Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 48, No 4, Winter 2018 (743-752)
DOI: 10.22059/ijhs.2018.210950.1040

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۶ (ص ۷۵۲-۷۴۳)

تأثیر سیلیکات پتاسیم بر ویژگی‌های رشدی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) در شرایط تنش شوری

فاطمه حسنوند[۱] و عبدالحسین رضایی‌نژاد[۲*]
۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه لرستان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/٤/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/٦/۱۳)

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر سیلیکات پتاسیم بر واکنش گیاه شمعدانی معطر به تنش شوری در سال ۱۳۹۳ انجام شد. آزمایش به‌صورت گلدانی، آبکشتی (هیدروپونیک) درون ماسه و بر پایهٔ فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی شامل چهار واحد آزمایشی و هر واحد شامل ۹ ترکیب تیماری و درمجموع ۳٦ گلدان انجام شد. عامل‌ها شامل شوری ناشی از کلریدسدیم با ایجاد سه سطح هدایت الکتریکی ۱/۸ (ناشی از محلول غذایی به‌عنوان شاهد، بدون کلرید سدیم)، ٤ و ٦ دسی‌زیمنس بر متر و کاربرد هفتگی سیلیکات پتاسیم در سه سطح ۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار بود. نتایج نشان دادند، با افزایش شوری، فراسنجه (پارامتر)های رشد گیاه، میزان اسانس، محتوای نسبی آب و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز کاهش یافت درحالی‌که میزان مالوندی‌آلدئید، نشت الکترولیت‌ها و میزان پرولین افزایش یافتند. سیلیکات پتاسیم در بهبود رشد و ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه در شرایط شوری مؤثر بود. همچنین با افزایش سطح شوری میزان سدیم افزایش پیدا کرد و میزان پتاسیم کاهش یافت و کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث کاهش سدیم و افزایش پتاسیم در اندام‌های هوایی گیاه شد. در بیشتر ویژگی‌ها از جمله سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه کاربرد سیلیکات پتاسیم با غلظت ۱ میلی‌مولار عملکردی همانند به شاهد را نشان داد. به‌طورکلی نتایج نشان داد، افزایش شوری باعث تشدید تنش شده و کاربرد هفتگی سیلیکات پتاسیم به‌ویژه با غلظت ۱ میلی‌مولار باعث کاهش تأثیر تنش شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پتاسیم، پراکسیداز، پرولین، سیلیسیم، سدیم، کاتالاز.

Effect of potassium silicate on growth, physiological and biochemical characteristics of *Pelargonium graveolens* under salinity stress

Fatemeh Hassanvand[1] and Abdolhossein Rezaei Nejad[2*]
1, 2. Former M.Sc. Student and Associate Professor, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
(Received: Jul. 10, 2016 - Accepted: Sep. 3, 2016)

ABSTRACT

This research was carried out to evaluate the effect of potassium silicate on geranium reaction to salinity stress in 2014. The experiment was done hydroponically in pots filled with sand. Experiment was laid out factorially based on a completely randomized design with four replications each replication included 9 treatment compositions with 36 pots. Factors consisted of daily application of 1.8, 4 and 6 ds/m NaCl and weekly application of 0, 0.5 and 1 mM potassium silicate through nutrient solution. Result showed that by increasing salinity, growth parameters, essential oil, relative water content and the activity of catalase and peroxidase decreased while Malondialdehyde, electrolyte Leakage and amount of proline increased. Application of potassium silicate improved growth and physiological and biochemical characteristics of geranium under salinity stress. Moreover, leaf Na increased while P content decreased, respectively, as salinity increased and application of potassium silicate increased P and decreased Na under salinity in canopy of plant. Many characters i.e. leaf area, shoot fresh and dry weights values returned to control as 1mM potassium silicate was applied. Overall, the results showed that increasing salinity pronounced stress symptoms and weekly application of potassium silicate especially at 1 mM, alleviated the stress effects.

Keywords: Catalase, essential oil, potassium, proline, peroxidase, silicon, sodium.

* Corresponding author E-mail: rezaeinejad.hossein@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

