussain *et al.*, 2018). معمول ترین نوع شوری که در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کمبود آب رخ می نماید ناشی از کلرید سدیم است. قرار گرفتن طولانی مدت در معرض شوری منجر به تنش های قابل توجه یونی و اکسیداتیو می شود که به دلیل جریان بیشتر کلرید سدیم به داخل گیاه است (Ferchichi *et al.*, 2018). اثرات زیان آور شوری بر گیاهان به شیوه های مختلف از قبیل مرگ و یا کاهش تولید گیاه نمایان می شود (Parida and Das, 2005). تجمع نمک ها غلظت رنگدانه های فتوسنتزی مانند کلروفیل و کاروتنوئید را کاهش داده و پس از آن با مهار آنزیم ریبولوز او۵- بیس فسفات، مراکز واکنش در فتوسنتز را تخریب و در نتیجه باعث تولید مقادیر زیادی از گونه های اکسیژن واکنش پذیر (ROS) می شود (Fing *et al.*, 2018). علاوه بر این، مقادیر بیش از حد ROS مانع تعرق و جذب مواد مغذی شده و به درشت مولکول های حیاتی مانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین ها و لیپیدها و نیز یکپارچگی غشاء آسیب رسانده و در سایر متابولیسم های حیاتی اختلال ایجاد می کند (Morton *et al.*, 2019). برای غلبه بر تنش شوری، گیاهان باید شرایط محرومیت یونی، تحمل اسمزی، هموستازی اکسیداسیون و احیا و کارایی فتوسنتز خود را بهبود بخشند.

این تفاوت بسیار مشهود بود. شوری نشت الکترولیت (۳۲/۵٪)، مالون دی آلدئید (۸۳/۸٪)، پراکسید هیدروژن (۱۱۳/۵٪)، و فعالیت آنزیم آنتی اکسیدانی مانند آسکوربات پراکسیداز (۳/۴ برابر) و گایاکول پراکسیداز (۶ برابر) را افزایش داد محلول پاشی گیاهان ژربرا با نانو سیلیکون باعث تعدیل آن شد. همچنین افزایش SiO₂-NPs به ویژه در غلظت ۲۵ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش جذب Ca²⁺ (۲۵/۳ درصد) و همچنین K⁺ (۲۷/۱ درصد) و کاهش جذب Na⁺ (۶/۳ درصد) شد. نتایج حاکی از تأثیر زیاد SiO₂-NPs در بهبود تحمل به شوری در ژربرا و نیز در بهبود ویژگی های رشدی گیاه در شرایط غیرشور داشت. اثر مطلوب کوددهی سیلیسیم بر تعدیل ناهنجاری های ناشی از تنش شوری در گیاهان متعدد دیگری از جمله گل ژربرا (Savvas *et al.*, 2002) نیز گزارش شده است.

با توجه به اهمیت گیاه رز در صنعت گل و گیاهان زینتی و طراحی فضای سبز و این که یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در ظاهر گل و حفظ طراوت و کیفیت آنها، تغذیه بهینه در طول دوره رشدونمو گل است. از طرفی وجود شرایط نامناسب محیطی از جمله تنش شوری در منابع آبی و خاکی اثرات منفی در رشدونمو گیاهان زینتی و نیز تغذیه متعادل آنها دارد. بنابراین شناسایی راهکارهای مناسب با هزینه کم جهت تعدیل اثرات شوری و افزایش کمیت و کیفیت گیاهان زینتی چندساله در فضای سبز از اهمیت زیادی برخوردار است. لذا هدف از این مطالعه بررسی پتانسیل استفاده از نانوسیلیکون در شرایط شوری بر خصوصیات رویشی، فیزیولوژیکی و فعالیت رنگدانه های فتوسنتزی گل رز باغچه ای رقم ساناز است.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و در آزمایشگاه پژوهشی گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه مراغه روی رزهای باغی مینیاتوری رقم ساناز (*Rosa chinensis* Jacq. cv. Sanaz)، براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. برای این منظور، قلمه های ریشه دار شده رز از شهرستان محلات خریداری شد و به گلخانه تجاری در

شهرستان مراغه با میانگین دمای ۲۰±۵ درجه سانتی گراد، شدت نور ۱۸۰-۲۰۰ میکرومول بر متر مربع در ثانیه و متوسط رطوبت نسبی ۸۰ درصد جهت استقرار و اعمال تیمارها منتقل شدند. قلمه های ریشه دار شده رز در گلدان های پلاستیکی سه لیتری حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۲ کشت شدند. همچنین به منظور تغذیه پایه گیاهان از محلول یک دوم هوگلند استفاده شد. یک ماه پس از استقرار گیاهان در بستر کشت و قبل از گلدهی، به منظور اعمال تنش شوری از نمک کلرید سدیم (NaCl) به همراه محلول غذایی در سطوح صفر، ۲۵ و ۵۰ میلی مولار استفاده شد و غلظت های مختلف نمک در محلول غذایی هوگلند حل شد و برای آبیاری گیاهان به مدت یک ماه استفاده گردید. برای تیمار شاهد فقط از محلول غذایی هوگلند استفاده شد. جهت جلوگیری از تجمع نمک، بستر کشت هر دو هفته یکبار به صورت کامل توسط آب شهری شستشو داده می شد. نانوسیلیکون (با اندازه کوچکتر از ۵۰ نانومتر) از شرکت نانوسانی (ایران) طبق مشخصات ارائه شده در پژوهش قبلی (Hajizadeh *et al.*, 2021) تهیه شد. پس از یک ماه اعمال سطوح مختلف شوری، محلول پاشی با نانوسیلیکون در غلظت های صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به صورت محلول پاشی به فاصله هر سه روز یکبار در پنج مرحله انجام گرفت. محلول پاشی تیمارهای شاهد با آب مقطر انجام شد. یک هفته بعد از پایان محلول پاشی، نمونه های گیاهی جمع آوری شد و برخی صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، فلورسانس کلروفیل، مقدار پرولین، مقدار پروتئین و مالون دی آلدئید و نیز میزان فعالیت آنزیم های آسکوربات پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و گایاکول پراکسیداز مورد اندازه گیری قرار گرفت.

