Archive of SID

مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2021.343340.2810

جلد ۳۷، شماره ۱، صفحه ۱۱۲-۹۸ (۱۴۰۰) | شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0905.1400.37.98.105.1.1575.1610

اثر سیلیکون و نانوسیلیکون بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری

الهام دانائی[1*] و وحید عبدوسی[2]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران، پست الکترونیک: dr.edanaee@yahoo.com

۲- استادیار، گروه علوم باغی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۹ | تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۳۹۹ | تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۹

چکیده

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی و محدودکننده رشد و تولید گیاهان می‌باشد. از طرفی، سیلیسیوم (Si) دومین عنصر فراوان در خاک است و موجب کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان می‌گردد. بدین منظور، در این تحقیق، اثر سیلیکون و نانوسیلیکون (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) تحت تنش شوری در سطوح مختلف کلریدسدیم (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملا تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۸بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش شوری به‌طور معنی‌داری موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه و محتوای کلروفیل، فنل‌کل و پروتئین شد. فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز و درصد اسانس در سطوح مختلف شوری متفاوت بود. میزان پرولین نیز در اثر تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تیمار گیاهان با سطوح مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش اثرات منفی تنش شوری در شاخص‌های مورد ارزیابی گردید. تیمار نانوسیلیکون۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین مهار اثرات تنش شوری بر شاخص‌های رشد، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و درصد اسانس را نشان داد. لذا با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌توان محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون را جهت کاهش اثرات منفی تنش شوری در گیاه نعناع فلفلی توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، سیلیکون، نانوسیلیکون، نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.).

مقدمه

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) گیاهی علفی چندساله از تیره نعناعیان (Lamiaceae) و بومی مناطق مدیترانه‌ای است. این گیاه متعلق به جنس *Mentha* است (Sadat & Ladan Moghadam, 2019) که در بیشتر مناطق دنیا، گیاهان این جنس به‌دلیل اسانس ارزشمندی که داشته، اهمیت اقتصادی بالایی دارند و امروزه در سراسر جهان برای مصارف غذایی، دارویی، آرایشی، عطرسازی و

www.SID.ir

Archive of SID

پزشکی کشت می‌شوند (Wildung & Croteau, 2005). اندام هوایی نعناع فلفلی دارای اسانس، ترکیب‌های فنلی، فلاونوئیدها، اسیدهای‌چرب، ویتامین‌ها، عناصر معدنی و اسید سالیسیلیک است (Rita & Animesh, 2011). مهمترین ترکیب‌های فیتوشیمیایی نعناع فلفلی در اسانس آن است که ارزش آن به میزان منتول، منتون، پولگون و منتوفوران بستگی دارد (Omidbeigi, 2005). کمّیت و کیفیت اسانس نیز به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی و زراعی است (Rios-Estepa *et al*., 2008).

تنش شوری یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است که بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشاهده می‌شود (Ahmad *et al*., 2019). شوری خاک شرایطی است که هدایت الکتریکی (EC) آن برابر با چهار دسی‌زیمنس بر متر یا بیشتر باشد که این سطح از شوری بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان مؤثر است (Shahid *et al*., 2018). شوری موجب بروز تنش اسمزی و یونی و به‌دنبال آن تخریب غشاء سلول، تغییر سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، عدم توازن تغذیه‌ای، اختلال در فعالیت آنزیم‌ها، کاهش بازده فتوسنتز و در نهایت از بین رفتن گیاه می‌گردد (Hasanuzzaman *et al*., 2013). تنش شوری بر همه گونه‌های گیاهان اثرگذاری یکسانی ندارد و پاسخ گیاهان نیز متفاوت است. این تأثیر به عواملی مانند میزان سمّیت یونی، تغییرات قابلیت اسمزی، مدت زمان تنش و نوع گونه گیاهی بستگی دارد (Parida & Das, 2005). به‌عنوان مثال افزایش مقدار نمک به‌طور معنی‌داری سطح برگ، طول ساقه، قطر ساقه، تعداد گل و وزن خشک اندام‌های مختلف گل گاوزبان (*Borago officinalis* L.) را کاهش داد (Jaffel *et al*., 2011). در گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) نیز افزایش تنش شوری موجب کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و طول ریشه‌چه این گیاه شد (Alizade Ahmadabadi & Khorasaninejad, 2016). افزایش تنش شوری در گیاه اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) در شرایط کشت هیدروپونیک موجب کاهش وزن تر ساقه، وزن تر و خشک ریشه و طول ساقه شد (Khorasaninejad *et al*., 2016). همچنین غلظت‌های مختلف شوری کلریدسدیم موجب ایجاد تغییراتی در ترکیب‌های اصلی اسانس و شاخص‌های رشدی گیاه مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) گردید (Amiri & Ghasemi Ramadanabad, 2018). تنش شوری سبب کاهش تولید زیست‌توده در گیاه ریحان گردید که این کاهش معمولاً در دو مرحله رخ داد؛ مرحله اسمزی به‌دلیل کم شدن سطح برگ و مرحله تجمع یون‌های سمّی در برگ‌ها که به پیری زودرس منجر شد (Mancarella *et al*., 2016).

پژوهش‌های متعددی پیرامون ترکیب‌های مؤثر در کاهش اثرهای تنش شوری در گیاهان انجام شده است. یکی از این ترکیب‌ها سیلیسیوم می‌باشد (Frew *et al*., 2018). سیلیسیوم فراوانترین عنصر پوسته زمین و عنصر غیرضروری است که آثار مفید کاربرد آن در رشد و کیفیت گیاهان در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی به‌طور چشمگیری مشهود است (Zare *et al*., 2018؛ Mohsenzadeh *et al*., 2012). سیلیکون با افزایش مقاومت به آفات و بیماری‌ها، بهبود تعادل آبی، تحریک سیستم آنزیمی و فعال نمودن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش سنتز ترکیب‌های فنلی، تعادل هورمونی، سنتز کلروفیل، کاهش جذب سدیم و یا افزایش وابسته به H^+-ATPase پتاسیم و افزایش فتوسنتز و تولید زیست‌توده، موجب افزایش تحمل گیاهان به تنش شوری می‌گردد (Ahmad *et al*., 2019 ؛Kim *et al*., 2017). امروزه استفاده از فناوری نانو در زمینه‌ها و گرایش‌های مختلف کشاورزی مورد توجه قرارگرفته است. اگرچه سازوکار عمل آنها به‌درستی شناخته نشده است، ولی از مهمترین کاربردهای آن در بخش آب و خاک می‌توان به استفاده از نانو کودها در برنامه تغذیه گیاهان اشاره نمود (Haghighi & Pessarakli, 2013). همچنین استفاده از نانو کودها یکی از زمینه‌های تحقیقاتی امیدبخش برای افزایش بازدهی محصولات کشاورزی به‌شمار می‌آید. برای