شمعدانی معطر (*Pelargonium graveolens*) گیاهی چندساله از تیرهٔ Geraniaceae است. این گیاه افزون بر استفادهٔ زینتی اسانس با بوی خوش همانند بوی گل رز دارد که به‌طور گسترده‌ای در صنایع عطرسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و داروسازی استفاده می‌شود (Rajeswara Rao, 2002). رشد و میزان اسانس در گیاهان معطر تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله ژنتیک گیاه، عمر برگ، تغذیه، تنش‌های محیطی، زمان برداشت و... قرار می‌گیرد (Omidbaigi & Rezaei Nejad, 2000). شوری یکی از عامل‌های مهم کاهش‌دهندهٔ رشد گیاهان در بسیاری از مناطق جهان است. شوری از دو راه بر گیاهان تأثیر می‌گذارد: تأثیر اسمزی که با کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک باعث اختلال در جذب آب توسط گیاه می‌شود و تأثیر یونی که با ایجاد سمیت یونی (به دلیل غلظت بالای یون‌های سمی، مانند کلر و سدیم) باعث ایجاد آسیب و زیان و تغییرات فیزیولوژیک و ریخت‌شناختی (مورفولوژیک) در گیاه می‌شود (Munns & Tester, 2008). در تنش شوری ناشی از کلریدسدیم، سمیت ناشی از یون سدیم تأثیرات زیانبار زیادی بر رشد گیاه ایجاد می‌کند. گسترهٔ خاک‌های شور در ایران حدود ۲۴ میلیون هکتار یعنی معادل ۱۵ درصد از اراضی کشاورزی کشور است (Jafarzadeh & Aliasgharzad, 2007). بنابراین تنش شوری همواره در کشاورزی ایران مطرح بود و یافتن راهکارهایی برای رویارویی با آن ضروری است. یکی از راهکارهای کاهش اثرگذاری‌های زیانبار تنش شوری استفاده از روش‌های تغذیهٔ معدنی از جمله تغذیهٔ سیلیسیم است. سیلیسیم دومین عنصر فراوان پوستهٔ زمین است و ۲۷/۶ درصد پوستهٔ زمین را تشکیل می‌دهد. این عنصر از عنصرهای ضروری برای گیاهان نیست (Jafarzadeh & Aliasgharzad, 2007). بررسی‌های متعدد نشان داده است که این عنصر تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد (Ma & Takahashi, 2002). در پژوهشی که بر تأثیر سیلیسم بر مقاومت به شوری گوجه‌فرنگی گیلاسی انجام شد، سیلیسیم با محافظت از فعالیت نورساختی (فتوسنتزی) تأثیر بهبوددهنده‌ای در برابر تأثیر زیانبار شوری در این گیاه داشت (Haghighi & Pessarakli, 2013). در پژوهشی که در تأثیر سیلیسیم در مقاومت به شوری کدوی زوچینی (*Cucurbita pepo L.cv. Rival*) در کشت به روش آبکشتی (هیدروپونیک) انجام شد سیلیسیم ۱ میلی‌مولار رشد رویشی، عملکرد میوه، وزن تر و خشک همهٔ بخش‌های گیاه و نورساخت کل گیاه را افزایش داده و تأثیر زیانبار شوری را از بین برد (Savvas *et al.*, 2009). در پژوهشی که در گیاه نمک‌رُست (هالوفیت) اسفناج انجام شد سیلیسیم در شرایط تنش تأثیر زیانبار شوری را از بین برد، اما در شرایط بدون شوری تأثیری بر این گیاه نگذاشت (Mateos-Naranjo *et al.*, 2013). اگرچه بررسی‌های زیادی در مورد نقش سیلیسیم در کاهش تأثیر نامطلوب شوری در گیاهان پرشماری انجام گرفته است، ولی به نظر می‌رسد تاکنون تحقیق جامعی در مورد کاربرد سیلیسیم در گیاه شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری انجام نگرفته است، لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد سیلیسیم بر ویژگی‌های رشد، فیزیولوژی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی گیاه شمعدانی معطر در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ در گلخانهٔ پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه لرستان با میانگین دمای روزانهٔ گلخانه ۲۸-۲۲ درجهٔ سلسیوس، رطوبت ۷۰-۶۰ درصد و نور ۶۰۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد. در آغاز گیاهان به روش قلمه از گیاه مادری افزونش و پس از ریشه‌دار شدن قلمه‌ها در گلدان‌های ۶ لیتری حاوی ماسه کشت و با محلول نیم هوگلند شامل ۲/۵ mM $Ca(NO_3)_2$، ۲/۵mM KNO_3، ۱/۰mM $MgSO_4$، ۰/۵ mM KH_2PO_4، ۲۳µM H_3BO_3، ۲µM $ZnSO_4$، ۰/۴ µM $CuSO_4$، ۴/۵µM $MnCl_2$، ۰/۲µM Na_2MoO_4 و ۴۰ µM Fe (Fe-EDTA) ۰/۲ دو بار در روز (صبح و عصر) ۲۰۰ سی‌سی تغذیه شدند (Rezaei Nejad & Ismaili, 2013). پس از استقرار کامل گیاهان تیمارها اعمال شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایهٔ طرح کامل تصادفی با پنج تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل شوری

Archive of SID

www.SID.ir

ناشی از کلریدسدیم با ایجاد سه سطح هدایت الکتریکی ۱/۸ (ناشی از محلول غذایی به‌عنوان شاهد، بدون کلرید سدیم)، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر که به ترتیب حاصل حل کردن ۱/۳۳ و ۲/۶۶ گرم بر لیتر نمک کلرید سدیم در محلول غذایی بود. تیمار سیلیسیم به‌صورت سیلیکات پتاسیم در سه سطح ۰، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار با حل کردن ۰، ۰/۱۲۸ و ۰/۲۵۷ گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم در محلول غذایی هوگلند به‌صورت هفتگی اعمال شد. هر هفته یک‌بار بستر کاشت با آب شهری شستشو شد که این کار به خاطر جلوگیری از تجمع نمک در گلدان صورت گرفت. تیمارها به مدت ۱۲ هفته اعمال شد. در پایان این مدت برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های ریخت‌شناختی

ویژگی‌هایی ریخت‌شناختی شامل طول گیاه، قطر گیاه و سطح برگ بود. طول گیاه با خط‌کش، قطر گیاه با کولیس دیجیتال از میانگرهٔ سوم گرفته شد و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل (دلتا-تی اسکن انگلستان) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی

برای اندازه‌گیری وزن‌تر و خشک ساقه و برگ، گیاهان از سطح خاک از محل طوقه قطع و بی‌درنگ وزن‌تر برگ‌ها و ساقه‌های آن‌ها با ترازوی دیجیتال به‌دقت اندازه‌گیری شد. بوته‌های برداشت‌شده در دمای اتاق و شرایط سایه به‌منظور جلوگیری از فراری بعضی از اسانس‌ها به مدت دو هفته خشک و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد (Omidbaigi & Rezaei Nejad, 2000) و سپس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه اسانس‌گیر[1] میزان اسانس برگ‌های خشک گیاه اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ با روش یاماساکی و دیلنبورگ (Yamasaki & Dillenburg, 1999)، درصد نشت الکترولیت‌ها با روش Lutts *et al.* (1996) و غلظت مالون دی‌آلدئید با روش Buege & Aust (1978) اندازه‌گیری شد.