شاخص کلروفیل: برای اندازه گیری کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD-520، ژاپن) استفاده شد. به طوری که از بین برگ های بالغ توسعه یافته و از بخش میانی بوته ها سه برگ به طور تصادفی انتخاب شد و در هر برگ از سه قسمت متفاوت و خارج از محل رگبرگ ها نمونه برداری و

میکرولیتر عصاره پروتئینی افزوده شد و به سرعت با همزن آزمایشگاهی مخلوط گردید. پس از پنج دقیقه، جذب آن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (Shimadzu, UV-1800) با طول موج ۵۹۵ نانومتر اندازه‌گیری گردید (Mac-Adam *et al.*, 1992).

آنزیم آسکوربات پراکسیداز: کمپلکس واکنشی (یک میلی‌لیتر) شامل، ۲۵۰ میکرولیتر از محلول بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (اسیدیته $V=$)، ۲۵۰ میکرولیتر از آسکوربات یک میلی‌مولار، ۲۵۰ میکرولیتر از اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید (EDTA) ۰/۴ میلی‌مولار، ۱۹۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر، ۱۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۰ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شد. جذب واکنش آنزیمی در طول موج ۲۹۰ نانومتر در زمان شروع و پس از یک دقیقه از شروع واکنش توسط اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد (Yoshimura *et al.*, 2000).

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز: جهت سنجش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش Beauchamp و Fridovich (۱۹۷۱) استفاده گردید. محلول‌های مورد نیاز برای سنجش فعالیت این آنزیم شامل ۵۰ میلی‌مولار بافر فسفات پتاسیم (اسیدیته $V/8$)، ۱۳ میلی‌مولار متیونین، ۷۵ میکرومولار نیتروبلوتترازولیموم (NBT)، ۰/۱ میلی‌مولار اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید (EDTA)، ۲ میکرومولار ریبولوین بودند. ابتدا نمونه کنترل که شامل موارد ذکر شده در بالا به غیر عصاره آنزیمی بود تهیه شد. سپس تحت تابش دو لامپ فلورسنت ۲۰ وات به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها در ۵۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد.

آنزیم گایاکول پراکسیداز: کمپلکس واکنشی (دو میلی‌لیتر) شامل، یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۱۰۰ میلی‌مولار (اسیدیته $V=$)، ۲۵۰ میکرولیتر اتیلن دی‌آمین تتراستیک اسید (EDTA) ۰/۱ میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر گایاکول پنج میلی‌مولار، یک میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار و ۵۰ میکرولیتر از محلول آنزیمی استخراج شد. میزان جذب واکنش آنزیمی در

اندازه‌گیری کلروفیل صورت گرفت (Raeini and Shiukhy, 2014).

شاخص فلورسانس کلروفیل: اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر (مدل WALZ-2500 Germany)، از برگ‌های شاخساره‌های کاملاً توسعه‌یافته در حالت روشنایی صورت گرفت و سپس مقادیر فلورسانس حداقل (F_0)، فلورسانس حداکثر (F_m)، فلورسانس متغیر (F_v) و حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II (F_v/F_m) محاسبه شد (Hosseinzadeh *et al.*, 2016).

پرولین: طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، ۰/۵ گرم از برگ گیاه توزین و در هاون چینی حاوی ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ساییده شد. از هر کدام از محلول‌های حاصل ۲ میلی‌لیتر برداشته و در لوله‌های آزمایش ریخته شد و سپس به هر یک ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید خالص افزوده شد. لوله‌ها به مدت یک ساعت در بن‌ماری ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و سپس در حمام یخ قرار گرفتند. به هر کدام از لوله‌ها ۲ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و به شدت تکان داده شدند. سپس میزان جذب در طول موج ۵۳۲ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد.

مالون دی‌آلدهید: بافت تازه برگ (۰/۲ گرم) در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرو استیک اسید (TCA) یک درصد ساییده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰g سانتریفوژ گردید. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل، ۴/۵ میلی‌لیتر از محلول TCA که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتریک اسید (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد جذب این محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) در دو طول موج ۵۳۲ و ۶۱۰ نانومتر خوانده شد (Packer and Heath, 1969).

پروتئین محلول کل: برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره، ۱۰۰

کاربرد نانوسیلیکون میزان این شاخص (۱/۰۱ مقابل ۰/۴۳) را افزایش داد (شکل a ۲). شوری شدید میزان کارایی فتوسنتز II (۰/۵۸ مقابل ۰/۹) را در مقایسه با شرایط عدم شوری (شاهد) کاهش داد (شکل b ۲).

در شرایط طبیعی، گیاهان در معرض بسیاری از عوامل تنش‌زای محیطی قرار می‌گیرند. که این تنش‌های محیطی می‌تواند دستگاه فتوسنتزی را مختل کنند و باعث کاهش بهره‌وری گیاه و عملکرد کلی شوند. فتوسنتز به‌ویژه به محدودیت‌های محیطی حساس است (Kalaji et al., 2012). افزایش تعداد برگ یکی از راه‌هایی است که گیاه می‌تواند فتوسنتز و کربوهیدرات خود را افزایش دهد (Bayat et al., 2012). سیلیسیم از انتقال و تجمع Na و Cl در اندام‌های هوایی گل رز جلوگیری کرد (Savvas et al., 2007). تعداد برگ بیش‌تر که در گیاهان تحت تنش به همراه تیمار سیلیسیم به ثبت رسیده بیان می‌کند که سیلیسیم علاوه بر اثرات سودمند در حفظ آب بافت و افزایش تورژسانس سلولی، می‌تواند در متابولیسم دیواره سلولی هم نقش ایفا کرده و قابلیت دیواره را در انبساط و در نتیجه اتساع سلول بهبود بخشد (Romero-Aranda et al., 2006). سیلیسیم با افزایش فعالیت آنزیم رویسکو و افزایش مقدار کلروفیل برگ باعث افزایش فتوسنتز می‌شود (Reezi et al., 2009). افزایش فتوسنتز موجب افزایش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود. تجمع مواد حاصل از فتوسنتز در گیاه، تقسیم و رشد سلول‌های گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و باعث بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک می‌شود. این امر در نهایت منجر به افزایش اندام‌های رویشی نظیر تعداد برگ می‌شود (Bayat et al., 2012). کلروفیل از مهمترین رنگدانه‌های نوری در گیاه محسوب می‌شود که مسئولیت اصلی آن دریافت انرژی نورانی برای استفاده در فتوسنتز است که با کاهش میزان کلروفیل در گیاه مقدار فتوسنتز برگ کاهش یافته که نتیجه آن کاهش تولید محصول است (Solomakhin and Blanke, 2008). با توجه به اینکه قسمت اعظم کلروفیل برگ در کلروپلاست‌ها قرار دارد، سیلیسیم با حفظ انسجام کلروپلاست‌ها، به‌خصوص گرانا،

