

تأثیر سیلیسیک اسید بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شمع‌دانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) تحت تنش شوری ناشی از کلرید کلسیم

فاطمه حسونند^۱، عبدالحسین رضایی‌نژاد^{۱*} و محمد فیضیان^۲

^۱ خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

^۲ خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۲۹

چکیده

پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر سیلیسیک اسید بر پاسخ‌های گیاه شمع‌دانی معطر به شوری ناشی از کلرید کلسیم انجام شد. آزمایش بصورت گلدانی، هیدروپونیک درون ماسه و بر اساس فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار انجام شد. فاکتورها شامل کاربرد روزانه کلرید کلسیم در سه غلظت صفر (شاهد)، ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار و کاربرد هفتگی سیلیسیک اسید در سه غلظت صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار در محلول غذایی بود. نتایج نشان داد که افزایش شوری باعث کاهش پارامترهای رشد مانند ارتفاع و قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، وزن خشک ساقه، برگ و کل گیاه شد. درحالی‌که سیلیسیک اسید اثرات تنش را تعدیل کرد، بطوری‌که در همه سطوح شوری تیمار سیلیسیک اسید بخصوص با غلظت یک میلی‌مولار باعث افزایش رشد، وزن خشک گیاه و شاخص مقاومت به تنش شد. کلرید کلسیم تنها در غلظت ۳۰ میلی‌مولار باعث کاهش درصد اسانس شد و سیلیسیک اسید تأثیری در درصد اسانس نداشت. اما افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی باعث کاهش عملکرد اسانس در بوته شد و در همه سطوح کلرید کلسیم، غلظت یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش عملکرد اسانس در بوته شد. بطورکلی نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلرید کلسیم باعث ایجاد تنش در شمع‌دانی معطر شده و کاربرد هفتگی سیلیسیک اسید با غلظت یک میلی‌مولار باعث کاهش اثرات تنش و افزایش شاخص مقاومت به تنش شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، سیلیسیم، شوری، کلرید کلسیم

نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۶۳۳۴۳۱۹۱۷، پست الکترونیکی: Rezaeinejad.Hossein@gmail.com

مقدمه

وسعت زیاد زمین‌های شور و توسعه روزافزون آن، همچنین کمبود منابع آب شیرین، توجه زیادی را به مباحث مربوط به شوری معطوف کرده است (۲۲). اصطلاح شوری مربوط به وجود کلیه یون‌های غیر آلی شامل SO_4^{2-} ، HCO_3^- ، K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} و Na^+ و Cl^- موجود در آب‌های سطحی و زیرزمینی است (۱۲). علیرغم اینکه کلرید کلسیم در غلظت‌های بالاتری نسبت به کلرید سدیم در خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی بسیاری مناطق دنیا وجود دارد (۱۸)، بیشتر مطالعات در خصوص شوری بر روی کلرید سدیم انجام شده است و مطالعات کمی به بررسی اثر شوری ناشی

شمع‌دانی معطر (*Pelargonium graveolens* L.) گیاهی چندساله از تیره Geraniaceae است. اسانس آن دارای بوی خوش شبیه بوی رز است که بطور وسیعی در صنایع عطرسازی، آرایشی و بهداشتی، غذایی و داروسازی استفاده می‌شود (۲۵). رشد و میزان اسانس در گیاهان معطر تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی از جمله ژنتیک گیاه، عمر برگ، تغذیه، تنش‌های محیطی، زمان برداشت و... قرار می‌گیرد (۲۴).

تنش شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد گیاهان را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از کلرید کلسیم بر رشد و فیزیولوژی گیاه پرداخته‌اند (۳۳). شوری از دو طریق 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 (بدلیل غلظت بالای یون‌های سمی، مانند کلر و سدیم) باعث ایجاد خسارت و تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در گیاه می‌شود (۱۹). در تنش شوری ناشی از کلرید سدیم، سمیت ناشی از یون سدیم تأثیر مخرب زیادی بر رشد گیاه ایجاد می‌کند.