1. Clevenger

اندازه‌گیری سبزینه (کلروفیل)ها و کاروتنوئیدها: برای سنجش و اندازه‌گیری سبزینه‌ها و کاروتنوئیدها از استون ۸۰ درصد استفاده شد و جذب آن‌ها در طول‌موج ۴۷۰، ۶۶۳ و ۶۴۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. غلظت سبزینه‌های a، سبزینه‌های b، سبزینه‌های کل و کاروتنوئیدها با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه و برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش شد (Lichtenthaler, 1987).

$$C_A = 11.24 \times A\ 662 - 2.04 \times A\ 645$$
$$C_B = 20.13 \times A\ 645 - 4.19 \times A\ 662$$
$$C_{A+B} = 7.05 \times A\ 662 + 18.09 \times A64$$
$$C_{X+C} = 1000 \times A\ 470 - 1.90 C_A - 63.1$$

اندازه‌گیری میزان پرولین

استخراج پرولین با استفاده از بافت تر برگی و معرف ناین هیدرین اسید با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) انجام شد (Bates *et al.*,1973) و میزان پرولین برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز

فعالیت آنزیم کاتالاز به روش Chance & Maehly (1955) اندازه‌گیری شد. برای استخراج آنزیم نمونه‌های برگی از بافر فسفات پتاسیم حاوی EDTA و PVP استفاده و دروایهٔ (سوسپانسیون) حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سلسیوس با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفوژ شد. جذب روشناور نمونه با دستگاه طیف‌سنج نوری در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر خوانده شد. درنهایت، میزان فعالیت آنزیم برحسب میزان آب‌اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در هر گرم وزن تازهٔ بافت بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز

فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش MacAdam *et al.* (1992) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم نمونه‌های برگی از بافرفسفات استفاده شد و دروایهٔ حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سلسیوس با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفوژ شد. جذب روشناور نمونه با دستگاه طیف‌سنج نوری در

Archive of SID

www.SID.ir

طول‌موج ۴۷۵ نانومتر خوانده شد. در نهایت، میزان فعالیت آنزیم برحسب میزان آب‌اکسیژنه غیرفعال شده در یک دقیقه در گرم وزن تازهٔ بافت بیان شد.

اندازه‌گیری میزان عنصرها

برای تعیین درصد عنصرهای سدیم و پتاسیم نمونه‌ها بر پایهٔ روش هضم مرطوب[1] عمل شد و آنگاه میزان سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه نورسنج شعله‌ای (فلیم فتومتر مدل جنوبی آمریکا) اندازه‌گیری شدند. برای تعیین غلظت عنصرها در نمونه‌های مختلف منحنی استاندارد آن رسم شد. به این منظور از غلظت‌های مختلف عنصرهای خالص سدیم و پتاسیم به‌عنوان شاهد دستگاه استفاده شد و با استفاده از این منحنی‌ها غلظت عنصرها برحسب میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (Motsara & Roy, 2008; Campbell & Plank, 1998).

تجزیه‌وتحلیل آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از جمله آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیهٔ واریانس، مقایسهٔ میانگین‌ها، با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SAS و Excel انجام شد. مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام و نمودارها با نرم‌افزار Prism 5 رسم شد.

نتایج

ویژگی‌های ریخت‌شناختی

نتایج بررسی‌ها نشان داد، شوری سدیمی و سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ بر این ویژگی‌ها داشت (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد ، افزایش هدایت الکتریکی ناشی از کلرید سدیم در محلول غذایی سبب کاهش ارتفاع، قطر ساقه، شمار برگ و سطح برگ شد (جدول۲). کمترین میزان ارتفاع، قطر ساقه، شمار و سطح برگ در گیاهانی که در شرایط تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفته‌اند مشاهده شد. در همهٔ سطوح شوری، استفاده از سیلیکات پتاسیم ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سبب افزایش ارتفاع، قطر ساقه، شمار و سطح برگ در مقایسه با گیاهان شاهد شد که تأثیر غلظت ۱ میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۲).

برخی از ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی

نتایج بررسی‌ها نشان داد، شوری و سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی‌ها داشت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی سبب کاهش وزن تر و خشک پیکر رویشی، میزان اسانس، محتوای نسبی آب و کاروتنوئیدها (جدول ۴)، و همچنین میزان سبزینه‌ها و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز (شکل ۱) شد. کمترین میزان این ویژگی‌ها در شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد و غلظت ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار سیلیکات پتاسیم باعث کاهش این تأثیر منفی شد و غلظت ۱ میلی‌مولار مؤثرتر بود. بیشترین میزان این ویژگی‌ها در گیاهان شاهد با کاربرد سیلیکات پتاسیم ۱ میلی‌مولار مشاهده شد. با افزایش شوری میزان مالون دی آلدهید و نشت یونی افزایش و مصرف سیلیکات پتاسیم باعث کاهش آن‌ها شد (شکل ۱).