طول موج ۴۷۰ نانومتر در زمان شروع واکنش و یک دقیقه پس از آن محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu, UV-1800) خوانده شد (Tang and Newton, 2005).

داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آنالیز شدند. رسم جداول و نمودارها با استفاده از مجموعه نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۶ است.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات سیلیکون تأثیر معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بر تعداد برگ، فلورسانس حداقل و متغیر و در سطح پنج درصد بر فلورسانس حداکثر داشت. اثرات متقابل شوری و محلول‌پاشی نانوذرات بر میزان شاخص کلروفیل و فتوسنتز II معنی‌دار نبود، اما اثر اصلی محلول‌پاشی در سطح پنج درصد بر میزان شاخص کلروفیل و اثر اصلی هر دو تیمار در سطح یک درصد بر میزان فتوسنتز II اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱).

شوری ۵۰ میلی‌مولار منجر به کاهش تعداد برگ (۱۱/۸۱ مقابل ۲۳/۵۹)، فلورسانس حداکثر (۱/۷۵ مقابل ۲/۵۳) و فلورسانس متغیر (۰/۵۶ مقابل ۱/۵۷) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید. میزات فلورسانس حداقل تحت تنش شدید (۱/۸۴ مقابل ۱/۲۸) افزایش یافت (جدول ۲). محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شوری ۵۰ میلی‌مولار منجر به افزایش تعداد برگ (۱۹/۴۱ مقابل ۱۱/۸۱)، فلورسانس حداکثر (۲/۷۲ مقابل ۱/۷۵) و فلورسانس متغیر (۲/۳۸ مقابل ۰/۵۶) گردید. همچنین محلول‌پاشی منجر به کاهش میزان فلورسانس حداقل (۱/۰۳ مقابل ۱/۸۴) در شرایط شوری ۵۰ میلی‌مولار گردید (جدول ۲).

محلول‌پاشی نانوسیلیکون به‌ویژه در غلظت‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به تیمار شاهد باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ شد. غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون منجر به افزایش شاخص کلروفیل (۴۸/۵ مقابل ۴۱/۲) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (شکل ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر تعداد برگ، شاخص کلروفیل و برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد برگ	شاخص کلروفیل	فلورسانس حداقل	فلورسانس حداکثر	فتوسیستم II متغیر	فلورسانس
تنش شوری	۲	۹/۶۹ ^{ns}	۳۰/۲۱ ^{ns}	۱/۲۶۶ ^{**}	۲/۶۰۸ ^{**}	۰/۳۳۶ ^{**}	۷/۵۳۴ ^{**}
نانوسیلیکون	۴	۹/۶۴ ^{ns}	۷۹/۴۲*	۰/۹۰۵ ^{**}	۱/۲۳۲ ^{**}	۰/۴۱۵ ^{**}	۶/۳۶۵ ^{**}
تنش شوری × نانوسیلیکون	۸	۱۳۹/۹۹ ^{**}	۵۶/۴۷ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{**}	۰/۰۱۱*	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۱۱۲ ^{**}
خطای آزمایشی	۳۰	۳۱/۱۶	۲۹/۲۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳
ضریب تغییرات (درصد)		۲۳/۸۷	۱۱/۹۷	۵/۲۳	۲/۶۷	۴/۰۲	۵/۴۸

**،* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی داری

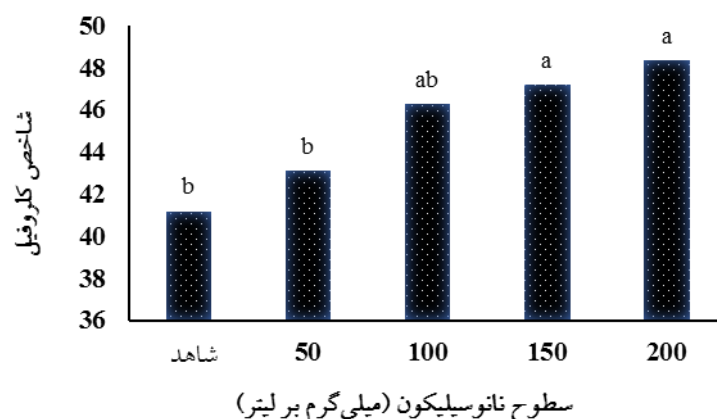
جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و محلول پاشی نانوسیلیکون بر تعداد برگ، شاخص کلروفیل و برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