www.SID.ir

Archive of SID

نمونه اثرهای مثبت سیلیکون بر برخی پارامترهای آناتومیک و فیزیولوژیک گیاه گاوزبان در شرایط هیدروپونیک تنها در غلظت مناسب و قابل تحمل برای گیاه (تیمار ۱/۵ میلی‌مولار سیلیکون) مشاهده گردید (Torabi *et al*., 2013). همچنین استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم II موجب افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) شد (Al-aghabary *et al*., 2005). در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Mill.) نیز استفاده از سیلیکون اثرهای منفی تنش شوری بر شاخص‌های رشد، محتوای کلروفیل و عملکرد را کاهش داد (Rahimi *et al*., 2012). همچنین نتایج بررسی اثر سیلیسیوم در کاهش نابسامانی‌های فیزیولوژیک گیاه کلزا در تنش شوری نشان‌دهنده کاهش تجمع یون‌های سدیم و کلر و افزایش تجمع عناصر ضروری مانند پتاسیم، فسفر و آهن و در نهایت کاهش تنش اکسیداتیو بود (Farshidi *et al*., 2012). در گیاه گوجه‌فرنگی نیز استفاده از نانوسیلیکون در کاهش اثرهای منفی تنش شوری در جوانه‌زنی دانه و ویژگی‌های رشد مؤثر بود (Haghighi & Pessarakli, 2013). همچنین استفاده از نانوسیلیس در ریحان (*Ocimum basilicum*) در شرایط تنش شوری موجب بهبود جذب فسفر شد و در کل استفاده از نانوذرات سیلیس اثرهای شوری را تا حد زیادی کاهش داد (Kalteh *et al*., 2014). در توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa* Duch.) کاربرد سیلیسیوم تأثیرات بارزی بر عناصرغذایی و کیفیت میوه نشان داد که این تأثیر بستگی به فرم سیلیسیوم، غلظت و روش کاربرد آن داشت. براساس نتایج بدست آمده، کاربرد دی‌اکسید سیلیسیوم (SiO_2) طی مرحله رشد گیاه، به‌ویژه در مقیاس نانو، موجب افزایش بیشتر عناصر غذایی و بهبود کیفی میوه توت‌فرنگی گردید (Yousefi & Esna-Ashari, 2016). کاربرد سیلیکون در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی نیز موجب بهبود صفات کمّی و کیفی ازجمله افزایش استحکام ساقه گل‌دهنده شد (Dakora & Nelwamondo, 2003).

ازاین‌رو با توجه به پژوهش‌های انجام شده در مورد نقش سیلیکون و نانوسیلیکون بر کاهش اثرهای تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان، هدف از انجام این تحقیق بررسی نقش محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون در کاهش اثرهای منفی تنش شوری در گیاه نعناع فلفلی بوده است.

مواد و روش‌ها

کشت گیاهان و اعمال تیمارها

ابتدا ریزوم‌هایی به طول تقریبی ۵ سانتی‌متر تهیه و در گلدان سایز ۱۲، حاوی بستر کشت مناسب شامل پیت‌ماس، ماسه‌بادی و خاک رس به نسبت (۱:۱:۱) کشت گردید. پس از کاشت ریزوم‌ها، گلدان‌ها در گلخانه خصوصی در شهرستان پاکدشت در شرایط نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. همچنین، پیش از اعمال تنش شوری و تا زمان استقرار کامل گیاهان، آبیاری به‌طور منظم انجام شد. پس از یک ماه، گیاهان شاهد با آب مقطر و سایر گیاهان با سیلیکون و نانوسیلیکون (۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر، ۳ مرتبه به‌صورت یک روز در میان محلول‌پاشی شدند. برای تهیه تیمارهای شوری با غلظت‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار از نمک کلریدسدیم با درجه خلوص ۹۹/۹٪ استفاده گردید. یک روز پس از آخرین محلول‌پاشی، گیاهان تحت تیمار شوری قرارگرفتند و پس از گذشت حدود ۲۰ روز نمونه‌برداری از بوته‌ها و ارزیابی صفات انجام شد.

صفات مورد ارزیابی

وزن تر اندام هوایی و ریشه بلافاصله پس از برداشت و

www.SID.ir

Archive of SID

وزن خشک پس از ۷۲ ساعت قرارگیری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ مطابق روش Clickle و Reid (۲۰۰۲) توزین شد. محتوای کلروفیل با روش Arnon (۱۹۴۹) بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ محاسبه گردید. فنل کل با استفاده از عصاره متانولی برگ و معرف فولین- سیکالچیو با روش Malik و Singh (۱۹۸۰) اندازه‌گیری شد و میزان جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی نوری در طول موج ۷۶۰ قرائت و در نهایت برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گل بیان گردید. پرولین طبق روش Bates و همکاران (۱۹۷۳)، در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بیان شد. میزان پروتئین با استفاده از روش Bradford (۱۹۷۶) سنجش شد. برای سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز، ابتدا عصاره آنزیم براساس روش Ezhilmathi و همکاران (۲۰۰۷) از یک گرم برگ تهیه شد. سپس فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به روش Beyer و Fridovich (۱۹۸۷) و فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز مطابق با روش Putter (۱۹۷۴) اندازه‌گیری شد. در نهایت فعالیت آنزیم‌ها برحسب واحد آنزیم بر گرم وزن تر بیان گردید. برای اندازه‌گیری شاخص‌های بیوشیمیایی و آنزیمی از دستگاه اسپکتوفتومتر UV Visible مدل Spectro Flex 6600 استفاده شد. برای استخراج اسانس از اندام هوایی گیاه مطابق با روش Mehrafarin و همکاران (۲۰۱۷) از دستگاه کلونجر استفاده شد و بعد میزان اسانس برحسب درصد بیان گردید.

تجزیه‌وتحلیل آماری

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری کامل تصادفی با دو عامل شوری و محلول‌پاشی با سیلیکون و نانوسیلیکون و اثر متقابل آنها اجرا گردید. آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS23 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ و ۱٪ انجام گردید. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel16 استفاده شد.