میزان سدیم و پتاسیم گیاه

نتایج بررسی‌ها نشان داد، شوری و سیلیکات پتاسیم و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر این ویژگی‌ها داشت (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد، افزایش غلظت کلرید سدیم در محلول غذایی سبب کاهش پتاسیم و افزایش میزان سدیم برگ شد (جدول ۴). کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث افزایش پتاسیم و کاهش سدیم شد. بیشترین میزان سدیم در گیاهانی که شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر را دریافت کرده بودند مشاهده شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم باعث کاهش میزان آن شد و غلظت ۱ میلی‌مولار مؤثرتر بود (جدول ۴). کمترین میزان سدیم و بیشترین میزان پتاسیم در گیاهان شاهد شوری که سیلیکات پتاسیم ۱ میلی‌مولار را دریافت کرده بودند مشاهده شد. همچنین کمترین میزان پتاسیم و بیشترین میزان سدیم در گیاهان در شرایط تنش شوری ۶ دسی‌زیمنس بر متر بدون کاربرد سیلیکات پتاسیم مشاهده شد (جدول ۴).

1. Wet ashing

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) اثر سیلیسیم بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری

Table 1. Analysis of variance effects of si on morphological characteristics of geranium under salinity stress

Source of variation	df	MS				
		Plant height	Stem diameter	Number of leaf	Number of node	Leaf area
EC (A)	2	352.77**	2.06**	11006.48**	30.95**	2258091.96**
K_2Sio_3 (B)	2	115.34**	11.81**	823.35**	341.48**	480438.56**
A × B	4	5.53**	0.26**	25.38**	6.48**	33625.66**
Error	36	0.60	0.006	11.25	1.26	496.25

*، **، ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% probability levels, and non-significantly differenc, respectively.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های ریخت‌شناختی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری

Table 2. Effects of Si on some morphological characteristics of geranium in salt stress

EC (ds/m)	K_2Sio_3 (mM)	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaf	Number of node	Leaf area (cm^2 $plant^{-1}$)
	0	65.5d	6.88f	213.2c	24.2d	2140.24c
1.8	0.5	68.0b	7.32d	217.8b	26.8b	2366.09b
	1	71.5a	8.29a	231.4a	31.8a	2668.39a
4	0	63.2e	6.07g	186f	21.4e	1853.67f
	0.5	65.0d	7.14e	191.6e	26.0bc	1936.22e
	1	66.6c	8.02b	198d	30.6a	2059.91d
6	0	55.7g	5.68h	159.4i	18.8f	1473.24i
	0.5	57.8f	6.96f	167.2h	24.8cd	1577.58h
	1	62.8e	7.63c	173.4g	30.6a	1803.72g

Values followed with the same letter(s) (row-wise) are not significantly different at $P<0.05$. Values are the mean of five replications.

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری

Table 3. Analysis of variance of effects of Si on some physiological and biochemical characteristics of geranium under Na salinity stress

Source of variation	df	MS					
		Shoot DW	Shoot DW	Oil content	Electrolyte leakage	Relative water content	MDA
EC (A)	2	24219.6**	1022.8**	0.147**	5338.6**	92.64**	660529.43**
K_2SiO_3 (B)	2	5388.6**	555.6**	0.145**	513.8**	144.45**	189402.57**
A × B	4	122.6**	7.5**	0.0005^{ns}	17.6**	6.07**	8632.12**
Error	36	2.51	0.32	0.00034	1.19	0.46	410.62

ادامهٔ جدول ۳. تجزیهٔ واریانس (میانگین مربعات) اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری

Continued table 3. Analysis of variance of effects of Si on some physiological and biochemical characteristics of geranium under Na salinity stress

Source of variation	df	MS						
		Proline	Catalase activity	Peroxidase activity	Total chlorophyll	Carotenoid	Na	K
EC (A)	2	0.018**	5.98**	0.514**	63.029**	4.65**	106333.4**	1671.3**
K_2SiO_3 (B)	2	0.0007**	0.88**	0.215**	80.32**	11.185**	8310.5**	387.7**
A × B	4	0.0081**	0.075**	0.007**	0.304**	0.297**	226.6**	67.7**
Error	36	0.000015	0.0013	0.00044	0.113	0.03	0.32	0.32

*، **، ns: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significantly difference at 5 and 1% probability levels, and non-significantly differenc, respectively.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شمعدانی معطر در شرایط تنش شوری

Table 4. Effects of Si on some physiological and biochemical characteristics of geranium in salt stress