شوری (کلرید سدیم)	نانوسیلیکون (میلی گرم بر لیتر)	تعداد برگ	فلورسانس حداقل (F0)	فلورسانس حداکثر (Fm)	فلورسانس متغیر (Fv)
۰	۰	۲۳/۵۹ ^{c-d}	۱/۲۸ ^d	۲/۵۳ ^g	۱/۵۷ ^h
۵۰	۵۰	۲۳/۵۹ ^{c-d}	۰/۹۸ ^e	۲/۸۶ ^d	۲/۱۹ ^f
شاهد	۱۰۰	۲۵/۹۸ ^{bc}	۰/۸۲ ^f	۳/۰۲ ^c	۲/۶۵ ^d
۱۵۰	۱۵۰	۳۰/۰۵ ^b	۰/۷۲ ^{gh}	۳/۲۹ ^b	۳/۲۸ ^b
۲۰۰	۲۰۰	۴۱/۵۴ ^a	۰/۶۰ ⁱ	۳/۵۹ ^a	۴/۳۱ ^a
۰	۰	۱۸/۶۱ ^{e-g}	۱/۵۶ ^b	۲/۱۵ ⁱ	۰/۹۹ ^j
۵۰	۵۰	۲۰/۹ ^{c-f}	۱/۳۲ ^d	۲/۳۹ ^h	۱/۴۸ ^{hi}
۲۵ میلی مولار	۱۰۰	۲۱/۱ ^{c-f}	۱/۰۱ ^e	۲/۶۰ ^{fg}	۲/۰۲ ^f
۱۵۰	۱۵۰	۲۱/۰۹ ^{c-f}	۰/۸۱ ^{fg}	۲/۷۳ ^e	۲/۴ ^e
۲۰۰	۲۰۰	۲۴/۲۵ ^{cd}	۰/۶۳ ^{hi}	۲/۹۶ ^{cd}	۲/۹۲ ^c
۰	۰	۱۱/۸۱ ^h	۱/۸۴ ^a	۱/۷۵ ^k	۰/۵۶ ^k
۵۰	۵۰	۱۴/۵۶ ^{gh}	۱/۶۵ ^b	۱/۹۵ ^j	۰/۸۶ ^j
۵۰ میلی مولار	۱۰۰	۱۷/۷۹ ^{fg}	۱/۴۴ ^c	۲/۲۵ ⁱ	۱/۳۲ ⁱ
۱۵۰	۱۵۰	۱۹/۳۷ ^{d-h}	۱/۲۸ ^d	۲/۴۹ ^{gh}	۱/۸۱ ^g
۲۰۰	۲۰۰	۱۹/۴۱ ^{d-g}	۱/۰۳ ^e	۲/۷۲ ^{ef}	۲/۳۸ ^z

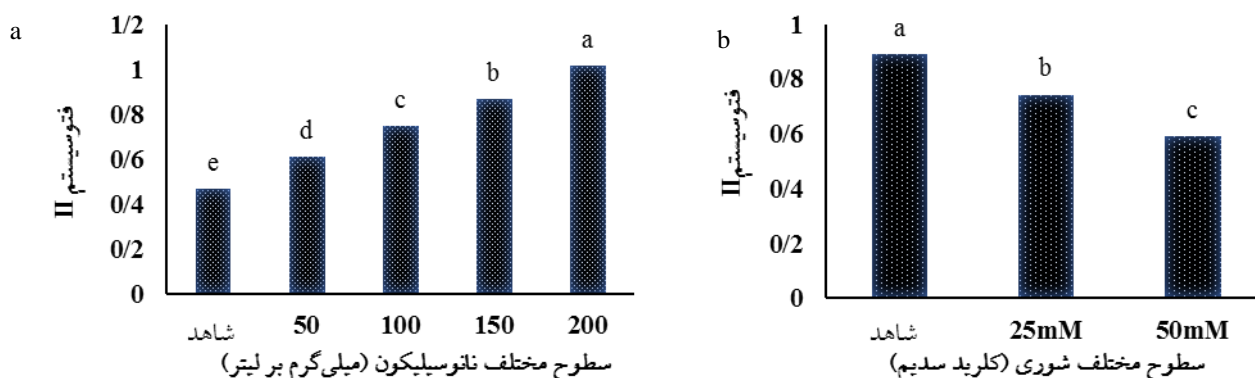
در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف مشترک دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد نمی‌باشند.

(2010). Perez-Perez و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که شوری بر $F0$ تأثیری نداشت، اما سایر پارامترهای فلورسانس، Fm و Fv/Fm کاهش یافته بودند. Jamil و همکاران (۲۰۰۷)

Savvas and () باعث حفظ کلروفیل در این اندامک‌ها می‌شود (Ntatsi, 2015). سیلیسیم باعث افزایش تأمین مواد غذایی و تعادل عناصر ماکرو و میکرو در سلول می‌شود (Abdalla,)



شکل ۱- اثر سطوح مختلف نانوسیلیکون بر میزان شاخص کلروفیل. حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن است.



شکل ۲- (a) اثر سطوح مختلف نانوسیلیکون بر میزان کارایی فوتوسنتز II. (b) اثر شوری بر میزان کارایی فوتوسنتز II. در هر نمودار حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد با استفاده از آزمون دانکن است.

صفات بیوشیمیایی: اثر اصلی شوری بر پرولین و سوپراکسید دیسموتاز در سطح پنج و بر باقی صفات در سطح یک درصد معنی دار بود درحالی که اثر اصلی نانوسیلیکون بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد صفات بیوشیمیایی شامل پرولین، مالون دی آلدئید، پروتئین کل و آنزیم های آنتی اکسیدانی تحت تأثیر اثر متقابل شوری و محلول پاشی نانوسیلیکون قرار گرفتند و همه این پارامترها در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند (جدول ۳).

