گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۲)، ۸(۲): ۲۹۷-۳۱۰

مقاله پژوهشی

تغییرهای بیوشیمیایی در برگ‌های گل‌محمدی (*Rosa × damascena*) در پاسخ به شکل‌های مختلف سیلیکون در شرایط تنش شوری

مصطفی خوشحال سرمست*، مینا خرمی مقدم، سارا خراسانی نژاد، عظیم قاسم نژاد

گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

mkhsarmast@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۷، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۷

چکیده

ارایه راهکارهای موثر در کنترل تنش شوری در گیاهان زینتی با توجه به افزایش تغییرهای غیر قابل پیش‌بینی آب و هوا در نقاط مختلف زمین و افزایش شوری خاک‌ها بسیار مهم می‌باشد. در همین راستا، در این پژوهش اثر شوری (ترکیب کلرید سدیم و کلرید کلسیم در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) به ترتیب ۹/۱، ۱۸/۲ و ۴۵/۵ دسی زیمنس با نسبت یک به یک و سیلیکون (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوسیلیکون (حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم) با اندازه متوسط ذره‌های اولیه ۱۲ نانومتر و مساحت سطح متناظر ۲۰۰ متر مربع بر گرم و برهمکنش آن‌ها بر گل‌محمدی (*Rosa × damascena*) در شرایط کنترل شده گلخانه شیشه‌ای در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. برخی از پاسخ‌های فیزیولوژیک برگ مانند میزان نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، میزان پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مانند کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و آسکوربات پراکسیداز (APX) پس از کاربرد تنش مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که نانوسیلیکون و سیلیکات پتاسیم از نشت یونی ایجاد شده توسط شوری در مقایسه با شاهد پیش‌گیری کردند. از سویی، محتوای نسبی آب برگ در پاسخ به سیلیکون و نانوسیلیکون تا حد زیادی حفظ شد و در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار محلول‌پاشی با سیلیکون ۴۳٪ و نانو سیلیکون منجر به افزایش پرولین در برگ گردید ولی این اثر افزایشی در شرایط تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار بسیار ملموس‌تر بود و نسبت به شاهد ۳ برابر افزایش یافت که خود بیانگر ارتباط نزدیک میان تنش شوری و سیلیکون است. در مجموع به نظر می‌رسد که در گل محمدی مقاومت به تنش شوری توسط سازوکارهای غیر آنزیمی کنترل می‌شود. زیرا کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون تحت شرایط شوری، اثر هم‌افزایی در بالا بردن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، سیلیکون، شوری، نانو سیلیکون .

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

مقدمه

ورد یا گل سرخ در ایران بیشتر به نام انگلیسی آن (یعنی گل رز) معروف است و به تیره رزاسه و جنس *Rosa* تعلق دارد (Gudin, 2000). گزارش‌های زیادی به ۱۰۷ جنس و ۳۱۰۰ گونه از رز اشاره نموده‌اند. در جنس رز بیش از ۲۰۰۰۰ رقم گزارش شده است که در نتیجه دورگ‌گیری و انتخاب گونه‌های جدید حاصل شده اند. در قرن ۱۹ چندین هزار گونه رز نام‌گذاری شد و بسیاری از گونه‌های قدیمی را برای ایجاد گونه‌های جدید با یکدیگر تلاقی داده‌اند. تعداد کل گونه‌های رز، مورد توافق تمام گیاه‌شناسان نیست ولی آنها با حدود ۱۵۰ گونه واقعی از رزها موافق هستند (Kiani *et al.*, 2010). در میان گیاهان گلدار زینتی، گل‌محمدی (*Rosa* × *damascena*) به‌دلیل گل‌های زیبا و عطرآگین بسیار موردتوجه قرار گرفته است (Press, 2018). در دنیای گیاهان، گل‌محمدی به‌عنوان یکی از محبوب‌ترین گل‌ها شناخته می‌شود (Datta, 2021). همچنین گل‌محمدی به طور وسیع در فضای سبز و به عنوان گیاه دارویی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hong *et al.*, 2021). پرورش گل‌محمدی نه‌تنها برای لذت بردن از زیبایی آن می‌باشد بلکه از اسانس‌های گل رز به‌خصوص گل‌محمدی در صنایع ادکلن‌سازی، آرایشی و حتی رایحه‌درمانی استفاده می‌شود (Nađpal *et al.*, 2016). امروزه افزایش تقاضا و تولید گیاهان با کاهش سطح زمین‌های قابل‌کشت به دلیل محدودیت منابع آب و خاک‌های شور افزایش یافته‌است (Savari & Shokati Amghani, 2021). از سوی دیگر بسیاری از محصولات تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی مختلفی قرار دارند که می‌تواند از جمله عوامل اصلی کاهش تولید و موانع اصلی در دستیابی به عملکرد مناسب محصولات مختلف باشد (Kerchev *et al.*, 2020). شوری یکی از تنش‌های غیرزنده غالب است که بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. اثرات شوری به حداقل ۲۰٪ از محصولات زراعی در سراسر جهان آسیب رسانده است. خاک‌های شور که به‌طور کلی حاوی نسبت زیادی از سدیم به کلسیم، سدیم به پتاسیم، پتاسیم به کلسیم و نسبت کلر به نیترات هستند، به دلیل سمیت و عدم تعادل یونی موثر بر اجزای بیوفیزیکی یا متابولیکی گیاه منجر به کاهش رشد گیاه، ایجاد گل‌های زرد و قهوه‌ای می‌شود و بنابراین از ارزش زینتی گیاهان می‌کاهند (Matraszek *et al.*, 2015). همچنین انباشت بیش از حد Na^+ و Cl^- در یاخته‌ها گیاهی می‌تواند با مهار آنزیم‌ها و ایجاد عدم تعادل غذایی بر رشد و نمو گیاهان تأثیر منفی بگذارد (Isayenkov *et al.*, 2019). کاهش محتوای نسبی آب تحت تنش می‌تواند در نتیجه کاهش دسترسی به آب در اثر افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک باشد (Zou *et al.*, 2018). از طرفی در تنش شوری انباشت گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) افزایش می‌یابد که منجر به القای تنش اکسیداتیو می‌شود. گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و تغییر در نفوذپذیری غشا (نشت یونی) و خسارت به یاخته می‌گردند که در نتیجه باعث افزایش نشت یونی به بیرون از یاخته می‌شود (Lv *et al.*, 2019).