تأثیر کلرید کلسیم در گیاه بستگی به میزان غلظت به‌کاربرده شده و گونه گیاهی دارد. مطالعاتی در زمینه اثرات بهبوددهنده کلسیم روی رشد گیاهان زراعی در محیط‌های شور ناشی از کلرید سدیم انجام شده از جمله در گوجه‌فرنگی با غلظت ۵ میلی‌مولار کلسیم (۵)، گندم با غلظت ۵ میلی‌مولار (۱۳)، طالبی با غلظت ۳/۵ میلی‌مولار (۳۵) باعث کنترل شوری شده است. اما در پژوهشی بر روی خیار گزارش شد که شوری ناشی از کلرید کلسیم با غلظت ۲۰ میلی‌مولار موجب کاهش عملکرد شده و این تأثیر به کاهش هدایت الکتریکی و تأثیر سمی یون کلر نسبت داده شد (۹).

سیلیسیم دومین عنصر فراوان پسته زمین بعد از اکسیژن است (۸). مطالعات متعدد نشان داده است که این عنصر اثرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد (۲۰). همچنین سیلیسیم استحکام دیواره سلول‌های اپیدرمی را افزایش می‌دهد. در نتیجه گیاه در برابر از دست رفتن آب بوسیله تعرق کوتیکولی محافظت شده و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های خشکی و شوری افزایش می‌یابد (۲).

هدف از انجام پژوهش حاضر، مطالعه تأثیر شوری ناشی از کلرید کلسیم و همچنین کاربرد سیلیسیک اسید بر رشد، عملکرد و تولید اسانس شمعدانی معطر بود.

مواد و روشها

این پژوهش بر روی گیاه شمعدانی معطر در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۳ در گلخانه‌ی پژوهشی دانشکده

کشاورزی دانشگاه لرستان انجام گرفت. ابتدا گیاهان مورد نظر از طریق قلمه، از یک گیاه مادری در همان گلخانه، با استفاده از هورمون اکسین با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در بستر ماسه بمدت چهار هفته ازدیاد شدند. سپس قلمه-های ریشه‌دار شده به گلدانهای با قطر ۲۲ سانتی‌متر حاوی ماسه انتقال داده شدند و تا استقرار کامل که حدود سه هفته طول کشید با محلول نیم‌هواگلدن دو بار در روز (صبح و عصر) به میزان ۲۰۰ میلی‌لیتر در هر گلدان تغذیه شدند. سپس تیمار شوری ناشی از کلرید کلسیم با حل کردن نمک کلرید کلسیم در محلول غذایی اعمال شد. آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. تیمار شوری در سه سطح شامل کلرید کلسیم صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار بود که بترتیب باعث ایجاد هدایت الکتریکی ۱/۸، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر شد. محلول غذایی حاوی کلرید کلسیم هر روز دو بار به میزان ۲۰۰ سی‌سی در گلدان اعمال شد. جهت جلوگیری از تجمع نمک، شست‌وشوی بستر کاشت با آب شهری (به میزان دو لیتر در هر گلدان) یک ساعت قبل از اعمال تیمار شوری بصورت هفتگی صورت گرفت. تیمار سیلیسیم بصورت سیلیسیک اسید در سه سطح صفر، ۰/۵ و یک میلی‌مولار با حل کردن سیلیسیک اسید در محلول غذایی بصورت هفتگی اعمال شد. علت استفاده از سیلیسیک اسید، حلالیت خوب آن در محلول غذایی بدون ایجاد رسوب است، ضمن اینکه این ماده اسیدی ضعیف بوده و pH محلول غذایی را کمی اسیدی می‌کند. لذا pH محلول نهایی در همه سطوح با استفاده از اسید کلریدریک بر روی ۵/۸ تنظیم شد. اعمال تیمارها از زمان استقرار گیاهان در گلدان بمدت ۱۲ هفته انجام شد. سپس ویژگی‌هایی نظیر ارتفاع ساقه اصلی، قطر ساقه اصلی، تعداد و طول شاخه‌های جانبی، و تعداد و سطح برگ (بوسیله دستگاه سطح برگ سنج مدل دلتا تی اسکن) اندازه‌گیری شدند. گیاهان از سطح خاک از محل طوقه قطع شده و بلافاصله وزن‌تر برگ و ساقه و ریشه آنها بوسیله

تجزیه و تحلیل داده‌ها از جمله آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام و نمودارها با نرم‌افزار Prism 5 رسم شدند.