نتایج

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه

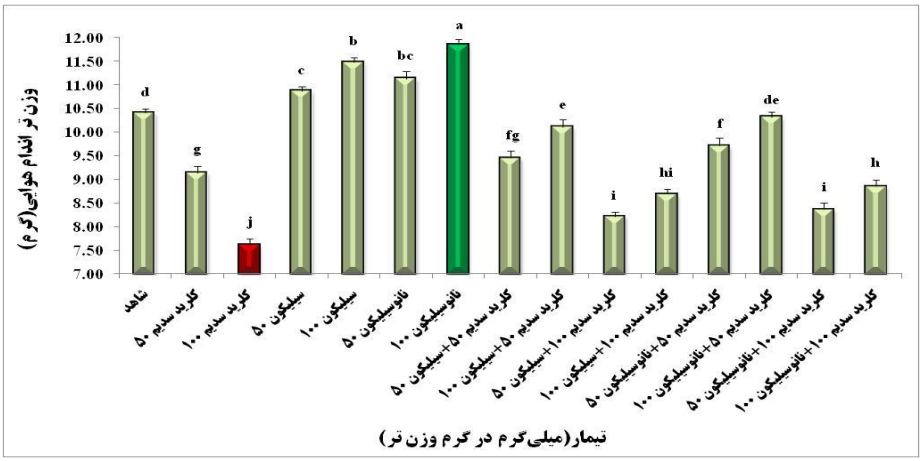
نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش شوری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری شد. بیشترین وزن تر اندام هوایی (۱۱/۸۵ گرم) در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۷/۶۱ گرم) در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۱). بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب با ۴/۲۲ و ۲/۶۴ گرم در تیمار نانوسیلیکون و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۲). همچنین بیشترین وزن تر ریشه (۴/۷۵ گرم) در تیمار سیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۲/۵۸ گرم) در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۳). بیشترین و کمترین وزن خشک ریشه به‌ترتیب با ۲/۳۱ و ۱/۱۶ گرم در تیمار نانوسیلیکون و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۴).

کلروفیل کل

بررسی داده‌های پژوهش نشان داد که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب بهبود محتوای کلروفیل گردید که این اثر مثبت در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمایان‌تر بود. بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل با ۱۴/۸۷ و ۹/۶۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌ترتیب در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۵).

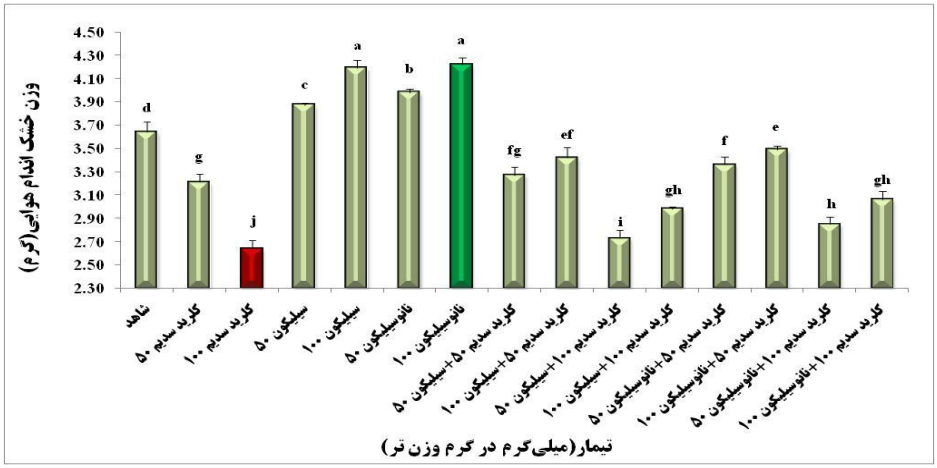
www.SID.ir

Archive of SID



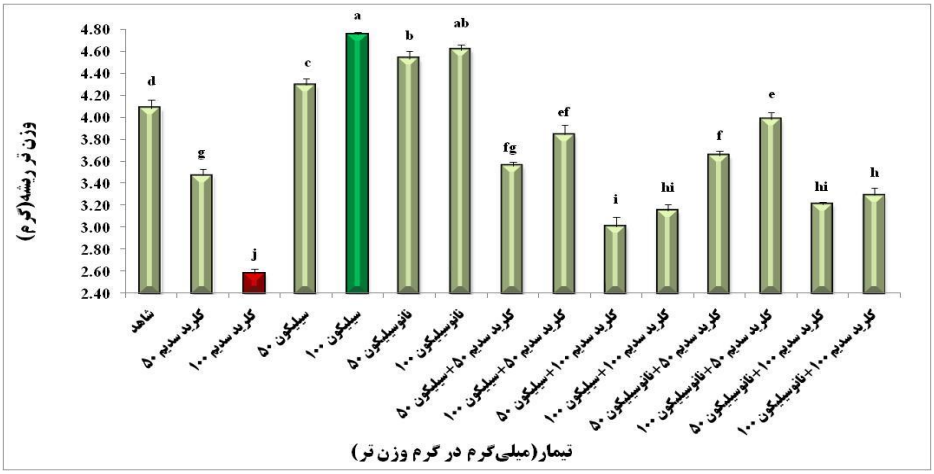
شکل ۱- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر وزن تر اندام هوایی گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۲- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر وزن خشک اندام هوایی گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

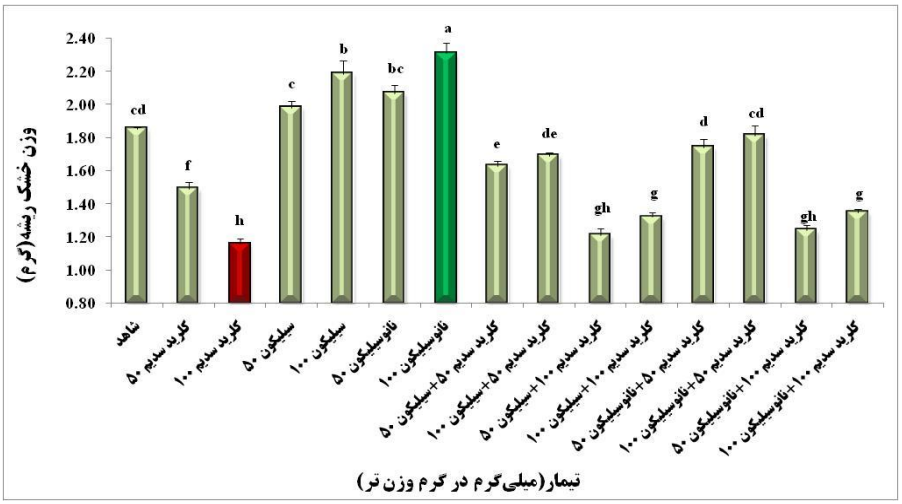


شکل ۳- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر وزن تر ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