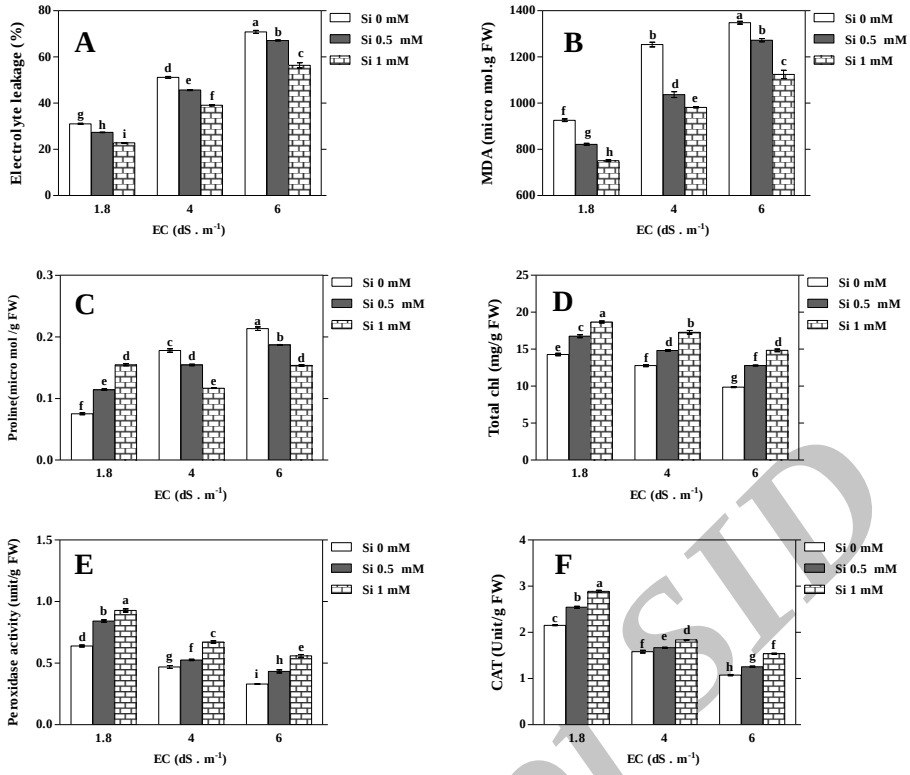
EC (ds/m)	K_2Sio_3 (mM)	Shoot FW (g/plant)	Shoot DW (g/plant)	Carotenoide (mg g FW^{-1})	Relative water content	Oil content	Na (mg g^{-1})	K (mg g^{-1})
	0	310.37c	48.96d	3.63d	76.05c	0.44d	57.34g	51.12c
1.8	0.5	320.65b	54.97b	4.05c	78.16b	0.55b	37.24h	63.12b
	1	344.20a	63.62a	4.95a	80.58a	0.63a	17.34i	69.10a
4	0	257.28g	42.49f	2.45f	72.9e	0.33e	157.75d	43.08f
	0.5	276.12e	48.56d	3.59d	74.87d	0.44d	137.66e	45.28e
	1	290.70d	54.10c	4.68b	78.27b	0.52c	117.38f	47.30d
6	0	221.09i	34.37h	2.29f	69.19f	0.25f	238.16a	37.06h
	0.5	248.34h	39.13g	3.08e	72.93e	0.34e	197.87b	41.20g
	1	267.56f	44.58e	3.92c	77.84b	0.45d	177.78c	45.14e

در هر ردیف میانگین‌هایی که دست‌کم یک حرف مشترک دارند، بدون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵درصد هستند. هر عدد نشان‌دهندهٔ میانگین پنج تکرار ± خطای استاندارد است.

Values followed with the same letter(s) (row-wise) are not significantly different at $P<0.05$. Values are the mean of five replications ± S.E.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. مقایسهٔ میانگین نشت الکترولیت‌ها (A)، مالون‌دی‌آلدئید (B)، پرولین (C)، سبزینه‌های کل (D)، فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز (E) و کاتالاز (F) در شمعدانی معطر تحت تأثیر شوری (EC) و سیلیسیم

Figure 1. Mean comparison of Electrolyte Leakage (A), Mallon di aldehyde (B),Proline (C), Total chlorophyll (D), POX (E) and Catalase (D)of geranium produced under salt (EC) and Si.

بحث

با توجه به نتایج این پژوهش، تنش شوری بر رشد و ویژگی‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه شمعدانی معطر مؤثر بود، به‌طوری‌که با افزایش میزان شوری، کاهش معنی‌داری در این ویژگی‌های به‌ویژه ارتفاع بوته، قطر ساقه، شمار و سطح برگ، شمارگره، میزان اسانس، محتوای نسبی آب و میزان سبزینه‌های کل و کاروتنوئیدها و میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز مشاهده شد و کاربرد سیلیکات پتاسیم، این تأثیر منفی را بهبود بخشید. با افزایش میزان شوری، نشت الکترولیت‌ها و میزان مالون‌دی‌آلدئید و پرولین افزایش یافت اما با کاربرد سیلیکات پتاسیم کاهش یافتند. تنش شوری با تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژی، مانند نورساخت، میزان رشد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Yamaguchi & Blumwald, 2005). یکی از اثرگذاری‌های اولیهٔ شوری، کاهش میزان آب بافت‌های گیاهی است. به‌عبارت‌دیگر، شوری میزان انرژی لازم برای حفظ حالت طبیعی یاخته را افزایش داده و در نتیجه انرژی کمتری برای نیازهای رشدی باقی می‌ماند (Ritchie & Hanson, 1990). پژوهشگران در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشته‌اند، ارتفاع بوته به‌شدت به محیط رشد وابسته است. ازآنجاکه پدیدهٔ رشد حاصل فعالیت‌های حیاتی در شرایطی است که گیاه بایستی آب کافی در اختیار داشته باشد، در صورت تأمین نشدن آب مورد نیاز به دلیل کاهش فشار آماس (تورژسانس) یاخته‌های در حال رشد و تأثیر بر طول یاخته‌ها، کاهش ارتفاع رخ می‌دهد (Munns & Tester, 2008). در گیاه سویا، شوری موجب کاهش ارتفاع اندام‌های هوایی به علت سمیت یونی عنصرهای زیانبار و اختلال در همهٔ فعالیت‌های زیستی و سوخت‌وسازی (متابولیسمی) گیاه و کاهش وزن اندام هوایی به دلیل از بین رفتن تعادل یونی و تعادل اسمزی شد (Dadrass *et al.*, 2001). وجود سیلیسیم در محلول غذایی و در شرایط