نتایج

ویژگی‌های رشدی: نتایج نشان داد که افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی سبب کاهش ارتفاع و قطر ساقه شد (جدول ۱). در غلظت صفر و ۱۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم، تنها استفاده از سیلیسیک اسید یک میلی‌مولار سبب افزایش ارتفاع گیاه در مقایسه با گیاهان شاهد شد. در غلظت ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، سیلیسیک اسید تأثیری بر ارتفاع گیاه نداشت (جدول ۱). همچنین در غلظت صفر میلی‌مولار کلرید کلسیم، کاربرد سیلیسیک اسید ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌طور یکسانی باعث افزایش قطر ساقه در مقایسه با گیاهان شاهد شد. در غلظت ۱۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم، سیلیسیک اسید ۰/۵ باعث افزایش قطر ساقه شد. در غلظت ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، هردو غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش قطر ساقه در مقایسه با شاهد شدند ولی تأثیر غلظت یک میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۱).

افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی سبب کاهش تعداد و طول شاخه‌های جانبی شد (جدول ۱). در غلظت ۱۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم، سیلیسیک اسید ۰/۵ و یک میلی‌مولار به‌طور یکسانی باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی شدند. در غلظت ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، هردو غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش تعداد شاخه‌های جانبی در مقایسه با شاهد شدند ولی تأثیر غلظت یک میلی‌مولار بیشتر بود (جدول ۱). همچنین در غلظت صفر و ۱۵ میلی‌مولار کلرید کلسیم، بترتیب سیلیسیک اسید یک و ۰/۵ میلی‌مولار سبب افزایش طول شاخه‌های جانبی در مقایسه با گیاهان شاهد شدند و در غلظت ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، هردو غلظت ۰/۵ و

ترازوی دیجیتال به دقت اندازه‌گیری شد. بوته‌های برداشت شده در دمای اتاق و شرایط سایه بمدت دو هفته خشک شده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. سپس استخراج و اندازه‌گیری میزان (درصد) اسانس در برگهای خشک شده در سایه به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه اسانس‌گیر (Clevenger) انجام شد به اینصورت که ده گرم از برگهای خشک شده را در درون بالن دستگاه ریخته و روی آن ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و بمدت سه ساعت عمل اسانس‌گیری انجام شد. سپس با توجه به مدرج بودن ستون محل جمع‌آوری اسانس در دستگاه اسانس‌گیر، میزان اسانس برحسب میلی‌لیتر قرائت و برحسب درصد حجمی وزنی محاسبه و یادداشت شد. آزمایش‌های اولیه نشان داد که میزان اسانس در ساقه بسیار کم بوده و لذا اندازه‌گیری اسانس فقط در برگ‌ها صورت گرفت. عملکرد اسانس از حاصل ضرب میزان اسانس در وزن خشک برگ در بوته محاسبه و بر اساس میلی‌لیتر در بوته گزارش شد. شاخص مقاومت به تنش (Stress tolerance index) از تقسیم وزن خشک کل گیاه در تیمارهای مختلف بر وزن خشک کل گیاه در تیمار شاهد به دست آمد.

برای تعیین نفوذپذیری غشاء سلولی، بر اساس روش لوتس و همکاران (۱۹۹۶)، از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته، نمونه‌برداری شد. نمونه‌های برگگی در ابعاد یک سانتی‌متر مربع تهیه و جهت زدودن آلودگی‌های سطحی، سه بار با آب مقطر شسته شدند. سپس نمونه‌ها در داخل لوله‌های شیشه‌ای درپوش‌دار حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، بمدت دو ساعت در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. بعد از آن هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) توسط EC متر اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بمدت ۲۰ دقیقه قرار گرفته و بعد از سرد شدن در دمای اتاق، هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد نشت الکترولیت برگ از طریق رابطه زیر محاسبه شد (۱۶).

$$EL (\%) = (E_1/E_2) \times 100 \quad (1)$$

یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش طول شاخه-
های جانبی در مقایسه با شاهد شدند ولی تأثیر غلظت یک

جدول ۱- ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی شمعدانی معطر تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم و سیلیسیک اسید در محلول غذایی