شوری ۵۰ میلی مولار منجر به افزایش میزان پرولین (۹/۷۱ مقابل ۲/۴۹) و مالون دی آلدئید (۱/۹۴ مقابل ۱/۴۹) در مقایسه با گیاهان شاهد گردید اما میزان پروتئین (۰/۸۵ مقابل ۱/۵۴)

نشان دادند که در تریچه Fv/Fm تحت شرایط شوری کاهش یافته و در شرایط تنش شدید کمترین میزان بود. همچنین، Bao-Shan و همکاران (۲۰۰۴) گزارش داد که تیمار نانوسیلیکون غلظت کلروفیل و شاخص های رویشی را در نهال های کاج اروپایی (*Larix sp.* Mill.) افزایش داد. جذب سیلیکون و رسوب آن در برگ ها ممکن است مستقیماً با ساختار بافت های فتوسنتزی درگیر باشد و بنابراین برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مفید باشد. از آنجایی که فتوسنتز منبع اصلی انرژی برای گیاهان است، برای رشد گیاه ضروری است و مستقیماً با ساختار برگ ها مرتبط است (Asmar et al., 2013).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر صفات بیوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

منابع تغییر	درجه آزادی	پرولین	مالون دی‌آلدئید	پروتئین کل	آسکوربات پراکسیداز	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پراکسیداز
تنش شوری	۲	۱۱/۸۸ *	۰/۲۷۸ **	۱/۶۷ **	۲۲۷/۲۶ **	۳۳/۰۶ *	۰/۰۰۲ **
نانوسیلیکون	۴	۳۱/۱۶ **	۰/۵۳۳ **	۰/۱۳۳ **	۲۰۷/۹۷ **	۸۰/۲۲ **	۰/۰۰۱ **
تنش شوری × نانوسیلیکون	۸	۲۷/۷۷ **	۰/۴۲۲ **	۰/۲۴۲ **	۳۲۵/۱۰ **	۵۴/۹۸ **	۰/۰۰۱ **
خطای آزمایشی	۳۰	۳/۰۵	۰/۰۴۳	۰/۰۱۶	۷/۵۳	۹/۰۶	۰/۰۰۰۰۳
ضرب تغییرات		۲۵/۰۲	۱۷	۹/۰۳	۱۲/۰۳	۳/۸۴	۱۴/۴۱

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد و عدم تفاوت معنی‌داری

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش شوری و نانوسیلیکون بر برخی صفات بیوشیمیایی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رز باغی مینیاتوری رقم ساناز

شوری (کلرید سدیم)	نانوسیلیکون (میلی‌گرم بر لیتر)	پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر)	مالون دی‌آلدئید (نانومول بر گرم وزن تازه)	پروتئین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	آسکوربات پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	سوپراکسید دیسموتاز	گایاکول پراکسیداز
۰	۰	۲/۴۹ e	۱/۴۹ b	۱/۵۴ c-e	۱۱/۸۱ h	۶۵/۶۹ d	۰/۰۱۵ fg
۵۰	۵۰	۷/۶ b-d	۱/۱۶ b-d	۱/۵۸ c-e	۱۴/۵۶ gh	۷۲/۵۶ c	۰/۰۱۷ fg
شاهد	۱۰۰	۳/۹۵ e	۰/۸۰ de	۱/۶۵ b-d	۱۷/۷۹ fg	۷۶/۸۵ bc	۰/۰۱۸ fg
۱۵۰	۱۵۰	۳/۷۹ e	۰/۶۸ ef	۱/۸۵ b	۱۸/۶۱ e-g	۷۷/۳۸ bc	۰/۰۲۰ gh
۲۰۰	۲۰۰	۸/۳۱ b	۰/۴۰ f	۲/۴۹ a	۱۶/۲۰ f-h	۷۷/۰۳ bc	۰/۰۱۸ fg
۰	۰	۸/۰۷ bc	۱/۵۳ b	۱/۱۲ g-i	۱۹/۳۷ d-g	۷۸/۸۴ ab	۰/۰۲۴ e-g
۵۰	۵۰	۸/۳۵ b	۱/۳۲ bc	۱/۲۶ f-h	۱۹/۴۷ d-g	۷۹/۳۴ ab	۰/۰۲۸ ef
۲۵ میلی‌مولار	۱۰۰	۹/۳۲ b	۱/۲۷ bc	۱/۳۶ ef	۲۰/۹۲ c-f	۷۹/۲۹ ab	۰/۰۳۲ de
۱۵۰	۱۵۰	۴/۷۸ de	۱/۲۱ bc	۱/۴۴ d-f	۲۱/۰۹ c-f	۷۹/۸۱ ab	۰/۰۴۵ cd
۲۰۰	۲۰۰	۴/۹۰ c-e	۱/۲۰ bc	۱/۶۸ bc	۲۱/۱۰ c-f	۸۰/۶ ab	۰/۰۴۷ bc
۰	۰	۹/۷۱ b	۱/۹۴ a	۰/۸۵ j	۲۳/۵۹ c-e	۸۱/۰۷ ab	۰/۰۵۰ bc
۵۰	۵۰	۹/۳۲ b	۱/۴۸ b	۱/۰۴ ij	۲۵/۹۸ bc	۸۲/۱۵ ab	۰/۰۵۲ b
۵۰ میلی‌مولار	۱۰۰	۱۴/۶۸ a	۱/۴۵ b	۱/۰۱ ij	۳۰/۰۸ b	۸۲/۷ ab	۰/۰۵۳ b
۱۵۰	۱۵۰	۸/۳۱ b	۱/۳۵ bc	۱/۰۵ ij	۴۲/۳۸ a	۸۲/۵ ab	۰/۰۷۳ a
۲۰۰	۲۰۰	۷/۴ b-d	۱/۵۳ b	۱/۳۱ fg	۴۳/۳۲ a	۸۳/۵۲ a	۰/۰۷۹ a

میانگین‌های دارای حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن نمی‌باشند.