Archive of SID

www.SID.ir

شوری، شمار و سطح برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط شوری و افزایش استحکام دیواره‌های یاخته‌ای و کاهش نشت الکترولیت‌ها، باعث افزایش فشار آماس و افزایش اندازهٔ برگ می‌شود. در این پژوهش مشاهده شد که با افزایش شوری میزان اسانس کاهش یافت، و کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب افزایش این میزان شد. شوری تأثیر متفاوتی بر محتوا و ترکیب اسانس گیاهان مختلف دارد. در پژوهشی روی رازیانه شوری باعث افزایش درصد میزان اسانس شد و سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت (Rahimi *et al.*, 2012). به نظر می‌رسد با توجه به تأثیر سیلیسیم در رشد و نمو گیاه، می‌توان یکی از دلایل بیشتر شدن میزان اسانس را افزایش فعالیت نورساختی گیاه و نقش این عنصر در فعالیت ساختمان کلروپلاست‌ها دانست که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کنندهٔ اسانس در برگ شود (Evans, 1996). وزن تر و خشک گیاه نیز به‌شدت تحت تأثیر شوری قرار گرفت. مقایسهٔ میانگین داده‌ها (جدول۴) نشان داد، در تنش شوری با افزایش غلظت نمک در محلول غذایی، پتانسیل اسمزی محلول افزایش یافته است، جذب آب کم شده و به دنبال آن فشار آماس یاخته‌ها نیز کاهش می‌یابد. خروج آب از یاخته‌ها بازدارندهٔ رشد آن‌ها می‌شود، از سوی دیگر، با کوچک شدن و ریزش برگ‌ها، منبع تولید مواد پرورده (آسیمیلات‌ها) در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین میزان موادی که به یاخته‌ها می‌رسد به مراتب کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند که در نهایت هم شمار و هم‌اندازهٔ یاخته‌ها کاهش می‌یابد. افزایش غلظت سیلیسیم در محلول غذایی، وزن تر و خشک گیاه را در شرایط شوری به‌طور کامل معنی‌داری افزایش داد. این یافته‌ها با نتایج آزمایش‌های دیگر پژوهشگران همخوانی دارد. در کدوی زوچینی در شرایط تنش شوری، سیلیسیم وزن تر و خشک همهٔ بخش‌های گیاه را افزایش داد (Savvas, 2009). در لوبیا شوری باعث کاهش رشد و سرعت نورساخت شد و سیلیسیم باعث افزایش سرعت نورساخت و بهبود رشد شد (Zuccarini, 2008).

بنابر نتایج به‌دست‌آمده شوری باعث کاهش محتوای نسبی آب شد ولی کاربرد سیلیکات پتاسیم محتوای نسبی آب در سطوح بالای شوری را افزایش داد. کاهش محتوای رطوبت نسبی می‌تواند در نتیجهٔ کاهش دسترسی به آب در نتیجهٔ افزایش پتانسیل اسمزی ناشی از وجود نمک باشد. افزودن سیلیسیم به محلول غذایی، با بهبود وضعیت آبی گیاه، محتوای رطوبت نسبی برگ را افزایش می‌دهد (Kaya *et al.*, 2006). گزارش شده است که در ذرت کاربرد ۲ میلی‌مولار سیلیکات سدیم محتوای نسبی آب برگ را ۲۶/۵درصد افزایش داد (Kaya *et al.*, 2006). همچنین کاربرد سیلیسیم محتوای نسبی آب در آفتابگردان را افزایش داده است (Gunes *et al.*, 2008).

شوری در این گیاه نفوذپذیری و پراکسیداسیون چربی (لیپید)ها و سطح مالون‌دی‌آلدئید را افزایش داد که استحکام و عمل غشا تحت تأثیر قرارگرفته و کاربرد سیلیسیم باعث استحکام غشا و کاهش نفوذپذیری و پراکسیداسیون چربی‌ها شده است. یکی از اثرگذاری‌های تجمع اکسیژن آزاد در یاخته‌های گیاهی در شرایط تنش‌زا، پراکسیداسیون چربی‌هاست که با اکسایش (اکسیداسیون) اسیدهای چرب اشباع‌نشده همراه بوده و باعث تخریب غشا و نشت الکترولیت‌ها خواهد شد (Liang, 1999). در جو شوری باعث افزایش محتوای مالون‌دی‌آلدئید شد و کاربرد سیلیسیم محتوای مالون‌دی‌آلدئید را کاهش داد (Liang, 1999). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، کاهش پراکسیداسیون چربی‌ها در گیاهان تیمارشده با سیلیکون نشان‌دهندهٔ تقویت سازوکارهای مقاومتی (به احتمال ترشح اسیدهای آلی) در این گیاهان است.

در این پژوهش شوری موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها شد و کاربرد سیلیسیم موجب جلوگیری از نشت الکترولیت‌ها شد. به‌احتمال میزان اشباع فسفولیپیدها با افزایش شوری زیاد شده، در نتیجه حالت سیالیت غشا کاهش یافته و درنهایت نشت آن افزایش پیدا کرده است. سیلیسیم به صورت سیلیکا در آپوپلاست دیوارهٔ یاخته‌ای رسوب کرده و باعث استحکام بافت می‌شود (Sang *et al.*, 2002). در

Archive of SID

www.SID.ir

پژوهشی شوری موجب افزایش نشت الکترولیت‌ها در جو شده و سیلیسیم موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها شد (Liang *et al.*, 1996).