امروزه استفاده از نانوذرات به دلیل بالا بودن سطح به حجم مورد توجه بسیاری از محققان کشاورزی نیز قرار گرفته است. سیلیسیم ماده مغذی مفیدی است که روند رشد و نمو گیاه را کنترل می‌کند و تحمل محصول را در برابر تنش‌های غیرزیستی بهبود می‌بخشد (Barakatain *et al.*, 2013). همچنین محلول‌پاشی سیلیسیم دارای اثرات تحریک زیستی می‌باشد (Artyszak, 2018). به نظر می‌رسد سیلیسیم مقاومت غشای یاخته را در برابر اکسیداسیون افزایش داده و به تنظیم‌اسمزی یاخته گیاه کمک

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

می‌کند (Epstein *et al.*2005). فرآیندهای اصلی که تحت تأثیر استفاده از سیلیسیم قرار می‌گیرند شامل فتوسنتز (Sharifi *et al.*, 2016)، فعال‌سازی سیستم‌های دفاع آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز (CAT)[۱]، سوپراکسید دیسموتاز (SOD)[۲] و آسکوربات پراکسیداز (APX)[۳] (Ghaffari *et al.*, 2019) و انباشت اسمولیت‌ها مانند پرولین (Pérez-Llano *et al.*, 2020) است. مشخص شده است که استفاده از سیلیسیم منجر به حفظ نسبت سیتوزولی Na^+/K^+ از طریق ناقل‌ها و کانال‌های Na^+ و Cl^- (Assaha *et al.*, 2017) می‌شود، بدین طریق سطوح ROS یاخته ای توسط جاذب‌های آنزیمی (مانند آنزیم‌های مهارکننده (ROS) تنظیم می‌شوند تا آسیب ROS ناشی از تنش شوری را کاهش دهند (Del Río & López-Huertas, 2016). مشخص شده است که در گیاه *Rosa chinensis* فعالیت دو آنزیم گلوتاتیون‌ردوکتاز و سوپراکسیددیسموتاز با افزایش سطح تنش شوری افزایش می‌یابد تا آسیب ناشی از تنش کاهش یابد (Joseph *et al.*, 2015). شوری آب و خاک از جمله عوامل تنش‌زای محیطی هستند که بـه علـت افـزایش روزافزون در سراسر جهان مورد توجه زیادی قـرار گرفتـه اند. حدود ۲۷ میلیون هکتار از خـاک‌هـای ایـران جـزء خاک‌های شور و سدیمی محسوب می‌شوند. از راهکارهای کاهش اثرهـای زیان‌بار تنش شوری استفاده از روش‌های صحیح مدیریت تنش است که نقش قابل ملاحظه‌ای در افزایش عملکـرد دارند. در همین ارتباط، نقش برخی عناصر نظیر سـیلیکون و نانوسیلیکون مورد توجه برخی متخصصین تغذیـه گیـاهی قـرار گرفتـه است و استفاده از روش‌های تغذیه معدنی به عنوان یک راهبرد برای کاهش اثرات مضر تنش گزارش شده است. بنابراین هدف پژوهش حاضر استفاده از سیلیکون و نانو سیلیکون در تعدیل سطوح مختلف تنش شوری در گل محمدی می‌باشد.

مواد و روش

مواد گیاهی

در این پژوهش قلمه‌های ریشه‌دار شده گل‌محمدی از گلخانه دهکده رز استان خراسان شمالی شهرستان بجنورد تهیه شدند. ارتفاع بوته از سطح خاک ۱۰ سانتی‌متر تخمین زده شد. گیاهان در گلدان‌هایی با قطر دهانه ۱۸ سانتی‌متر کاشته شدند و گلدان‌ها به مدت شش ماه در شرایط کنترل شده نگه داشته شدند.

کاربرد تنش و شرایط نگه‌داری

در آذرماه سال ۱۳۹۹ در گلخانه دانشگاه علوم‌کشاورزی و منابع طبیعی گرگان آزمایشی بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار و عوامل آزمایشی شامل شوری (ترکیب سدیم کلرید و کلسیم کلرید ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار) به ترتیب ۹/۱، ۱۸/۲ و ۴۵/۵ دسی زیمنس با نسب یک به یک و سیلیکون (۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و نانوسیلیکون (حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم) (Khoshpeyk *et al.*2023) و برهمکنش آن‌ها انجام شد. در طول دوره تنش، رطوبت نسبی گلخانه ۴۵٪ و دمای گلخانه ۳۲ درجه سلسیوس ثبت شد. پیش از شروع آزمایش شوری، سیلیکون و نانوسیلیکون به صورت محلول‌پاشی دو بار با فاصله یک هفته از هم استفاده شدند. محلول پاشی به صورتی بود که در هر بار پاشش، تمام برگ‌ها خیس شدند. یک هفته پس از اولین

۱- Catalase
۲- Superoxide dismutase
۳- Ascorbate peroxidase

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

محلول‌پاشی، آب‌های شور با غلظت‌های مختلف نمک برای به‌دست آوردن مقادیر مطلوب EC تهیه شد و هر دو روز ۲۰۰ سی‌سی آب شور به پای گیاهان ریخته شد. همچنین یک تیمار شاهد بدون محلول‌پاشی برگی در نظر گرفته شد سپس پس از دو هفته نمونه‌های برداشت شده از برگ بلافاصله در ازت مایع فریز و سپس به فریزر ۸۰- درجه سلسیوس منتقل و تا زمان انجام اندازه‌گیری در آن نگهداری شدند.

بررسی صفات مورفولوژیک

محتوای نسبی آب برگ (RWC)[۱]

نمونه‌های برگ تازه (حدود ۰/۵ گرم برگ بالغ) به مدت ۲٤ ساعت در آب مقطر در دمای اتاق (حدود ۲۰ درجه سلسیوس) قرار گرفتند تا آب جذب نمایند. پس از پاک کردن آب روی برگ با دستمال، وزن آماس (TW)[۲] آن اندازه‌گیری شد. وزن خشک نمونه‌ها (DW)[۳] پس از قرارگیری نمونه‌ها در آون با دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲٤ ساعت محاسبه شد. در پایان محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Pattanagul, 2011).