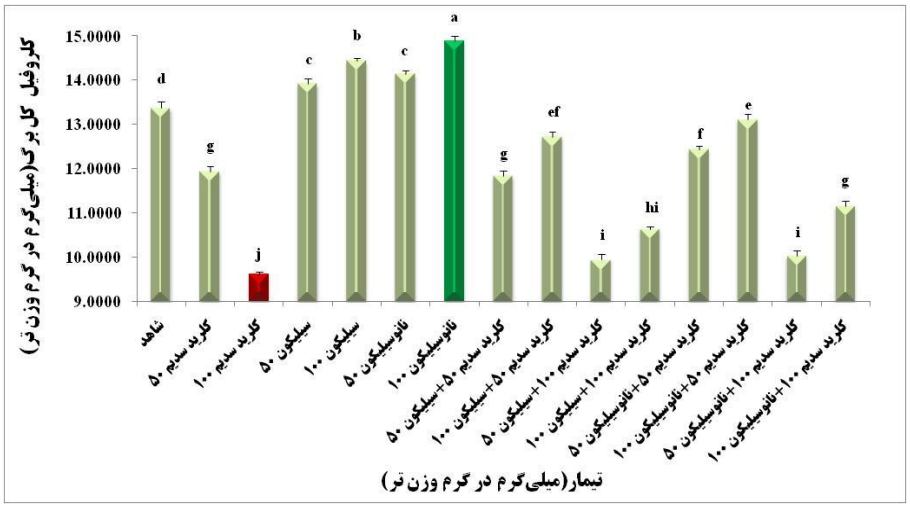
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر وزن خشک ریشه گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.



شکل ۵- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر محتوای کلروفیل کل گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

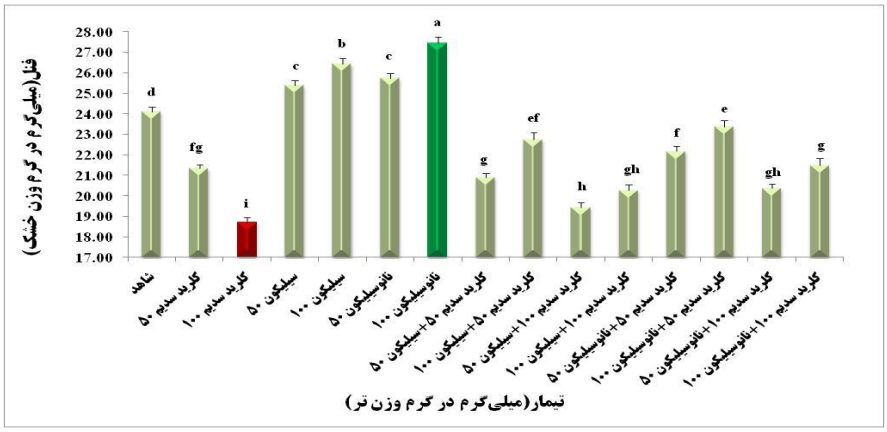
حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

فنل

نتایج نشان داد که تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری در میزان فنل نسبت به شاهد شد. تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کنترل کاهش میزان فنل در شرایط شوری گردید. همانطور که در شکل ۶ نمایان است، بیشترین میزان فنل با ۲۷/۴۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان فنل با ۱۸/۶۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

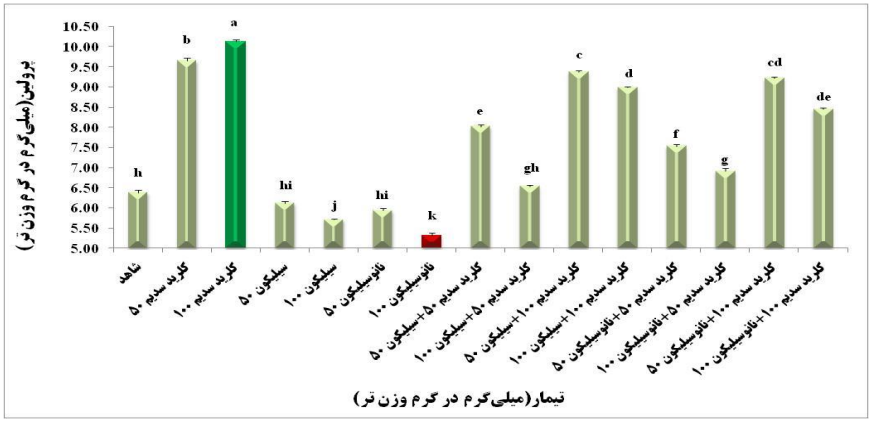


شکل ۶- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان فنل گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

پرولین

بررسی داده‌ها نشان داد که میزان پرولین در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش شوری با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش میزان پرولین گردید. میزان پرولین در تمام تیمارهای اثرمتقابل شوری با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بیشتر از شاهد بود. بیشترین و کمترین میزان پرولین با ۱۰/۱۲ و ۵/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر به‌ترتیب در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۷).



شکل ۷- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان پرولین گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

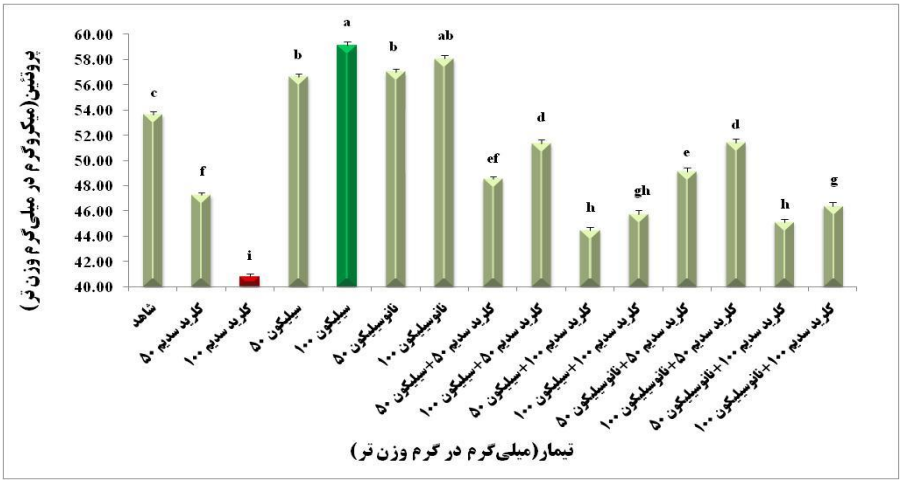
حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

Archive of SID

پروتئین

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان پروتئین در شرایط تنش شوری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش یافت. تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری گردید که این اثر مثبت در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمایان‌تر بود. بیشترین میزان پروتئین (۵۹/۱۲ میکروگرم در میلی‌گرم وزن تر) در تیمار سیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین (۴۰/۷۶ میکروگرم در میلی‌گرم وزن تر) در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۸).