کلرید کلسیم (mM)	سیلیسیم (mM)	ارتفاع گیاه (cm)	قطر ساقه (mm)	تعداد شاخه جانبی	طول شاخه جانبی (cm/plant)	سطح برگ (cm ² /plant)	تعداد برگ در بوته	وزن خشک برگ (g/plant)	وزن خشک ساقه (g/plant)	وزن خشک کل گیاه (g/plant)
۰	۰	۶۷/۳±۱/۷ ^{abcd}	۱۴/۲۳±۰/۲۵ ^d	۱۶/۴±۰/۳ ^a	۱۸۸/۹±۱/۴ ^b	۳۷۴۷±۶۱/۲ ^{cd}	۱۹۰±۱ ^b	۲۸/۹±۰/۳ ^b	۱۲/۱±۰/۴۳ ^a	۴۵/۴±۰/۵ ^a
۰/۵	۰/۵	۶۹/۴±۱/۸ ^{abc}	۲۰/۹۶±۰/۲۶ ^a	۱۵±۰/۰ ^b	۱۸۹/۷±۸/۳ ^b	۳۸۸۱±۲۵/۴ ^b	۱۸۱±۲ ^c	۲۵/۹±۰/۱ ^c	۱۱/۷±۰/۳۵ ^b	۴۰/۴±۰/۵ ^b
۱	۱	۷۴/۵±۲/۳ ^a	۲۱/۰۵±۰/۳۸ ^a	۱۶/۸±۰/۳ ^a	۲۰۷/۶±۸/۳ ^a	۴۰۸۱±۳۰/۴ ^a	۱۹۷±۲/۲ ^a	۳۰/۱±۰/۶ ^a	۱۱/۲±۰/۱۹ ^b	۴۴/۵±۱/۱ ^a
۱۵	۱۵	۶۵/۵±۲/۱ ^{cd}	۱۹/۶۸±۰/۲۲ ^b	۱۲/۲±۰/۴ ^d	۱۶۲/۲±۱/۷ ^c	۳۵۰۱±۲۸/۱ ^c	۱۴۸±۱ ^{ef}	۲۴/۱±۰/۳ ^d	۹/۱±۰/۱۵ ^{cd}	۳۶/۲±۰/۴ ^c
۰/۵	۰/۵	۶۲/۴±۰/۵ ^{de}	۲۱/۱۹±۰/۲۱ ^a	۱۴/۴±۰/۲ ^{bc}	۱۸۸/۲±۲/۵ ^b	۳۶۷۴±۱۷/۳ ^d	۱۶۲±۲/۴ ^d	۲۱/۹±۰/۳ ^c	۹/۷±۰/۰۷ ^c	۳۵/۸±۰/۳ ^c
۱	۱	۷۲/۴±۲/۷ ^{ab}	۲۰/۸۹±۰/۶۰ ^b	۱۵±۰/۲ ^b	۱۷۲/۱±۳/۱ ^c	۳۸۲۲±۳۱/۷ ^{bc}	۱۵۴±۵ ^e	۲۸/۲±۰/۴ ^b	۹/۴±۰/۲۳ ^c	۴۱/۱±۰/۷ ^b
۳۰	۳۰	۵۶/۸±۱/۸ ^f	۱۷/۲۰±۰/۳۹ ^c	۵/۸±۰/۳ ^f	۹۷/۹±۱/۸ ^c	۲۷۶۹±۶۴/۷ ^h	۱۲۰±۲/۹ ^g	۱۷/۴±۰/۲ ^f	۷/۱±۰/۱۵ ^e	۲۶/۳±۰/۳ ^c
۰/۵	۰/۵	۵۹±۱ ^{ef}	۱۹/۵۵±۰/۴۰ ^b	۱۰/۴±۰/۶ ^e	۱۲۶/۵±۱/۷ ^d	۳۰۱۶±۱۶/۳ ^g	۱۲۶±۱ ^e	۱۶/۹±۰/۲ ^f	۷/۳±۰/۱۵ ^e	۲۷/۲±۰/۳ ^c
۱	۱	۵۹/۶±۱/۱ ^{ef}	۲۱/۴۳±۰/۱۶ ^a	۱۳/۴±۰/۴ ^c	۱۲۷/۱±۱/۵ ^d	۳۳۰۰±۵۵/۲ ^f	۱۴۵±۲/۲ ^f	۲۱/۰±۰/۴ ^e	۸/۶±۰/۱۳ ^d	۳۲/۵±۰/۵ ^d

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ می‌باشند. هر عدد نشان‌دهنده میانگین پنج تکرار ± خطای استاندارد می‌باشد