رابطه ۱:

$$RWC=\frac{(FW-DW)}{(TW-DW)}\times 100$$

نشت یونی

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در یاخته برگ، ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر در لوله آزمایش ریخته شدند و به مدت ۲٤ ساعت روی شیکر گذاشته شده و هدایت الکتریکی محلول (EC_1) با استفاده از دستگاه EC سنج دیجیتالی قرائت شد، سپس نمونه‌ها در دستگاه اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد و هدایت الکتریکی محلول (EC_2) بافت‌های از بین رفته پس از خنک شدن در دمای اتاق به کمک دستگاه EC سنج دیجیتالی محاسبه شد (Lutts *et al.*1995). نشت یونی مطابق رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه ۲:

$$Electrolyteleakage=\frac{EC1}{EC2}*100$$

بررسی صفات فیزیولوژیک

میزان پرولین

مقدار نیم‌گرم از برگ گل محمدی تحت تیمارهای مختلف به مدت ٤۸ ساعت در ۱۰ میلی‌لیتر محلول آبی سولفوسالیسیلیک‌اسید ۳٪ قرار داده شد. محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد. ۲ میلی‌لیتر از این محلول با ۲ میلی‌لیتر معرف نین‌هیدرین مخلوط کرده و به هر لوله آزمایش ۲ میلی‌لیتر اسید استیک اضافه گردید. پس از این مرحله، نمونه‌ها در حمام بن ماری ۱۰۰درجه قرار داده شدند و پس از خروج از حمام روی یخ به‌مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند، سپس به هر لوله مقدار ٤ میلی‌لیتر تولوئن افزوده و به

۱- Relative Water Content ۲- Turgor weight ۳- Dry weight

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

مدت ۲۰ ثانیه هم‌زده شد تا کاملا یکنواخت شوند. فاز رویی جدا گردید و در دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر برای تعیین مقدار پرولین قرار داده شد (Bates *et al.*, 1973).

تهیه عصاره آنزیمی

برای این منظور ۰/۲ گرم برگ تازه توسط نیتروژن مایع در هاون ساییده شد و یک میلی‌لیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸) که حاوی EDTA ۰/۲ مولار و پلی‌وینیل پلی‌پیرولیدون (PVPP[1]) یک درصد بود، به آن اضافه شد و در ۵۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ٤ درجه سلسیوس سانتریفیوژ انجام شد. محلول شفاف رویی حاصل از سانتریفیوژ برداشته شد و برای اندازه‌گیری آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شامل کاتالاز (CAT)، پراکسیداز (POX) و آسکوربات‌پراکسیداز (APX) مورد استفاده قرار گرفت (Chen *et al.*, 2018).

کاتالاز (CAT)

یک میلی‌لیتر محلول واکنش کاتالاز حاوی ۵۰ میلی مولار بافر فسفات (pH=۷) و ۱۵ میلی‌مولار پراکسیدهیدروژن به سرعت با ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط شد. واکنش با شروع افزودن عصاره آنزیمی شروع و یک دقیقه جذب آن در طول موج ۲٤۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Chu *et al.*, 2016).

پراکسیداز (POX)

برای اندازه‌گیری میزان فعالیت این آنزیم ۳۳ میکرولیتر عصاره استخراج شده با یک میلی‌لیتر محلول از پراکسیداز که شامل، گوایکول ۲۸میلی‌مولار، H_2O_2 ۵ میلی‌مولار و بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) ترکیب شد و به مدت یک دقیقه با فاصله‌های۱۰ ثانیه‌ای در طول‌موج ٤۷۰ نانومتر میزان جذب آنزیمی قرائت شد (Chu *et al.*, 2016).

آسکوربات‌پراکسیداز (APX)

به‌منظور اندازه‌گیری آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز، ۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج با یک میلی‌لیتر محلول اندازه‌گیری آسکوربات‌پراکسیداز که شامل بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) با ۰/۵ میلی‌مولار آسکوربیک‌اسید، ۰/۱ میلی‌مولار EDTA و ۰/۱۵ میلی‌مولار H_2O_2 ترکیب شد و میزان جذب آن با گذشت یک دقیقه در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Nakano and Asada, 1981).

واکاوی آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی با دستکم ۳ تکرار در گلخانه اجرا و داده‌های حاصل با نرم‌افزار SAS واکاوی و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ٪۵ صورت گرفت.

۱- Polyvinylpolypyrrolidone

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

نتایج و بحث

نتایج اولیه به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس به روشنی بیانگر اثر معنی دار تنش شوری، سیلیکون و برهمکنش سیلیکون و شوری در بسیاری از صفات مورد بررسی بود.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر تیمار تنش شوری، سیلیکون و نانوسیلیکون و برهمکنش آنها بر برخی از خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی *Rosa × damascena*

Table 1. The analysis of variance related to the effects of salinity, silicon, and nanosilicon, and their interactions on some physiological and biochemical characteristics of *Rosa × damascena*.

میانگین مربعات VOS	درجه آزادی DF	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	آسکوربات‌پراکسیداز Ascorbate peroxidase	پرولین برگ Leaf proline	محتوای‌نسبی‌آب Water relative content	نشت یونی Ion leakage
تنش شوری (salinity stress)	۲	۰/۰۰۰۹۸**	۰/۰۰۰۲۳**	۶۳۸/۲۵**	۳۱/۴۲**	۹۷/۷۰*	۴۵/۷۶**
سیلیکون (silicon)	۱	۰/۰۰۰۲۱**	۰/۰۰۰۲۷*	۵۶۷/۲۷**	۵/۶۳**	۲۰/۹۱**	۹۶۲/۲۲*
نانوسیلیکون (nanosilicon)	۱	۰/۰۰۰۲۹*	۰/۰۰۰۲۰۰**	۳۱۷/۳۱**	۴۱/۹۶**	۳۷۶۲/۲۲^{ns}	۲۳/۶۱**
شوری×سیلیکون (salinity×silicon)	۲	۰/۰۰۰۳۱**	۰/۰۰۳۰**	۸۹۷/۱۷**	۶/۹۰**	۹/۳۷**	۸۳/۵۵^{ns}
شوری × نانوسیلیکون (salinity×nanosilicon)	۲	۰/۰۰۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۷**	۶۱۵/۵۴*	۷/۰۴**	۱۱/۰۱^{ns}	۷۲/۷۶*
خطا Error	۳۲	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۰۰۵۱	۰/۴۶	۰۱/۸۸	۱۱/۸۸
ضریب تغییرات (CV)		۰/۰۸	۲/۰۰	۹/۷۷	۰/۹۸	۳/۱۹	۵/۱۹۰۱