شکل ۸- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر میزان پروتئین گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز

بررسی داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت، اما تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری موجب کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد گردید. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با ۶/۷۵ و ۳/۴۵ واحد آنزیم در گرم وزن تر به‌ترتیب در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۹). همچنین همان‌طور که در شکل ۱۰ نمایان است، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب در تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش و کاهش نشان داد. به‌نحوی که بیشترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با ۱۵/۲۷ واحد آنزیم در گرم وزن تر در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با ۸/۲۵ واحد آنزیم در گرم وزن تر در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

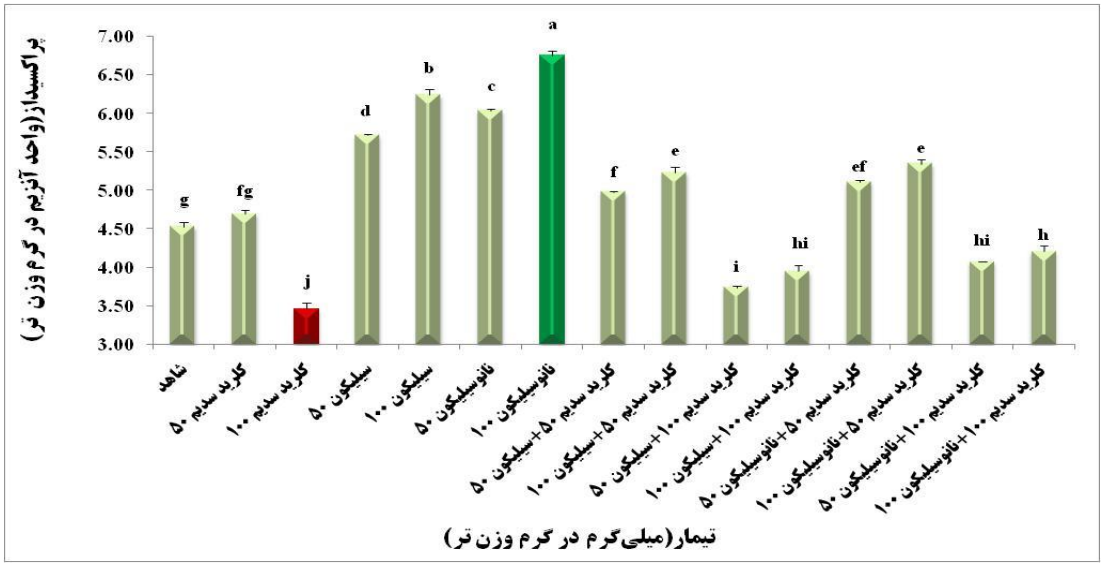
درصد اسانس

نتایج نشان داد که تیمار کلریدسدیم ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به شاهد شد. درصد اسانس در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اثر متقابل کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تمام غلظت‌های سیلیکون و

www.SID.ir

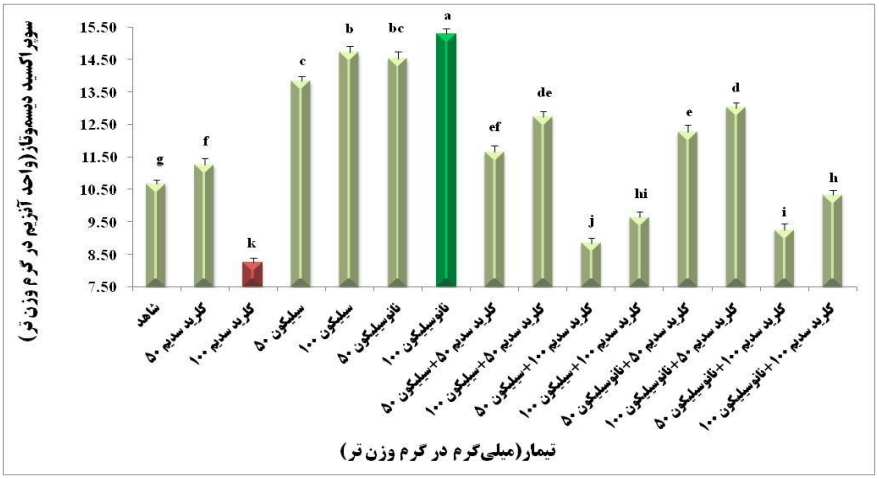
Archive of SID

نانوسیلیکون کمتر از شاهد بود. بیشترین و کمترین درصد اسانس با ۱/۷۵٪ و ۱/۰۲٪ به‌ترتیب در تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۱۱).



شکل ۹- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

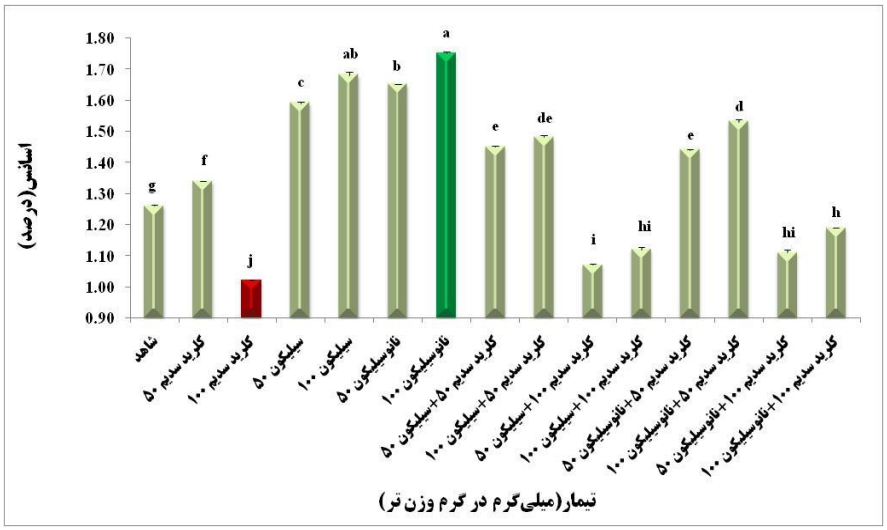


شکل ۱۰- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- اثر شوری و غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بر درصد اسانس گیاه نعناع فلفلی تحت تنش شوری