در این پژوهش با افزایش شوری میزان رنگیزه‌های نورساختی کاهش یافته و کاربرد سیلیکات پتاسیم موجب افزایش این رنگیزه‌ها و تعدیل تأثیر شوری شد. پایداری سبزینه‌ها به‌عنوان شاخصی از مقاومت گیاه به تنش است. کاهش میزان رنگیزه‌های نورساختی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌طور عمده به دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست‌ها و دستگاه نورساختی، اکسایش نوری (فتواکسیداسیون) سبزینه‌ها، واکنش آن‌ها با رادیکال اکسیژن، تخریب پیش ماده‌های ساخت (سنتز) سبزینه‌ها و جلوگیری از زیست‌ساخت (بیوسنتز) سبزینه‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کنندهٔ سبزینه‌ها از جمله کلروفیلاز و اختلال‌های هورمونی باشد (Sultan, 2005). افزون بر این، تنش شوری در جذب برخی عنصرهای ضروری مانند آهن و منیزیم اختلال ایجاد می‌کند که این عنصرها در ساخت سبزینه‌ها ضروری هستند (Neocleous & Vasilakakis, 2007). کاهش میزان کاروتنوییدها در شرایط تنش نیز به علت تجزیهٔ بتاکاروتن و تشکیل زئازانترین در چرخهٔ گزانتوفیل است (Sultan, 2005). از جمله دلایل افزایش میزان سبزینه‌ها در تیمار سیلیکون می‌توان به تأثیر سیلیکون در افزایش کارایی نظام نوری (فتوسیستم) II اشاره کرد که توسط آل-آقابای و همکاران در گیاه گوجه‌فرنگی که در شرایط تنش شوری قرار گرفته بود گزارش شده است (Al-aghabary *et al.*, 2004).

در این پژوهش با افزایش شوری میزان پرولین در گیاه افزایش یافت و کاربرد سیلیسیم باعث کاهش این میزان شد. در شرایط تنش شوری میزان تولید پرولین برای ایجاد مقاومت در گیاه و شرکت در فرآیند تنظیم اسمزی افزایش می‌یابد (Vendruscolo *et al.*, 2007). در پژوهشی که در گندم در شرایط تنش خشکی انجام شد سیلیسیم با بالا بردن محتوای تنظیم‌کننده‌های اسمزی (پرولین و گلیسین بتائین) و حفظ تعادل آبی یاخته از کاهش شدید محتوای نسبی آب برگ جلوگیری کرده و این موضوع سبب پایداری ساختار یاخته در برابر تنش کم‌آبی شد (Tala ahmad & Haddad, 2010). در این پژوهش شوری موجب کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز شد و کاربرد سیلیسیم موجب افزایش فعالیت آن‌ها شد. گیاهان به‌منظور خنثی کردن تأثیر سمی گونه‌های واکنش‌زای اکسیژن از دو سامانهٔ پاداکسندگی آنزیمی و غیر آنزیمی استفاده می‌کنند. آنزیم‌های پاداکسنده (آنتی‌اکسیدانت) به‌عنوان سریع‌ترین واحدهای رویارویی کننده در برابر حمله اکسیژن‌های فعال به شمار می‌آید (Dirk & Montago, 2003). در پژوهشی تنش شوری در گوجه‌فرنگی باعث کاهش در فعالیت آنزیم کاتالاز شد درحالی‌که تیمار سیلیکون فعالیت این آنزیم را افزایش داد (Al-aghabary *et al.*, 2004). آنزیم کاتالاز می‌تواند بدون نیاز به عامل احیاء کننده، پراکسیدهیدروژن[1] موجود در یاخته را به آب و اکسیژن تبدیل کند. بنابراین با افزایش میزان کاتالاز به دلیل نقش آن در زدودن پراکسیدهیدروژن از محیط، به کاهش تنفس نوری و کاهش نقطه جبران دی‌اکسیدکربن نیز کمک می‌کند و کاتالاز افزون بر اینکه پراکسیدهیدروژن را از محیط حذف می‌کند کمبود اکسیژن حاصل از واکنش مهلر را نیز جبران می‌کند. بنابراین ارتباط بین تحمل به شوری در نتیجهٔ اعمال سیلیسیم با فعالیت آنزیم کاتالاز ممکن است افزون بر نقش پاداکسندگی آن، به نحوهٔ عمل این آنزیم در کاهش تنفس نوری مرتبط باشد. سیلیکون با کاهش نفوذپذیری غشای یاخته‌ای و حفاظت از ساختار یاخته‌ای، با افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسنده (کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز)، تنش شوری را در ذرت متعادل می‌سازد (Helal Ragab, 2006). استفاده از سیلیسیم فعالیت کاتالاز و پراکسیداز را افزایش داده و منجر به محدود شدن گونه‌های آزاد اکسیژن می‌شود.

در این پژوهش شوری موجب کاهش جذب پتاسیم و افزایش میزان یون سدیم در این گیاه شد و کاربرد سیلیسیم موجب کاهش میزان سدیم و افزایش پتاسیم شد. درواقع سیلیسیم با افزایش پتاسیم و کاهش جذب یون سدیم سبب کاهش تأثیر زیانبار

1. H_2O_2

Archive of SID

www.SID.ir

شوری شد. در شرایط شور جذب پتاسیم توسط یاخته‌های ریشه در نتیجهٔ رقابت با سدیم کاهش می‌یابد (Marschner, 1995). گزارش‌های اثر متقابل شوری و سیلیسیم در گیاهان بسیار محدود هستند. در پژوهشی سیلیسیم موجب کاهش تجمع سدیم در گیاه جو شد (Liang, 1999). گزارش شده است که بخش زیادی از سدیم از راه غیرفعال توسط گیاهان جذب شده و فرآیند جذب آن متأثر از جریان تعرق است، در نتیجه کاهش جذب سدیم می‌تواند ناشی از تأثیر سیلیسیم بر میزان تعرق باشد (Marschner, 1995).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، نشان‌دهندهٔ تأثیر سودمند سیلیسیم در شرایط تنش شوری بود. اگرچه تأثیرسودمند سیلیسیم در شرایط شاهد نیز محسوس بود ولی به نظر می‌رسد هنگامی‌که گیاه در معرض شرایط تنش قرار می‌گیرد، تأثیر سودمند سیلیسیم چشمگیرتر است. از این دیدگاه کاربرد سیلیسیم به‌ویژه هنگامی‌که گیاه در معرض انواع تنش‌های مختلف قرار گرفته شایستهٔ توجه بیشتری است.