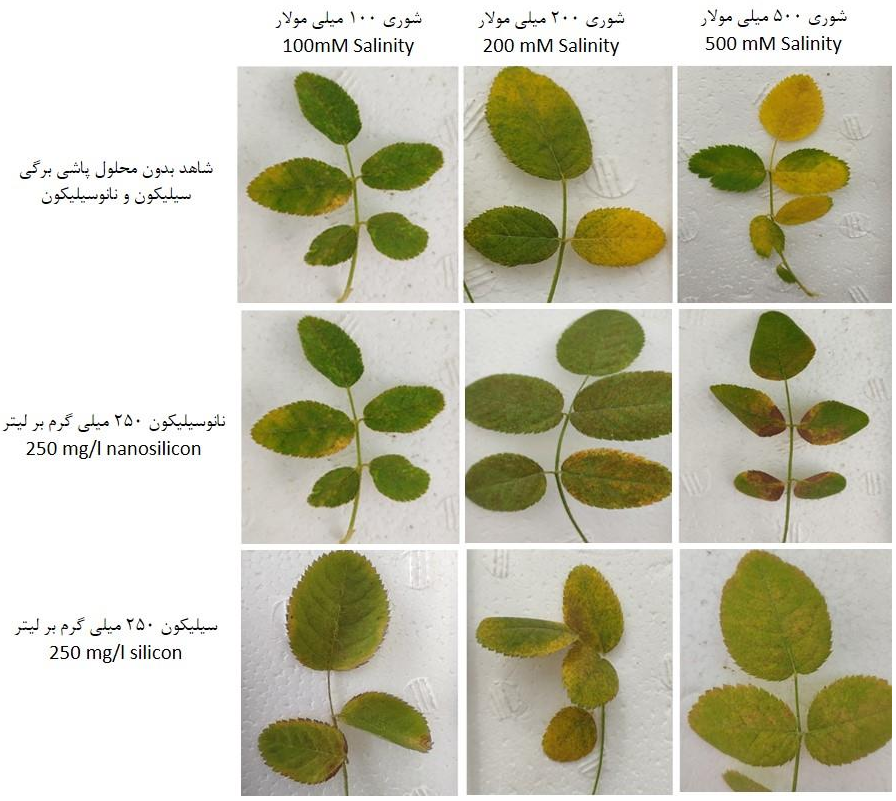
**بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪، * بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، و^{ns} بیان کننده نبود اختلاف معنی‌دار است.

**, *, ^{ns} indicates a significant difference at the 1% and 5% and no significant difference.

شکل ۱ تفاوت ظاهری در برگچه‌های گل محمدی را که تحت تیمارهای مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین تیمارهای تنش شوری و نانوسیلیکون در سطح احتمال ۱٪ و برهمکنش شوری در نانوسیلیکون در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری وجود داشت، ولی بین اثرات متقابل شوری در سیلیکون اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۱). غشای یاخته از نخستین اندام‌هایی است که تحت شرایط تنش، آسیب می‌بیند و تراوایی آن افزایش یافته و نشت الکترولیتی از یاخته باعث مرگ آن می‌گردد. پایداری غشای یاخته به‌عنوان معیاری از تحمل به تنش در نظر گرفته می‌شود و طبق نتایج مقایسه میانگین میزان نشت یونی بدون توجه به تیمار سیلیکون و نانوسیلیکون با افزایش میزان شوری خاک در برگ‌ها افزایش می‌یابد (شکل ۲). نتایج بیانگر این است که سیلیکون و نانوسیلیکون میزان نشت یونی برگ در گیاهانی که تحت تیمار شوری هستند را کاهش و به سطح شاهد می‌رساند (شکل ۲). این اثر در تیمار تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار و

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

محلول پاشی نانوسیلیکون مشهود است (شکل ۲). این نتایج به نقش نانوسیلیکون در کاهش نشت یونی طی تنش و حفظ و پایداری غشاء اشاره دارد. در این تحقیق میزان نشت یونی برگ در پاسخ به شوری افزایش و محتوای نسبی آب برگ به شدت در تنش‌های شوری بالا کاهش نشان داد.



شکل ۱- گل‌محمدی محلول‌پاشی شده با سیلیکون و نانوسیلیکون در شرایط تیمار تنش شوری.

Figure 1. Foliar application of *Rosa* × *damascena* plants with silicon and nanosilicon subjected to salinity treatment.

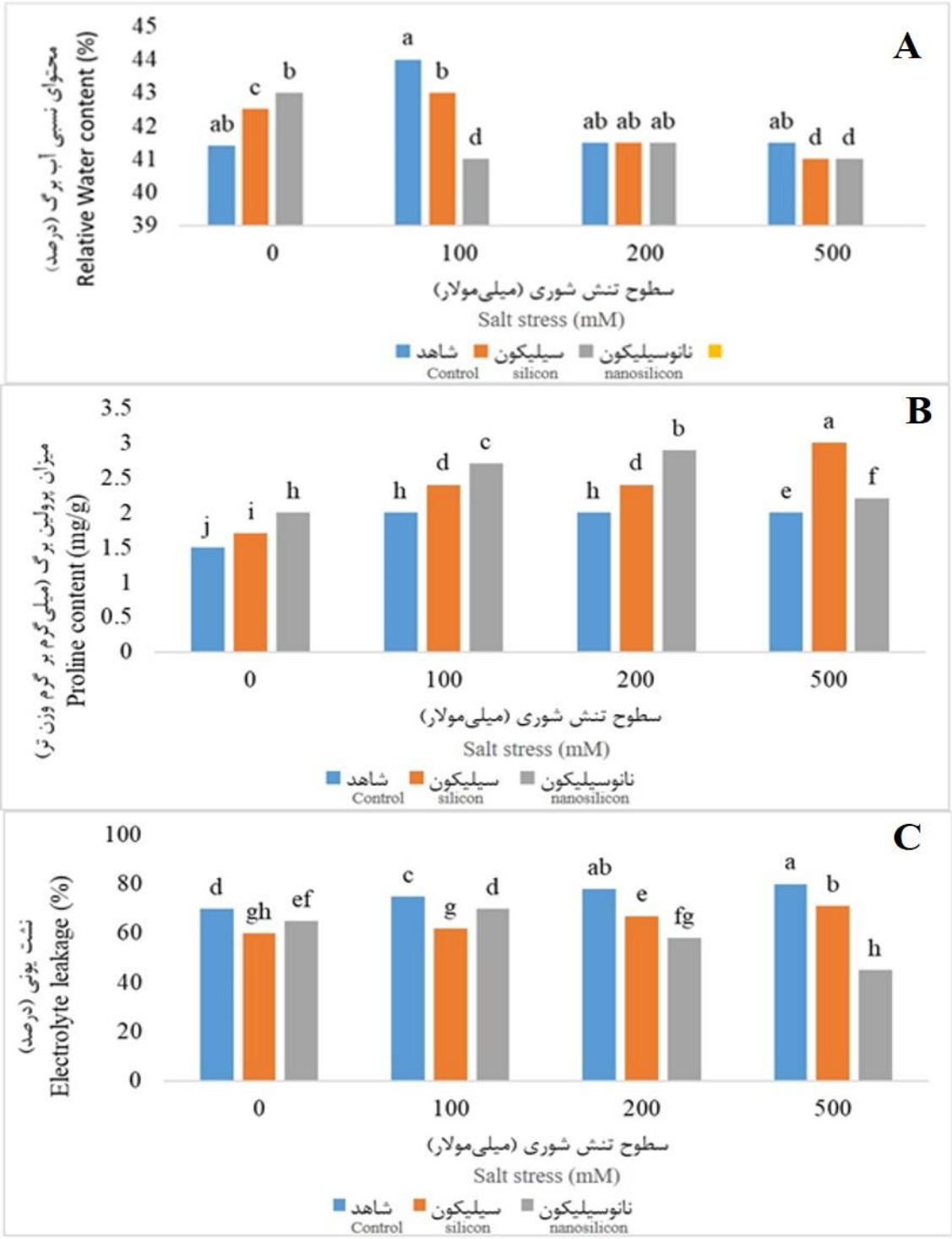
نتایج نشان داد که میزان محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب در تیمارهای سیلیکون، برهمکنش شوری در سیلیکون و تیمار شوری به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵٪ قرار گرفت (جدول ۱) و برهمکنش شوری در نانوسیلیکون اثر معنی‌داری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت. با افزایش تدریجی تنش شوری به تدریج و به شکل معنی‌داری محتوای آب برگ کاهش یافت (شکل ۲A). سیلیکون و نانوسیلیکون ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط بدون تنش تا حدودی بر محتوای آب یاخته‌ای برگ افزوده‌اند. این درحالی است که در شدت‌های بالای تنش شوری (۵۰۰ میلی‌مولار) محتوای نسبی آب برگ حتی در پاسخ به سیلیکون و نانوسیلیکون تا حدی افزایش یافت (شکل ۲C). کاهش محتوای نسبی آب برگ به دلیل عدم توانایی ریشه این گیاه برای مقابله با فشار اسمزی به‌وجود آمده در محلول خاک در اثر شوری می‌باشد. اثر شوری در توقف رشد، طویل شدن گیاه، کاهش تقسیم