محلول‌پاشی (شاهد) گردید. از طرفی محلول‌پاشی توسط غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون منجر به کاهش میزان مالون دی‌آلدئید (۱/۳۵ مقابل ۱/۹۴) گردید (جدول ۴). یکی از مکانیسم‌های مقاومت گیاهان به تنش شوری

تحت شوری شدید کاهش یافت (جدول ۴). تحت شرایط شوری شدید، محلول‌پاشی به ترتیب توسط غلظت ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نانوسیلیکون منجر به افزایش پرولین (۱۴/۶۸ مقابل ۹/۷۱) و پروتئین (۱/۳۱ مقابل ۰/۸۵) در مقایسه با عدم

و کاهش مالون دی آلدئید در شرایط تنش شد. در گیاه سیاه دانه تنش شوری باعث افزایش معنی دار پرولین، آنزیم لیپوکسیژناز، مالون دی آلدئید و سایر آلدئیدها می شود (Juan et al., 2005). به نظر می رسد کاهش محتوای پروتئین تحت شرایط تنش با کاهش سنتز آن، افزایش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده پروتئین و نیز تجمع اسیدهای آمینه آزاد از جمله پرولین مرتبط است. همچنین گروه های کربونیل که در اثر اکسید شدن پروتئین تولید می گردند تحت تنش در گیاه افزایش می یابد (Tayebi et al., 2012). تغذیه سیلیکون نقش مهمی در تعدیل فراهمی اگزوگلو تاراتات (2-Oxoglutarate) برای متابولیسم اسید آمینه ها ایفا می کند. بر این اساس کاربرد سیلیکون باعث افزایش مقدار پروتئین (با جلوگیری از تخریب آن) می شود (Savvas and Ntatsi, 2015). همچنین مطالعات نشان داد میزان پروتئین در شرایط اعمال سیلیکون در خیار (AL-Aghabary et al., 2005) و گوجه فرنگی (Zhu et al., 2004) تحت تنش شوری افزایش یافت.

آنزیم های آنتی اکسیدانی: نتایج نشان داد شوری شدید منجر به افزایش میزان فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی شامل آسکوربات پراکسیداز (۲۳/۵۹ مقابل ۱۱/۸۱)، سوپراکسید دیسموتاز (۸۱/۰۷ مقابل ۶۵/۶۹) و گایاکول پراکسیداز (۰/۵۰ مقابل ۰/۱۵) در مقایسه با گیاهان شاهد (عدم تنش شوری) گردید. از طرفی تحت تنش شوری، محلول پاشی نانوسیلیکون در غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر منجر به افزایش فعالیت این آنزیم ها (به ترتیب ۴۲/۳۲ مقابل ۲۳/۵۹، ۸۳/۵۲ مقابل ۸۱/۰۷ و ۰/۷۹ مقابل ۰/۵۰) در مقایسه با گیاهان شاهد (محلول پاشی با آب) گردید (جدول ۴).

رادیکال های واکنشگر اکسیژن به طور بالقوه دارای پتانسیلی هستند که با بسیاری از ترکیب های سلولی واکنش داده و سبب خسارت به غشا و سایر ماکرومولکول های ضروری از قبیل رنگدانه های فتوسنتزی، پروتئین ها، اسیدهای نوکلئیک و لیپیدها می شوند (Gill and Tuteja, 2010). به منظور کاهش اثرات سمی اکسیداتیو ناشی از تنش های خشکی و شوری، مکانیسم های متنوعی در گیاه فعال می شود. گیاهان با دارا بودن

بیوسنتز و تجمع مواد آلی با وزن ملکولی کم از جمله پرولین است که از مهمترین اسمولیت ها در بسیاری از گیاهان است که در شرایط تنش تولید آن در گیاه افزایش می یابد (Ashraf and Foolad, 2007). یکی از نقش های پرولین در شرایط تنش شوری حفاظت اسمزی است که آنزیم ها و ساختار سلولی را در برابر تنش اسمزی محافظت می نماید. در شرایط تنش شوری با افزایش غلظت یون های سدیم و کلر در محیط ریشه و افزایش جذب آن ها، گیاهان برای خنثی کردن اثر سمی این یون ها، آن ها را به واکوئل منتقل می کنند و به منظور برقراری تعادل اسمزی، مواد آلی محلول از قبیل پرولین را در سیتوپلاسم تجمع می دهند (Vendruscolo et al., 2007). در پژوهشی که روی گندم در شرایط تنش خشکی انجام شد سیلیسیم با بالابردن مقدار تنظیم کننده های اسمزی نظیر بتائین، پرولین و گلیسین و حفظ تعادل آبی سلول از کاهش شدید محتوی نسبی آب برگ جلوگیری کرده و این امر سبب پایداری ساختار سلول در برابر تنش کم آبی شد (Ahmad and Haddad, 2011). رادیکال های فعال اکسیژن در گیاه باعث می شوند که برای کاهش اثرات سمی تنش اکسیداتیو ناشی از تنش شوری، مکانیسم های متنوعی در گیاه فعال شود. یکی از موارد آسیب اکسیداتیو حاصل از شرایط تنش شوری، پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی و تغییر در نفوذپذیری غشاء (افزایش نشت یونی) و خسارت به سلول است که منجر به تولید مالون دی آلدئید شده و می تواند به عنوان شاخصی از میزان تأثیر تنش شوری مورد توجه قرار گیرد (باقری کشتلی و خسروی نژاد، ۱۳۹۶). مطالعات نشان می دهد کاربرد سیلیکون، باعث کاهش خسارت اکسیداتیو ناشی از گونه های فعال اکسیژن شده و از فرآیندهای فیزیولوژیکی که در معرض تنش قرار گرفته اند محافظت می کند (مخلصیان و همکاران، ۱۳۹۳). در پژوهش موسی پور و اصغری پور (۱۳۹۵) افزودن کودهای سیلیکات به خاک های شور می تواند اثرات تنش شوری را بر گیاه رز مینیاتوری کاهش دهد (Asghari and Marjani, 2021). سیلیکون با تقویت سیستم آنتی اکسیدانی گیاه دارویی رازیانه باعث ایجاد اثر محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدها

گوجه‌فرنگی می‌شود (AL-Aghabary et al., 2005). در گزارشی نیز بیان شد در گیاه نعنای فلفلی نیز محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس را افزایش داد و باعث کاهش اثرات منفی تنش شوری گردید (دانایی و عبدوسی، ۱۴۰۰).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد شوری با افزایش میزان نشانگرهای اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد، اثرات منفی بر رشدونمو و فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رز داشت. از طرفی محلول‌پاشی نانوسیلیکون منجر به تعدیل اثرات منفی شوری از طریق محافظت از سبزی‌نگی برگ و فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی گیاه شد. همچنین، نانوسیلیکون با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه باعث ایجاد اثر محافظتی در برابر پراکسیداسیون لیپیدها و کاهش مالون دی‌آلدئید در شرایط تنش شد. از اینرو با توجه به نتایج پژوهش حاضر و اهمیت محافظت و گسترش فضای سبز، استفاده از نانوسیلیکون راهکار مناسبی جهت مقابله با تنش‌های محیطی به‌ویژه شوری آب و خاک باشد.

سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی که شامل ترکیب‌های آنزیمی (سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، گلوکاتایون پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز، گایاکول پراکسیداز و گلوکاتایون ردوکتاز) و غیرآنزیمی (اسید آسکوربیک، کارتنوئیدها، گلوکاتایون و توکوفرول) است، معمولاً مقدار ROS را در سلول در حد متعادل نگه می‌دارند (Venkatesan and Sridevi, 2009). مطالعات نشان می‌دهد سیلیکون با افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز در مقایسه با گیاهانی که تنها تحت تیمار شوری بودند، باعث کاهش خسارات اکسیداتیو ناشی از گونه‌های فعال اکسیژن شد و از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهانی که در معرض تنش قرار گرفتند محافظت کرد (طالع احمد و حداد، ۱۳۸۹). نتایج پژوهش مخلصیان و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد، در هر دو رقم گیاه جو کاربرد سیلیکون در تغییرات فیزیولوژیکی و متابولیکی جهت افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان نقش داشته و فعالیت آنزیم‌های ضدآکسند را تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد. افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز همراه با افزایش میزان پرولین در تحمل برنج به تنش شوری تأثیر مثبتی داشت (باقری کشتلی و خسروی‌نژاد، ۱۳۹۶). استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در

منابع

- باقری کشتلی، ع. و خسروی‌نژاد، ف. (۱۳۹۶) تأثیر قارچ اندوفیت *Piriformospora indica* بر بهبود شاخص‌های رشد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) تحت تنش شوری. زیست‌شناسی تکوینی ۹: ۷۱-۵۷.
- دانایی، ا. و عبدوسی، و. (۱۴۰۰) اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری. نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۷: ۱۱۲-۹۸.
- طالع، ا. س. و حداد، ر. (۱۳۸۹) اثر سیلیکون بر فعالیت آنزیم‌های ضدآکسند و محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی در دو ژنوتیپ گندم نان در شرایط تنش خشکی. مجله به‌زراعی نهال و بذر (نهال و بذر) ۲۶: ۲۲۵-۲۰۷.
- مخلصیان، ص.، حداد، ر.، گروسی، ق. و قنادنیا، م. (۱۳۹۳) بررسی پاسخ آنزیمی و بیان نسبی ژن‌های کاتالاز و آسکوربیت پراکسیداز به تنش خشکی تحت تأثیر سیلیکون در گیاه جو. مجله علمی - پژوهشی زیست‌فناوری گیاهان زراعی ۴: ۲۰-۱۱.
- موسی‌پور یحیی‌آبادی، ح. و اصغری‌پور، م. (۱۳۹۵) اثرات تنش خشکی و برهمکنش آن با سیلیکون بر سامانه آنتی‌اکسیدان و میزان پراکسیداسیون لیپیدی رازیانه (*Foeniculum vulgare*). فرآیند و کارکرد گیاهی ۵: ۸۵-۷۲.

- Abdalla, M. M. (2010) Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. *Agriculture and Biology Journal of North America* 1: 1076-1089.
- Ahmad, S. T. and Haddad, R. (2011) Study of silicon effects on antioxidant enzyme activities and osmotic adjustment of wheat under drought stress. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47: 17-27.
- AL-Aghabary, K., Zhujun, Z. and Qinhu, S. (2005) Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Plant Nutrition* 27: 2101-2115.
- Asghari, F. and Diyanat, M. (2021) Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis* var. *minima*) plants grown under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition* 44: 536-549.
- Ashrsf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 207-216.
- Asmar, S. A., Castro, E. M., Pasqual, M., Pereira, F. J. and Soares, J. D. R. (2013) Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. *Scientia Horticulturae* 161: 328-332.
- Bao-Shan, L., Chun-hui, L., Li-jun, F., Shu-chun, Q. and Min, Y. (2004) Effect of TMS (nanostructured silicon dioxide) on growth of *Changbai larch* seedlings. *Journal of Forestry research* 15: 138-140.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for stress-water studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.
- Bayat, H., Nemati, S. H. and Selahvarzi, Y. (2012) Effect of silicon on growth and some physiological characteristics of Persian petunia (*Petunia hybrida*). *HortScience* 26: 10-16.
- Beauchamp, C. and Fridovich, I. (1971) Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* 44: 276-287.
- Cai, X., Niu, G., Starman, T. and Hall, C. (2014) Response of six garden roses (*Rosa* × *hybrida* L.) to salt stress. *Scientia Horticulturae* 168: 27-32.
- Ferchichi, S., Hessini, K., Dell'Aversana, E., D'Amelia, L., Woodrow, P., Ciarmiello, L. F., Fuggi, A. and Carillo, P. (2018) *Hordeum vulgare* and *Hordeum maritimum* respond to extended salinity stress displaying different temporal accumulation pattern of metabolites. *Plant Biology* 45: 1096-1109.
- Fing, D. H., Wang, G. Z., Si, W. T., Zhou, Y., Liu, Z. and Jia, J. (2018) Effect of salt stress on photosynthetic pigments and activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in *Kalidium foliatum*. *Russian Journal of Plant Physiology* 65: 98-103.
- Gill, S. S. and Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48: 909-930.
- Hajizadeh, H. S., Asadi, M., Zahedi, S. M., Hamzehpour, N., Rasouli, F., Helvacı, M. and Alas, T. (2021) Silicon dioxide-nanoparticle nutrition mitigates salinity in gerbera by modulating ion accumulation and antioxidants. *Folia Horticulturae* 33: 91-105.
- Heath, R. L. and Packer, L. (1969) Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 125: 189-198.
- Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. and Ismaili, A. (2016) Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica* 54: 87-92.
- Hussain, M., Ahmad, S., Hussain, S., Lal, R., Ul-Allah, S. and Nawaz, A. (2018) Rice in saline soils: Physiology, biochemistry, genetics, and management. In *Advances in Agronomy* 148: 231-287.
- Jamil, M., Lee, K. J., Kim, J. M., Kim, H. S. and Rha, E. S. (2007) Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. *Scientia Agricola* 64: 111-118.
- Juan, M., Rivero, R. M., Romero, L. and Ruiz, J. M. (2005) Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 54: 193-201.
- Kalaji, H. M., Carpentier, R., Allakhverdiev, S. I. and Bosa, K. (2012) Fluorescence parameters as early indicators of light stress in barley. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 112: 1-6.
- Kataria, S. and Verma, S. K. (2018) Salinity Stress Responses and Adaptive Mechanisms in Major Glycophytic Crops: The Story So Far. In *Salinity Responses and Tolerance in Plants*. Springer International Publishing.
- Liu, B., Soundararajan, P. and Manivannan, A. (2019) Mechanisms of silicon-mediated amelioration of salt stress in plants. *Plants* 8: 307.
- Mac-Adam, J. W., Nelson, C. J. and Sharp, R. E. (1992) Peroxidase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology* 99: 872-878.
- Morton, M. J., Awlia, M., Al-Tamimi, N., Saade, S., Pailles, Y., Negrao, S. and Tester, M. (2019) Salt stress under the scalpel—dissecting the genetics of salt tolerance. *Plant Journal* 97: 148-163.
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y. and Sakthi Kumar, D. (2010) Review: Nano particulate material delivery to plants. *Plant Science* 179: 154-163.
- Parida, A. K. and Das, A. B. (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60: 324-349.