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

بحث

تنش شوری یکی از تأثیرگذارترین تنش‌ها در کاهش شاخص‌های رشد گیاهان ازجمله وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه است. تحقیقات متعددی نشان داده که کاربرد ترکیب‌های سیلیسیوم به‌دلیل نقش مؤثر در مقاومت گیاهان به تنش‌های زیستی و غیرزیستی و تأثیر مثبت در تغذیه گیاهان، کمک می‌نماید که گیاهان شوری را تحمل نموده و همچنین موجب کاهش اثرهای منفی در رشد و نمو گیاهان و ادامه حیات آنها می‌شود. Rahimi و همکاران (۲۰۱۲) اثرهای مثبت استفاده از سیلیکون در کاهش اثرهای منفی تنش شوری بر شاخص‌های رشد گیاه دارویی رازیانه و Amirossadat و همکاران (۲۰۱۲) نیز اثر بهبوددهندگی سیلیکون بر وزن تر و خشک اندام هوایی خیار (*Cucumis sativus* L.) را گزارش نمودند. در این پژوهش نیز تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح آماری ۱٪ نسبت به شاهد شد. اثر بهبوددهندگی نانوسیلیکون بر وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه و سیلیکون بر وزن تر ریشه بیشتر بود.

بررسی داده‌های پژوهش نشان داد که محتوای کلروفیل کل در شرایط تنش شوری با محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را در بهبود محتوای کلروفیل داشت. تنش شوری به‌دلیل تأثیر بر عوامل روزنه‌ای و کاهش ورود دی‌اکسیدکربن به سلول‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش جذب نیتروژن به‌عنوان عنصر معدنی مهم در سنتز رنگدانه کلروفیل و کاهش فعالیت‌های فیتوشیمیایی موجب کاهش کلروفیل در گیاه می‌گردد. کاربرد سیلیکون و نانوسیلیکون از طریق سمّیت‌زدایی گونه‌های رادیکال‌های آزاد القاء شده و با بهبود سیستم دفاعی گیاه موجب کنترل اثرهای منفی تنش شوری و بهبود میزان کلروفیل می‌شود (Hajiboland & Cheraghvareh, 2014؛ Haghighi & Pessarakli, 2013). همچنین مطابق با یافته‌های Al-Aghabary و همکاران (۲۰۰۵) استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم II موجب افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گوجه‌فرنگی شد.

فنل‌ها گروهی از متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هستند که نقش محافظتی و مهمی در دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان در شرایط تنش شوری دارند. احتمالاً کاهش میزان فنل در

www.SID.ir

Archive of SID

شرایط تنش شوری نیز به‌دلیل کاهش سنتز آن است (Ramakrishna & Ravishankar, 2011). کاربرد ترکیب‌های سیلیسیوم می‌تواند به کاهش اثرهای تنش شوری بر میزان فنل کمک کند. در این پژوهش تنش شوری موجب کاهش معنی‌داری در میزان فنل نسبت به شاهد شد و تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کنترل کاهش میزان فنل در شرایط شوری گردید. مطابق با نتایج پژوهش Sayadi و همکاران (۲۰۱۴) و El-din و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات ترکیب‌های فنلی در گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) در غلظت‌های مختلف شوری متفاوت بود.

اسید آمینه پرولین اسمولیت سازگاری است که نقش مهمی در تنظیم اسمزی و ایجاد مقاومت به تنش شوری با حذف اکسیژن‌های آزاد تولید شده در طول تنش و حفاظت از مولکول‌های بزرگ دارد (Ashraf & Foolad, 2007). در این پژوهش نیز میزان پرولین در شرایط تنش شوری نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد و محلول‌پاشی گیاهان تحت تنش شوری با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش میزان پرولین گردید. میزان پرولین در تمام تیمارهای اثرمتقابل شوری با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون بیشتر از شاهد بود. افزایش سطح پرولین موجب حفظ هیدراسیون پروتئین‌ها در بافت‌های آبدار و بهبود بقای فعالیت‌های یاخته‌ای در شرایط تنش شوری می‌گردد (Ashraf & Foolad, 2007). نتایج پژوهش Lotfollahi و همکاران (۲۰۱۵) روی گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) نیز نشان داد که تحت شرایط تنش گیاه سازوکارهایی از قبیل تجمع مواد محلول مانند پرولین را انتخاب می‌کند که یکی از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش شوری است و به‌همین دلیل میزان این اسید آمینه افزایش یافت.

تنش شوری در این پژوهش نیز موجب کاهش معنی‌داری در میزان پروتئین نسبت به شاهد گردید. تیمار گیاهان با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری گردید که این اثر مثبت در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نمایان‌تر است که احتمالاً به‌دلیل نقش ترکیبات سیلیسیوم در کاهش تنش شوری و افزایش میزان پروتئین است. نتایج پژوهش Rahdari و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که غلظت‌های مختلف کلریدسدیم موجب کاهش میزان پروتئین در گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) گردید. در پژوهش Enteshari و همکاران (۲۰۱۱) نیز شوری موجب کاهش میزان پروتئین در گیاه دارویی گاوزبان شد و تیمار گیاهان با سیلیکون موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری و افزایش میزان پروتئین گردید.

در شرایط تنش شوری، گیاهان با کمک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز با جاروب نمودن رادیکال‌های آزاد که منجر به تخریب و اختلال در فعالیت زیرساخت‌های سلولی مانند دیواره‌سلولی، کلروپلاست و آنزیم‌های حیاتی می‌شود، با پاکسازی محیط سلول از خود محافظت می‌کنند.