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

یاخته ای و مرگ گیاه، پیشتر گزارش شده است (Munns, 2002). کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاهان تحت تنش، ممکن است با کاهش تورژسانس برگ گیاه همراه باشد و در بسیاری از گونه‌های گیاهی نیز این پاسخ مشاهده شده است. کاهش محتوای نسبی‌آب برگ در اثر تنش خشکی در ریحان، کدو و پنبه نیز گزارش شده است (El-Esawi *et al*., 2019). اثر تخریب‌کنندگی شوری در رشد گل رز چینی و رز هیبرید نیز پیشتر گزارش شده است (Oki and Lieth, 2004، Li *et al*., 2019). این اثر تخریب کنندگی در گل رز چینی در غلظت‌های کمتر از ۵۰ میلی مولار نیز خود را نشان می‌دهد (Reis *et al*. 2016). نتایج بررسی‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که استفاده از ترکیبات دارای سیلیکون به کمک اتصال به سدیم، انتقال سدیم به اندام های هوایی را محدود می‌سازد (Liang *et al*. 2007). گفته شده است که افزایش پتاسیم و کاهش سدیم جذب شده به محض کاربرد سیلیکون یکی از سازوکارهای اصلی در تعدیل تنش شوری است (Al-Aghabary *et al*., 2005). نتایج حاصل از این پژوهش در خصوص افزایش محتوای نسبی آب برگ با کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون با نتایج Almutairi (2016) که همین اثر را بر روی گوجه‌فرنگی مشاهده نمودند، همسویی نشان داد.

پرولین اسید آمینه منحصر به فردی است که درون کلروپلاست تولید می‌شود و در سیتوسول تجمع می‌یابد و اغلب به عنوان یک شاخص مقاومت به تنش خشکی در نظر گرفته می‌شود. طبق نتایج به نظر می‌رسد که در شرایط غیرشور، سیلیکون و نانوسیلیکون تا حد کمی بر میزان پرولین برگ افزوده‌اند، اما زمانی که گیاه با تنش شوری ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار مواجه شد، بر شدت میزان پرولین تولیدی افزوده شد و یک اثر هم‌افزایی میان شوری و سیلیکون و نانوسیلیکون در تولید پرولین مشاهده گردید (شکل ۲B). به هر حال در تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار به شکل جالبی میزان پرولین تولیدی در پاسخ به نانوسیلیکون نسبت به سیلیکون کاهشی شد. افزایش میزان پرولین برگ در پاسخ به نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری (۱۰۰ و ۲۰۰ میلی مولار در آزمایش حاضر) با گزارش های پیشین همسو بود (Kalteh, 2014). افزایش بیشتر میزان پرولین برگ در پاسخ به نانوسیلیکون به احتمال مربوط به بالا بودن سطح به حجم ذرات نانو و افزایش قدرت واکنش‌پذیری آن در مقایسه با سیلیکات‌پتاسیم است (Jiang *et al*. 2004). انباشت پرولین در شرایط تنش ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر در سنتز پرولین از قبیل اورنیتین‌آمینوترانسفراز (Ornithine aminotransferase) و پرولین ردوکتاز و جلوگیری از فعالیت آنزیم پرولین کاتابولاز (Catabolism) باشد (Manaa *et al*. 2014). انباشت پرولین باعث می‌شود گیاه طی دوره کوتاهی بعد از تنش، زنده مانده و پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابد، بنابراین این موضوع اثر مثبتی بر عملکرد خواهد داشت و سیلیکون با تنظیم افزایش بیان ژن‌های مرتبط با پروتئین‌های بازدارنده پرولین، سبب افزایش میزان این اسید آمینه در گیاهان می‌شود (Ramajulu, 2001). اگرچه نتایج اصلی ما بیانگر این بود که بدون توجه به تنش شوری، سیلیکون منجر به افزایش پرولین در برگ می‌گردد، ولی این اثر افزایش در شرایط تنش شوری بسیار ملموس‌تر بود که خود بیانگر اثر سیلیکون در افزایش پرولین تحت تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار و تحمل در برابر تنش است.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]



شکل ۲- تغییرهای میزان نشت یونی (C)، محتوای نسبی آب برگ (A) و میزان پرولین برگ (B) در گیاهان تحت تیمار شوری، سیلیکون و نانوسیلیکون. حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

Figure 4. Changes in ion leakage rate, relative water content and leaf proline content in plants treated with salinity, silicon and nanosilicon. In each column, mean with the same letters are not significantly different with Duncan's test (at 5% probability level) .