REFERENCES

1. Al-aghabary, K., Zhujun, Z. & Qinhua, S. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 2101-2115.
2. Bates, L. S., Waldron, R. P. & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-217.
3. Buege, J. A. & Aust, S. D. (1978). Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzyme*, 52, 302-310.
4. Campbell, C. R. & Plank, C. O. (1998). Preparation of plant tissue for laboratory analysis. In *Handbook of reference methods for plant analysis*, ed. Y. P. Kalra, 37–49. Boca Raton, Fl.: CRC Press.
5. Chance, B. & Maehly, A. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-817.
6. Dadras, N., besharati, H. & Ketabchi, S. (2001). Effects of salinity of NaCl on growth and N biological fixation in tree cultivar of glycine. *Journal Researches of Soil*, 26, 165-174. (in Farsi)
7. Dirk, I. & Montago, M. V. (2003). *Oxidative Stress in Plants*. CRC Press.
8. Evans, W. C. (1996). Pharmacognosy. *Volatile Oils and Resins*. 14th Edition. John Wiley. New York. 450 pp.
9. Gunes, A., Kadioglu, Y. K., Pilbeam, D. J., Inal, A., Coban, S. & Aksu, A. (2008). Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 1904-1927.
10. Haghighi, M. & 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
11. Helal Ragab, M. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture & Biology*, 8(2), 293-297.
12. Jafarzadeh, A. A. & Aliasgharzad, N. (2007). Salinity and salt composition effects on seed germination and root length of four sugar beet cultivars, Proceeding of "Bioclimatology and Natural Hazards" *International Scientific Conference*, Po_ana nad Detvou, Slovakia, September. 17-20.
13. Kaya, C., Tuna, L. & Higgs, D. (2006). Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water stress condition. *Journal Plant Nutrition*, 29, 1469-1480.
14. Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic bio-membranes. In: *Method in Enzymol*. (eds.s.p.colowick and N.O. Kaplan) Academic press. New York. 48, 350-382.
15. Liang, Y. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant Soil*, 209, 217-224.
16. Liang, Y. C., Shen, Q. R. Shen, Z. G. & Ma, T. S. (1996). Effects of silicon on salinity tolerance of two barely cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 19, 173-183.
17. Lutts, S., Kinet, J. M. & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senesence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Annals of Botany*, 78,389-398.
18. Ma, J. F. & Takahashi, E. (2002). *Soil Fertilizer and plant silicon research in japan*. Elsevier. The Netherlands. 281p.
19. Motsara, M. R. & Roy, R. N. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis. 220.
20. Munns, R. & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
21. MacAdam, J. W., Nelson, C. J. & Sharp, R. E. (1992). Peroxidase Activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant Physiology*, 99, 872-878.

Archive of SID

www.SID.ir

22. Mateos-Naranjo, E., Andrade's-Moreno, L. & Davy, A. J. (2013). Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 115-121.
23. Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants.* (2nd Ed.). Academic Press. London. Pp 674.
24. Neocleous, D. & Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. "Autumn Bliss"). *Scientia Horticulturae*, 112, 282-289.
25. Omidbaigi, R. & Rezaei Nejad, A. (2000). The influence of nitrogen-fertilizer and harvest time on the productivity of *Thymus vulgaris* L. *International Journal of Horticultural Science*, 6, 43-46.
26. Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. & Armand, N. (2012). Effects of salt stress and silicon nutrition on chlorophyll content, yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(21), 1591-1595.
27. Rajeswara Rao, B. R. (2002). Biomass yield essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacing and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). *Industrial Crops and Products*, 16, 133-144.
28. Rezaei Nejad, A. & Ismaili, A. (2014). Changes in growth, essential oil yield and composition of geranium (*Pelargonium graveolens* L.) as affected by growing media. *Journal Science Food Agriculture*, 94, 905-910.
29. Ritchie, S. W. & Hanson, A. D. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111.
30. Sultan, A. (2005). Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*, 42(3), 211-220.
31. Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M. & Patakioutas, G. (2009). Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 11-17.
32. Sang, G. K., Ki, W. K., Eun, W. P. & Doil, C. (2002). Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast. *Phytopathology*, 92, 1095-1103.
33. Tala ahmad, S. & Haddad, R. (2010). Effect of silicon on antioxidant enzyme and osmotic regulator in 2 genotype of wheat in drought tolerance. *Journal of Nahal & Bazr*, 2-26(2), 207-225.(in Farsi)
34. Vendruscolo, E. C. G., Schuster, I., Pilegg, M., Scapim, C. A., Molinari, H. B. C., Marur, C. J. & Vieira, L. G. E. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physology*, 164(10), 1367-1376.
35. Yamaguchi, T. & Blumwald, E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: Challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 12, 615-620.
36. Yamasaki, S. & Dillenburg, L. C. (1999). Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. Revista *Brasilian Fisiologia Vegetal*, 11, 69-75.
37. Zuccarini, P. (2008). Effect of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *haseolus vulgaris* under NaCl stress, *Biologia Plantarum*, 52(1), 157-160.

Archive of SID

www.SID.ir