Ashraf و Ali (۲۰۰۸) گزارش نمودند که تنش شوری موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ازجمله پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز در برگ کلزا و کاهش اثرهای نامطلوب تنش شوری شد. داده‌های حاصل از این پژوهش نشان داد که تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد نداشت، اما تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌طور معنی‌داری موجب کاهش فعالیت آنزیم پراکسیداز نسبت به شاهد شد. همچنین تیمار کلریدسدیم ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نسبت به شاهد شد. فعالیت هر دو آنزیم آنتی‌اکسیدان در تمام غلظت‌های سیلیکون و نانوسیلیکون بهبود یافت. نتایج تحقیقات Al-Aghabary و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که استفاده از سیلیکون در شرایط تنش شوری از طریق افزایش کارایی فتوسیستم II موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گوجه‌فرنگی گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

در این پژوهش مشاهده شد که تیمار کلریدسدیم ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب موجب افزایش و کاهش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به شاهد گردید. درصد اسانس در تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اثر متقابل کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر با تمام غلظت‌های سیلیکون و نانوسیلیکون کمتر از شاهد بود. تنش شوری نتایجی مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در سرعت انتقال مواد غذایی در گیاهان، کاهش قابلیت آب در بافت‌های گیاهی، کاهش فتوسنتز، بازدارندگی از رشد، افزایش در تجمع اسید آبسیزیک و پرولین، تشکیل رادیکال‌های‌آزاد و تنش اکسیداتیو را به همراه دارد، بنابراین هنگامی که گیاهان در شرایط تنش قرار گیرند، از طریق تولید متابولیت‌های ثانویه مختلف از خود محافظت می‌کنند. در این پژوهش نیز افزایش درصد اسانس در تیمار کلریدسدیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. بررسی Al-Aghabary و همکاران (۲۰۰۵) روی گیاه دارویی آویشن باغی نشان داد که تنش شوری موجب افزایش تیمول در این گیاه شد. اما تیمار کلریدسدیم ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر به‌دلیل آسیب به گیاه موجب کاهش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به شاهد شد. Ashraf و Akhtar (۲۰۰۴) کاهش میزان اسانس در اثر تنش شوری را در گیاه رازیانه گزارش نمودند و در پژوهش دیگری نیز Ashraf و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه گرفتند که تنش شوری موجب کاهش میزان اسانس گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum*) گردید.

به‌طور کلی نتایج پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی نعناع فلفلی با غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون موجب کاهش اثرهای منفی تنش شوری در شاخص‌های کمّی، کیفی و درصد اسانس گردید. در صفاتی ازجمله وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه، محتوای کلروفیل، میزان فنل و پرولین، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز و درصد اسانس اثر بهبوددهندگی نانوسیلیکون و در وزن تر ریشه و میزان پروتئین اثر بهبوددهندگی سیلیکون بهتر بود. در بین غلظت‌های مختلف سیلیکون و نانوسیلیکون، تیمار نانوسیلیکون ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بیشترین تأثیر را در مهار اثرهای تنش شوری در بیشتر شاخص‌های رشد و درصد اسانس داشت. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان محلول‌پاشی سیلیکون و نانوسیلیکون را برای کاهش اثرهای منفی تنش شوری در گیاه نعناع فلفلی توصیه کرد.

منابع مورد استفاده

- Ahmad, P., Ahanger, M.A., Alam, P., Alyemeni, M.N., Wijaya, L. and Ali, S., 2019. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean (*Vigna radiata* L.) through the modifications of physio-biochemica attributes and key antioxidant enzymes. Journal of Plant Growth Regulation, 38: 70-82.
- Al-Aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q., 2005. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence and anti-oxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. Journal Plant Nutrition, 27: 2101-2115.
- Alizade Ahmadabadi, A. and Khorasaninejad, S., 2016. The effect of humic acid pretreatment on germination of purple cornflower (*Echinacea purpurea*) plant under drought and salinity conditions. Arid Biome Scientific and Research Journal, 6(2): 97-107.
- Amiri, H. and Ghasemi Ramadanabad, Z., 2018. The effects of salinity on chemical composition of essential oil of *Satureja rechingeri*. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 31(2): 505-515.
- Amirossadat, Z., Mohammadi Ghehsareh, A. and Mojiri, A., 2012. Impact of silicon on decreasing of salinity stress in greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) in soilless culture. Journal of Biological Environmental Science, 6(17): 171-174.
- Arnon, D I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24(1): 1-15.
- Ashraf, M. and Akhtar, N., 2004. Influence of salt stress on growth, ion accumulation and seed oil content in sweet fennel. Biologia Plantarum, 48(3): 461-464.
- Ashraf, M. and Ali, Q., 2008. Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environmental and Experimental Botany, 63: 266-273.
- Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress and resistance. Environmental and Experimental Botany, 59: 206-216.

www.SID.ir

Archive of SID

In: Smith, H. and Burns, M., (Eds.). Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress Springer, Hyderabad, 512p.
- Jaffel, K., Sai, S., Bouraoui, N., Ammar, R., Legendre, L., Lachâal, M. and Marzouk, B., 2011. Influence of salt stress on growth, lipid peroxidation and antioxidative enzyme activity in borage (*Borago officinalis* L.). Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology, 145: 362-369.
- Kalteh, M., Alipour, Z., Ashraf, S., Marashi Aliabadi, M. and Falah, A., 2014. Effects of silica nanoparticles on basil (*Ocimum basilicum*) under salinity stress. Journal of Chemical Health Risks, 4(3): 49-55.
- Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Hadian, J. and Atashi, S., 2016. The effect of salinity stress on the growth, quantity and quality of essential oil of lavender (*Lavandula angustifulia* Miller). Journal of Horticultural Science, 30(2): 209-216.
- Kim, Y.H., Khan, A.L., Waqas, M. and Lee, I.J., 2017. Silicon regulates antioxidant activities of crop plants under abiotic-induced oxidative stress: a review. Frontier in Plant Science, 8: 510.
- Lotfollahi, L., Torabi, H. and Omidi, H., 2015. Salinity effect on proline, photosynthetic pigments and leaf relative water content in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in hydroponic condition. Journal of Plant Production, 22(1): 89-104.
- Malik, C.P. and Singh, M.B., 1980. Plant Enzymology and Histoenzymology: A Text Manual. Kalyani Publisher, New Delhi, 434p.
- Mancarella, S., Orsini, F., Van Oosten, M.J., Sanoubar, R., Stanghellini, C., Kondo, S., Gianquinto, G. and Maggio, A., 2016. Leaf sodium accumulation facilitates salt stress adaptation and preserves photosystem functionality in salt stressed *Ocimum basilicum*. Environmental and Experimental Botany, 130: 162-173.
- Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Mirzai Motlagh, M., Salehi, M. and Ghiasi Yekta, M., 2017. Phytochemical and morphophysiological responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of potassium sulfate and methanol biostimulant. Journal of Medicinal Plants, 16(64): 93-109.
- Mohsenzadeh, S., Shahrtash, M. and Teixeira de Silva, J.A., 2012. Silicon improves growth and alleviates toxicity of cadmium in maize seedling. Plant Stress, 6(1): 39-43.
- Omidbeigi, R., 2005. An Approach to the Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 2). Tararahen-e-Nashr Publication, 171p.
- Parida, A.K. and Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60: 324-349.
- Ashraf, M., Mukhtar, N., Rehman, S. and Rha, E.S., 2004. Salt-induced changes in photosynthetic activity and growth in a potential medicinal plant Bishop's weed. Photosynthetica, 42(4): 543-555.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- Beyer, W.F. and Fridovich, I., 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in condition. Analytical Biochemistry, 161(2): 559-566.
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248-254.
- Clickle, F.G. and Reid, M.S., 2002. Postharvest handling of stock (*Matthiola incana*). HortScienc, 37(1): 144-147.
- Dakora, F.D. and Nelwamondo, A., 2003. Silicon nutrition promotes root growth and tissue mechanical strength in symbiotic cowpea. Functional Plant Biology, 30(9): 947-953.
- El-din, A.A., Aziz, E.E., Hendawy, S. and Omer, E., 2009. Response of *Thymus vulgaris* L. to salt stress and Alar (B9) in newly reclaimed soil. The Journal of Applied Sciences Research, 5(12): 2165-2170.
- Enteshari, S., Alishavandi, R. and Delavar, K., 2011. Interactive effects of silicon and NaCl on some physiological and biochemical parameters in *Borago officinalis*. Iranian Journal of Plant Physiology, 2(1): 315-320.
- Ezhilmathi, K., Singh, V., Arora, P. and Sairam, R.K., 2007. Effect of 5-sulfocalicylic acid on antioxidant in relation to vase life of gladiolus cut flower. Plant Growth Regulation, 51: 99-108.
- Farshidi, M., Abdolzadeh, A. and Sadeghipour, H.R., 2012. Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. Acta Physiologiae Plantarum, 34: 1779-1788.
- Frew, A., Weston, L.A., Reynolds, O.L. and Gurr, G.M., 2018. The role of silicon in plant biology: A paradigm shift in research approach. Annals of Botany, 121: 1265-1273.
- Haghighi, M. and Pessarakli, M., 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherrytomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. Scientia Horticulturae, 161: 111-117.
- Hajiboland, R. and Cheraghvareh, L., 2014. Influence of Si supplementation on growth and some physiological and biochemical parameters in salt-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants. Journal of Sciences, 25(3): 205-217.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K. and Fujita, M., 2013. Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages: 25-87.