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

طبق جدول تجزیه واریانس میزان آنزیم آسکوربات‌پراکسیداز در تیمار برهمکنش تنش شوری × سیلیکون، آنزیم کاتالاز در تیمار برهمکنش شوری × سیلیکون و آنزیم پراکسیداز در تیمار برهمکنش شوری × سیلیکون و شوری × نانوسیلیکون در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری نشان دادند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در پاسخ به تنش شوری در گیاهان بود (جدول ۲). به طور جالبی در گیاهانی که فقط با سیلیکون و نانوسیلیکون تیمار شده‌بودند یک افزایش جزءی در فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شد. نتایج بیانگر این است که افزایش فعالیت آنزیمی در تنش شوری ۱۰۰ میلی‌مولار تنها در مقایسه با همین مقدار شوری به‌علاوه محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون افزایش نشان می‌دهد. این مشاهده در خصوص سطوح دیگر شوری نیز صادق است. این نتیجه نقش هم‌افزایی سیلیکون و نانوسیلیکون با تنش شوری بر روی فعالیت آنزیمی را نشان می‌دهد. در تنش ۵۰۰ میلی‌مولار میزان نشت یونی افزایش یافت که طبق بررسی‌های Beltrano و همکاران (2008) دلیل این افزایش مربوط به رونویسی از ژن‌های دخیل در بیوسنتز آنزیم‌های مرتبط با پراکسیداسیون لیپید و نیز تولید انواع اکسیژن فعال است که در نتیجه آن پایداری غشا کاهش یافته و باعث افزایش نشت یونی می‌شود. کاهش خسارت غشاء در اثر کاربرد نانوسیلیکون که به‌عنوان راه اصلی برای افزایش مقاومت به تنش شوری در گیاه شناخته شده است، بر اساس پژوهش Saleem و همکاران (۲۰۰۲) ممکن است با تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدان در ارتباط باشد که می‌تواند منجر به افزایش پایداری غشاء در برابر تنش‌های اکسیداتیو گردد.

گیاهان سازوکارهای آنزیمی و غیرآنزیمی زیادی برای مقابله با تنش دارند. سازوکار آنزیمی شامل افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز است که منجر به ایجاد تعادل در گونه‌های اکسیژن آزاد می‌گردد (Liu *et al*. 2022). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی همچون گلوتاتیون، آسکوربیک‌اسید، آلفا توکوفرول، زانتین و غیره در تعدیل تنش اسمزی نیز موثر هستند (Salin, 1991). گزارش شده است که در شرایط تنش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با کاربرد ترکیبات سیلیکونی کاهش می‌یابد (Asgari & Diyanat, 2020) که در تضاد آشکار با نتایج ماست. این پژوهشگران تنها دو آنزیم سوپراکسیددیسموتاز و گلوتاتیون ردوکتاز را در شرایط تنش شوری و محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون در گل رز چینی مورد مطالعه قرار داده‌اند. از طرفی گل رز چینی نسبت به گل محمدی به شوری حساس‌تر است همچنین آنها آنزیم‌هایی که در مطالعه ما بررسی شد را ارزیابی نکرده‌اند. ولی افزایش فعالیت آنزیم‌های مشاهده شده در این تحقیق تا حدی می‌تواند به سطوح تنش شوری، غلظت سیلیکون و نانوسیلیکون به کار رفته و به خصوص نوع گیاه مربوط باشد. در بررسی دیگر، کاربرد نانوسیلیکون بر تحمل به شوری گندم نشان داد که نانوسیلیکون در شرایط تنش شوری میزان فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز را افزایش می‌دهد که هم راستا با نتایج حاضر در گل محمدی است (Hajihashemi & Kazemi 2022). متاسفانه داده‌های کافی در خصوص فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری و در پاسخ به نانوسیلیکون در دسترس نیست. پژوهش‌های مختلف نشان داده است که یک ارتباط قوی بین تحمل تنش‌های محیطی و افزایش در غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان وجود دارد (Altaf *et al*., 2022). برای خنثی نمودن اثرات سمی و مخرب ROS، سیستم دفاعی آنزیمی شامل آنزیم‌هایی سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) فعال می‌شوند (Zamani *et al*., 2020). در تنش شوری ۵۰۰ میلی‌مولار غلظت

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش زیاد شد و از این رو، باعث افزایش مقاومت به تنش‌های اکسیداتیو گردید که با نتایج پژوهش‌های Zhou و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت نشان داد ولی با کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون میزان فعالیت آنزیم‌های بررسی شده بیشتر شد.

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمار تنش شوری، تیمارسیلیکون و نانوسیلیکون بر خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی *Rosa* × *damascena*.

Table 2- Mean comparison othe f physiological and biochemical properties of *Rosa* × *damascena* plants subjected to salinity, silicon and nanosilicon.

آسکوربات پراکسیداز Ascorbate peroxidase (µm. Fw^{-1})	پراکسیداز Peroxidase (µm. Fw^{-1})	کاتالاز Catalase (µm. Fw^{-1})	تیمار Treatment
۱/۲۳±۰/۰۲f	۰/۰۱±۰/۰٤d	۰/۰۱±۰/۰۲c	شاهد Control
۱/۷٤±۰/۰۱bc	۰/۰۲±۰/۰۰۲٦٤d	۰/۰۳±۰/۰۱c	سلیکون ۲۵۰ Silicon 250
۱/۸۱±۰/۰۳ab	۰/۰۲٤۱±۰/۰۰۱۱۳d	۰/۰٤±۰/۰۲c	نانوسیلیکون ۲۵۰ Nanosilicon 250
۱/۲۷±۰/۰۲f	۰/۰۳±۰/۰۲d	۰/۰٥٤±۰/۰۱c	شوری ۱۰۰ Salinity 100
۱/٤٦±۰/۰۲e	۰/۰٥±۰/۰۱d	۰/۰٦±۰/۰۲c	شوری ۲۰۰ Salinity 200
۱/٥۲±۰/۰۲e	۰/۰۹±۰/۰۰۱٤٥ab	۰/۰۷±۰/۰۱c	شوری ٥۰۰ Salinity 500
۱/۸۲±۰/۰۲a	۰/۰٦±۰/۰۸d	۰/۰۷±۰/۰۲c	شوری ۱۰۰× سیلیکون۲۵۰ Salinity 100 × silicon 250
۱/٥۳±۰/۰۲e	۰/۰۸±۰/۰۳bc	۰/۰۸±۰/۰۱c	شوری ۲۰۰ × سیلیکون۲۵۰ Salinity 200 × silicon 250
۱/۷۲±۰/۰۳d	۰/۰۹٤±۰/۰۱ad	۰/۰۸±۰/۰۲c	شوری ٥۰۰ × سیلیکون۲۵۰ Salinity 500 × silicon 250
۱/٦٦±۰/۰۱d	۱/۰۲±۰/۰۳b	۱/۲۰±۰/۱۱a	شوری۱۰۰ × نانوسیلیکون۲۵۰ Salinity 100 × nanosilicon 250
۱/٥۱±۰/۰۲e	۰/۸۷±۰/۰۲c	۰/٤۳±۰/۳۳b	شوری۲۰۰× نانوسیلیکون۲۵۰ Salinity 200 × nanosilicon 250
۱/۸۱±۰/۰۱ab	۱/٤۰±۰/۰۱a	۰/۰۹±۰/۰۱c	شوری۵۰۰ × نانوسیلیکون۲۵۰ Salinity 500 × nanosilicon 250

حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

In each column, mean with the same letters are not significantly different with Duncan's test (at 5% probability level).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

در مجموع به نظر می‌رسد که کاهش تنش شوری توسط سازوکارهای غیرآنزیمی در گل محمدی کنترل می‌شود. زیرا کاربرد شوری و سیلیکون و نانوسیلیکون اثر هم‌افزایی در بالا بردن میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ۱/۱۹٪ در تنش شوری ۱۰۰ و نانوسیلیکون ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد داشت. حتی در شرایط عاری از تنش، محلول پاشی سیلیکون و نانو سیلیکون بر فعالیت آنزیمی داخل یاخته برگ افزود. در مجموع به نظر می‌رسد اثر تعدیلی‌کنندگی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش شوری به اندازه تنش خشکی نیست و در تنش شوری سیستم دفاعی گیاه برای مقابله با شوری تا حد زیادی بر روش‌های غیرآنزیمی استوار است که نیاز به بررسی‌های بیشتر و گسترده‌تری دارد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده در رابطه با برهمکنش شوری، سیلیکون و نانوسیلیکون بر صفات مورد اندازه‌گیری می‌توان نتیجه گرفت که سیلیکون و نانوسیلیکون در شرایط عدم شوری، تاثیری بر افزایش کیفیت و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیک گل‌محمدی نداشت ولی در حضور غلظت‌های بالای نمک کاربرد سیلیکون توانست با جلوگیری از انباشت سدیم در برگ‌ها خسارت‌های وارد شده به غشای یاخته‌ای، رشد و کیفیت گل‌محمدی را افزایش دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی برای تامین منابع مالی این طرح (طرح شماره ۸۱-۴۵۶-۰۰) قدردانی می‌کنند.

منابع

Khoshpeyk, S., Sadrabadi Haghighi, R., Ahmadian, A. (2023). The effect of irrigation water quality and application of silicon, nano silicon, and super absorbent polymer on some physiological responses of leaves and saffron yield. *Silicon*, *15*(6), 2953-2961.

Al-Aghabary, K., Zhu, Z., Shi, Q.H. (2005). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *27*(12), 2101-15.

Almutairi, Z.M. (2016). Effect of nano-silicon application on the expression of salt tolerance genes in germinating tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings under salt stress. *Plant Osmotic Journal*, *9*, 106–14.

Altaf, M. A., Shahid, R., Ren, M. X., Naz, S., Altaf, M. M., Khan, L. U., Ahmad, P. (2022). Melatonin improves drought stress tolerance of tomato by modulating plant growth, root architecture, photosynthesis, and antioxidant defense system. *Antioxidants*, *11*(2), 309.

Artyszak, A. (2018). Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. *Plants*, *7*(3), 54.

Asgari, F., Diyanat, M. (2020). Effects of silicon on some morphological and physiological traits of rose (*Rosa chinensis* var. minima) plants grown under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, DOI: 10.1080/01904167. 2020.1845367.

Assaha, D.V., Ueda, A., Saneoka, H., Al-Yahyai, R., Yaish, M.W. (2017). The role of Na+ and K+ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. *Frontiers in Physiology*, *8*, 509.

Barakatain, L., Nikbakht, A., Etemadi, N., Khajeh Ali, J. (2013). Effect of source and method of silica application on some of the quantitative and physiological characteristics of *Gerbera jamesonii* L. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*. *4*(1).

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*(1), 205-207.

Beltrano, J., Ronco, M.G. (2008). Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus Glomus claroideum: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *20*, 29-37.

Chen, Z., Wang, Z., Yang, Y., Li, M. and Xu, B. (2018). Abscisic acid and brassinolide combined application synergistically enhances drought tolerance and photosynthesis of tall fescue under water stress. *Scientia Horticulturae*, *228*, 1-9.

Chu, X.T., Fu, J.J., Sun, Y.F., Xu, Y.M., Miao, Y.J., Xu, Y.F. and Hu, T.M. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on cold stress-induced oxidative damage in leaves of *Elymus nutans* Griseb. *South African Journal of Botany*, *104*, 21-29.

Datta, S.K. (2021). Breeding of ornamentals: success and technological status. *The Nucleus*, *65*, 1-22.

Del Río, L.A., López-Huertas, E. (2016). ROS generation in peroxisomes and its role in cell signaling. *Plant and Cell Physiology*, *57*(7), 1364-1376.

El-Esawi, M.A., Alayafi, A.A. (2019). Overexpression of StDREB2 transcription factor enhances drought stress tolerance in cotton (*Gossypium barbadense* L.). *Genes*, *10*(2), 142.

Epstein, E., Bloom, A. (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sinauer Associates. Inc. Sunderland, Mass.

Ghaffari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M., Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, *41*(2), 1-13.

Gudin, S. (2000) Rose genetics and breeding. *Plant Breeding Review*, *17*, 159–189. https://doi.org/10.1002/9780470650134.ch3.

Hajihashemi, A., Kazemi, S. (2022) .The potential of foliar application of nanochitosan-encapsulated nano-silicon donor in amelioration the adverse efect of salinity in the wheat plant. *BMC Plant Biology*, *22*, 148.

Hong, L.T.M., Trinh, T.C., Bui, V.T., Tran, H.T. (2021). Roles of plant growth regulators on flowering of rose (*Rosa hybrida* L.'Red Rose'), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p. 012039.

Isayenkov, S.V., Maathuis, F.J. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*. *10*, 80.

Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z., Li, J. (2004). Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. *Food Chemistry*, *88*(3), 443-446.

Joseph, E., Mohanan, K., Radhakrishnan, V. (2015). Effect of salinity variation on the quantity of antioxidant enzymes in some rice cultivars of North Kerala, India .*Universe Journal of Agricultural Research*, *3*, 89-105.

Kalteh, M., Alipour, Z.T., Ashraf, S., Aliabadi, M.M., Nosratabadi, A.F. (2014). Effect of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. *Journal of Chemical Health Risks*. *4*, 49–55.