- Perez-Perez, J. G., Syvertsen, J. P., Botia, P. and Garcia-Sanchez, F. (2007) Leaf water relations and net gas exchange responses of salinized *Carrizo citrange* seedlings during drought stress and recovery. *Annals of Botany* 100: 335-345.
- Raeini, M. and Shiukhy, S. (2014) Evaluation of the effect of geographical aspects and fruit location within orange tree canopy on Sangin orange fruit quality. *Journal of Agricultural Meteorology* 2: 57-66.
- Reezi, S., Babalar, M. and Kalantari, S. (2009) Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa hybrida* L.) 'Hot Lady'. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 8: 1502-1508.
- Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. and 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.
- Savvas, D. (2002) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens.
- Savvas, D. and Ntatsi, G. (2015) Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 66-81.
- Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M. and Tsouka, N. (2007) Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *European Journal of Horticultural Science* 72: 73.
- Solomakhin, A. and Blanke, M. (2008) Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. *Plant Growth Regulation* 56: 211-218.
- Tang, W. and Newton, R. J. (2005) Peroxidase and catalase activities are involved in direct adventitious shoot formation induced by thidiazuron in eastern white pine (*Pinus strobus* L.) zygotic embryos. *Plant Physiology and Biochemistry* 43: 760-769.
- Tayebi, A., Afshari, H., Farahvash, F., Masood sinki, J. and Nezarat, S. (2012) Effect of drought stress and different planting dates on safflower yield and its components in Tabriz region. *Journal of Plant Physiology* 2: 445-453.
- Vendruscolo, E. C. G., Schuster, I., Pilegg, M., Scapim, C. A., Molinari, H. B. C., Marur, C. J. and Vieira, L. G. E. (2007) Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology* 164: 1367-1376.
- Venkatesan, A. and Sridevi, S. (2009) Response of antioxidant metabolism to NaCl stress in the halophyte *Salicornia brachiata* roxb. *Phytochemistry* 4: 242-248.
- Yazdani-Bioui, R., Rahimian, M. H., Beyrami, H., Rad, M. H. and Ranjbar, G. H. (2020) Effects of different levels of salinity stress on the morphological traits of damask rose (*Rosa damascene* Mill). *JSPI* 11: 1-12.
- Yoshimura, K., Yabute, Y., Ishikawa, T. and Shigeoka, S. (2000) Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Journal of Plant Physiology* 123: 223-233.
- Zhu, Y. and Gong, H. (2014) Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for Sustainable Development* 34: 455-472.
- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. (2004) Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science* 167: 527-533.

Amelioration of salinity stress by spraying of SiO₂-NPs in miniature garden rose (*Rosa chinensis* Jacq.)

Milad Karimi, Hanifeh Seyed Hajizadeh*, Seyed Morteza Zahedi and Sahar Azizi

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
(Received: 17/06/2022, Accepted: 13/09/2022)

Abstract

In order to investigate the effects of nanosilicon in salinity stress amelioration in miniature garden rose 'Sanaz' a factorial experiment as a completely randomized design was done with three replications at greenhouse of University of Maragheh in 1399. In this study, for improving quantitative, qualitative and biochemical traits of miniature garden roses under salt stress (0, 25 and 50 mM NaCl), SiO₂-NPs spray was used at different levels (0, 50, 100, 150 and 200 mg L⁻¹). Results showed that all measured traits were decreased severely at 50 mM salinity compared to the controls and the least amount of each parameter was recorded at 50 mM level of salinity. Meanwhile, SiO₂-NPs spray at 50 mM salinity caused to preserve chlorophyll index and led to an increase in the number of plant leaves (62.4%), maximum fluorescence (55.4%) and variable fluorescence (more than 3 folded). Also, SiO₂-NPs spray decreased the minimum fluorescence (44%) at 50 mM salinity. Nanosilicon by stimulating growth and increasing in the activity of the antioxidant enzymes resulted in a decreased lipid peroxidation, malondialdehyde amount and, subsequently decreased oxidative stress in plant cells. Spray of nanosilicon under salinity stress, increased the amount of proline but decreased the oxidative damage to the protein. It seems that according to the present results foliar application of SiO₂-NPs especially at 200 mg L⁻¹ under salinity stress can be recommended in garden roses.

Keywords: Rose, Proline, Abiotic stress, Antioxidant preservation, Chlorophyll index

Corresponding author, Email: hajizade@maragheh.ac.ir