www.SID.ir

Archive of SID

- Putter, J., 1974. Peroxidase: 685-690. In: Bergmeyer, A., (Ed.). Methods in Enzymatic Analysis, V2. Academic press, New York, 685p.
- Rahdari, P, Tavakoli, S. and Hosseini, S.M., 2012. Studying of salinity stress effect on germination, proline, sugar, protein, lipid and chlorophyll content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) leaves. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 8(1): 182-193.
- Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. and Armand, N., 2012. Effects of salt stress and silicon nutrition on cholorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(21): 1591-1595.
- Ramakrishna, A. and Ravishankar, G.A., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior, 6: 1720-1731.
- Rios-Estepa, R., Turner, G.W., Lee, J.M., Croteau, R.B. and Lange, B.M., 2008. A systems biology approach identifies the biochemical mechanisms regulating monoterpenoid essential oil composition in peppermint. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(8): 2818-2823.
- Rita, P. and Animesh, D.K., 2011. An updated overview on peppermint (*Mentha piperita* L.). International Research Journal of Pharmacy, 2(8): 1-10.
- Sadat, N. and Ladan Moghadam, A.R., 2019. Effect of salicylic acid foliar application on control of NaCl salt salinity on some morphological, physiological traits and growth of peppermint mint (*Mentha piperita*). Cellular and Molecular Plant Biology Journal, 13(3): 43-31.
- Sayadi, A., Ahmadi, J., Asghari, B. and Hossini, S.N., 2014. Investigating the effect of drought and salinity stress on the phenolic composition of the medicinal plant (*Thymus vulgaris* L.). Eco-Photochemical Journal of Medicinal Plants, 2(4): 50-61.
- Shahid, S.A., Zaman, M. and Heng, L., 2018. Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem: 43-53. In: Zaman, M., Shahid, Sh.A. and Heng, L., (Eds.). Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, Springer International Publisher, 164p.
- Torabi, F., Majd, A., Enteshari, Sh. and Irian, S., 2013. Study of Effect of Silicon on Some Anatomical and Physiological Characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) in Hydroponic Conditions. Journal of Cell & Tissue, 4(3): 275-285.
- Wildung, M.R. and Croteau, R.B., 2005. Genetic engineering of peppermint for improved essential oil composition and yield. Transgenic Research, 14(4): 365-372.
- Yousefi, R. and Esna-Ashari, M., 2016. The effect of micro- and nanoparticles of silicon dioxide (SiO_2) on some qualitative characteristics and nutrient elements of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). Journal of Plant Production Research, 23(3): 97-113.
- Zare, F., Khorasaninejad, S. and Hemmati, Kh., 2018. The effect of silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of Purple Coneflower (*Echinacea purpurea* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Plant Biology, 10(37): 55-68.

www.SID.ir

Archive of SID

Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress

E. Danaee[1*] and V. Abdossi[2]

1*- Corresponding, author, Department of Horticulture, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran
E-mail: dr.edanaee@yahoo.com
2- Department of Horticulture and Agronomy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: June 2020 Revised: October 2020 Accepted: December 2020

Abstract

Salinity is one of the most important abiotic environmental stresses which restricts the growth and production of plants. On the other hand, silicon (Si) is the second most abundant element in the soil and alleviates the biotic and abiotic stresses in the plants. For this purpose, a greenhouse experiment was conducted as a factorial in a completely randomized statistical design with three replications to investigate the effects of silicon and nano-silicon (50 and 100 mg l^{-1}) on some morphophysiological and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress at the different levels of sodium chloride (0, 50, and 100 mg l^{-1}) in 2019. The results showed that the salinity stress significantly reduced the fresh and dry weight of aerial parts and root, and chlorophyll, total phenol, and protein contents. The activity of superoxide dismutase and peroxidase enzymes and essential oil percentage differed at the different salinity levels. The amount of proline also increased significantly due to the sodium chloride treatment of 100 mg l^{-1}. The plants treatment with the different levels of silicon and nano-silicon reduced the negative effects of salinity stress on the evaluated indices. The nano-silicon treatment of 100 mg l^{-1} showed the highest inhibition of salinity stress effects on the growth indices, antioxidant enzymes activity, and essential oil percentage. Therefore, according to the results of this research, the foliar application of silicon and nano-silicon could be recommended to reduce the negative effects of salinity stress on peppermint.

Keywords: Salinity stress, silicon, nano-silicone, peppermint (*Mentha piperita* L.).

www.SID.ir