Kerchev, P., van der Meer, T., Sujeeth, N., Verlee, A., Stevens, C.V., Van Breusegem, F., Gechev, T. (2020). Molecular priming as an approach to induce tolerance against abiotic and oxidative stresses in crop plants. *Biotechnology Advances*, *40*, 107503. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107503.

Kiani, M., Zamani, Z., Khalighi, A., Fatahi, R., Byrne, D.H. (2010). Microsatellite analysis of Iranian Damask rose (*Rosa damascena* Mill.) germplasm. *Plant Breeding 129*(5), 551–557. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2009.01708.

Li, X., Wan, S., Kang, Y., Chen, X., & Chu, L. (2016). Chinese rose (*Rosa chinensis*) growth and ion accumulation under irrigation with waters of different salt contents. *Agricultural Water Management*, *163*, 180-189.

Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental Pollution*, *147*(2), 422-428.

Liu, D., Dong, S., Miao, H., Liu, X., Li, C., Han, J., Gu, X. (2022). A Large-Scale Genomic Association Analysis

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

Identifies the Candidate Genes Regulating Salt Tolerance in Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(15), 8260.

Lutts, S., Kinet, J. M. and Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, *132*(46), 1843-1852.

Lv, X., Chen, S., Wang, Y., 2019. Advances in understanding the physiological and molecular responses of sugar beet to salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 1431

Manaa, A., Mimouni, H., Terras, A., Chebil, F., Wasti, S., Gharbi, E., Ben Ahmed, H. (2014). Superoxide dismutase isozyme activity and antioxidant responses of hydroponically cultured *Lepidium sativum* L. to NaCl stress. *Journal of Plant Interactions*, *9*(1), 440-449.

Matraszek, R., Hawrylak-Nowak, B., Chwil, M. (2015). Protein hydrolysate as a component of salinized soil in the cultivation of *Ageratum houstonianum* Mill. (Asteraceae). *Acta Agrobotanica*, *68*(3). https://doi.org/10.5586/aa.2015.028.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, *25*(2), 23-9.250.

Nađpal, J.D., Lesjak, M.M., Šibul, F.S., Anačkov, G.T., Četojević-Simin, D.D., Mimica-Dukić, N.M., Beara, I.N., (2016). Comparative study of biological activities and phytochemical composition of two rose hips and their preserves: *Rosa canina* L. and *Rosa arvensis* Huds. *Food Chemistry*, *192*, 907-914.

Nakano, Y., Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867-880.

Oki, L.R., Lieth, J.H. (2004). Effect of changes in substrate salinity on the elongation of *Rosa hybrida* L.'Kardinal'stems. *Scientia Horticulturae*, *101*(1-2), 103-119.

Pattanagul, W. (2011). Exogenous Abscisic Acid Enhances Sugar Accumulation in Rice. *Asian Journal of Plant Science*, *10*(3), 212-219.

Press, B. (2018). Mabberley's plant-book: A portable dictionary of plants, their classification and uses. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, *12*(2), 578-578.

Ramajulu, S. (2001). Alliviation of NaCl salinity stress by calcium is partly related to the increased proline accumulation in mulberry (*Morus alba* L.) callus. *Journal of Plant Biology*, *28*, 203-206.

Reis, M., Figueiredo, J.R.M., Paiva, R., da Silva, D.P., de Faria, C.V.N., Rouhana, L. (2016). Salinity in rose production. *Ornamental Horticulture*, *22*(2), 228-234.

Saleem, M. H., Kamran, M., Zhou, Y., Parveen, A., Rehman, M., Ahmar, S., Liu, L. (2020). Appraising growth, oxidative stress and copper phytoextraction potential of flax (*Linum usitatissimum* L.) grown in soil differentially spiked with copper. *Journal of Environmental Management*, *257*, 109994.

Salin, F., Squier, J., Piche, M. (1991). Mode locking of Ti: Al_2O_3 lasers and self-focusing: a Gaussian approximation. *Optics Letters*, *16*(21), 1674-1676.

Savari, M., Shokati Amghani, M. (2021). Factors influencing farmers' adaptation strategies in confronting the drought in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *23*(4), 4949-4972

Sharif, H., Namva A.,2016. Phytoprotectants and abiotic stresses. Urmia University Publication. 341p.[In Persian].

Zamani, Z., Amiri, H., & Ismaili, A. (2020). Improving drought stress tolerance in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) by exogenous melatonin. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *154*(5), 643-655.

Zhou, Y. B., Liu, C., Tang, D. Y., Yan, L., Wang, D., Yang, Y. Z., Liu, X. M. (2018). The receptor-like cytoplasmic kinase STRK1 phosphorylates and activates CatC, thereby regulating H_2O_2 homeostasis and improving salt tolerance in rice. *The Plant Cell*, *30*(5), 1100-1118.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]

Flower and Ornamental Plants (2024), 8(2): 297-310
Research article

Biochemical changes in the leaves of *Rosa damascena* in response to different forms of silicon under salinity stress conditions

Mostafa K. Sarmast*, Mina Khorami Moghadam, Sara Khorasaninejad, Azim Ghasemnejad

Department of Horticultural Science and Green Space, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan

✉ khoshhal.sarmast@gmail.com; mkhsarmast@gau.ac.ir

✉ Recived: 25/6/2023, Revised: 29/8/2023, Accepted: 29/8/2023

Abstract

It is very important to provide effective solutions to control the salinity stress in ornamental plants due to the increase of unpredictable climate changes and salin soil in different parts of the earth. Therefore, the effects of salinity (combination of sodium chloride and calcium chloride 100, 200, and 500 mM) and silicon (250 mg L^{-1} nanosilicon and 250 mg L^{-1} potassium silicate) were investigated on *Rosa damacena* plants under controlled glass greenhouse condition as a completely randomized design. Some leaf physiological responses (ion leakage, relative water content), proline level and activity of antioxidant enzymes such as catalase (CAT), peroxidase (POX) and ascorbate peroxidase (APX) were evaluated. The results showed that nanosilicon and potassium silicate prevented ion leakage caused by salinity compared to the control. Additionally, the relative water content was maintained to a large extent in response to silicon and nanosilicon. Silicon and nanosilicon also increased the proline content in the leaf, but this effect was more significant under salinity stress conditions, indicating a close relationship between salinity stress and silicon. In general, the resistance to salinity stress in *Rosa* × *damascena* appeared to be controlled by non-enzymatic mechanisms, as the application of silicon and nanosilicon under saline conditions had a synergistic effect in increasing the activity of the antioxidant enzymes catalase, peroxidase, and ascorbate peroxidase.

Keywords: Antioxidant enzymes, salt, silicon, nano silicon.

[DOI: 10.61186/flowerjournal.8.2.297]