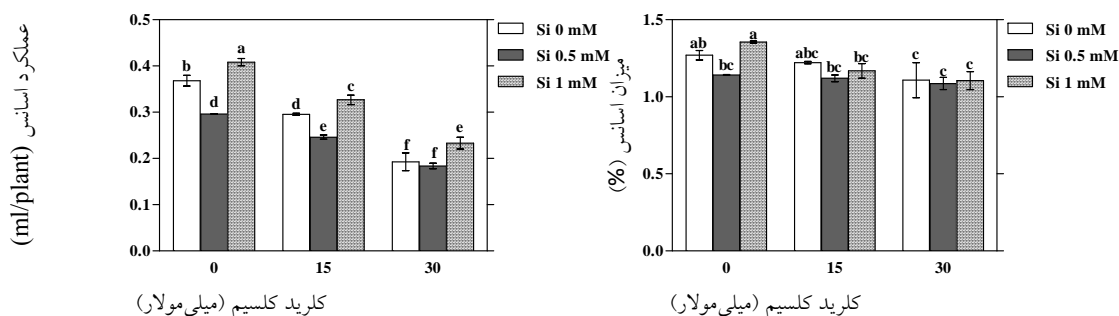
غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، سیلیسیک اسید تنها در غلظت یک میلی‌مولار باعث افزایش وزن خشک کل بوته گردید (جدول ۱).

میزان (درصد) و عملکرد اسانس: نتایج نشان داد که افزایش شوری ناشی از کلرید کلسیم تا غلظت ۱۵ میلی‌مولار تأثیری بر میزان اسانس نداشت و تنها در غلظت ۳۰ میلی‌مولار باعث کاهش میزان اسانس در گیاهان شاهد شد (شکل ۱). همچنین سیلیسیک اسید تأثیر معنی‌داری بر میزان اسانس نداشت. اما افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی سبب کاهش عملکرد اسانس در بوته شد و در همه غلظت‌های کلرید کلسیم، تنها غلظت یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش عملکرد اسانس در بوته در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱).

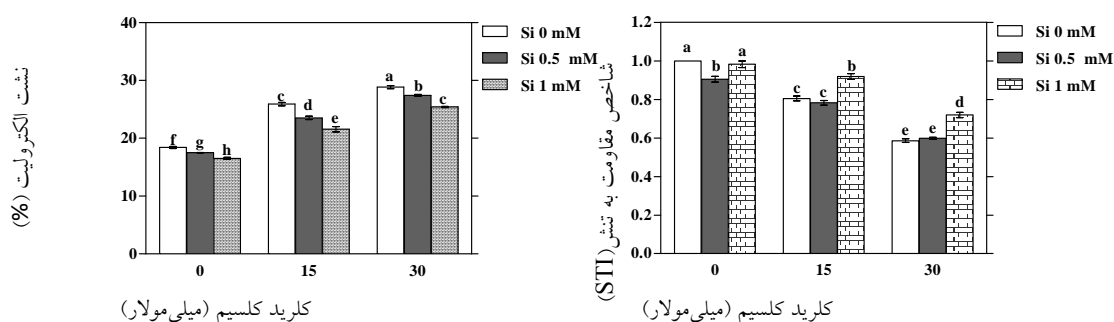
نشت الکترولیت: نتایج نشان داد که افزایش شوری ناشی از کلرید کلسیم سبب افزایش نشت الکترولیت‌ها شد (شکل ۲). در همه غلظت‌های کلرید کلسیم، استفاده از سیلیسیک اسید در مقایسه با گیاهان شاهد سبب کاهش نشت الکترولیت‌ها شد و تأثیر سیلیسیم یک میلی‌مولار بیشتر از ۰/۵ میلی‌مولار بود (شکل ۲).

افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی سبب کاهش تعداد و سطح برگ در بوته شد (جدول ۱). در همه غلظت‌های کلرید کلسیم، هردو غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش سطح برگ در بوته در مقایسه با شاهد شدند ولی تأثیر غلظت یک میلی‌مولار بیشتر بود. در غلظت صفر میلی‌مولار کلرید کلسیم، هردو غلظت ۰/۵ و یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش تعداد برگ در بوته در مقایسه با شاهد شدند ولی تأثیر غلظت یک میلی‌مولار بیشتر بود. همچنین در غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، بترتیب سیلیسیک اسید ۰/۵ و یک میلی‌مولار سبب افزایش تعداد برگ در بوته در مقایسه با گیاهان شاهد شدند (جدول ۱).

افزایش غلظت کلرید کلسیم در محلول غذایی سبب کاهش وزن خشک برگ و ساقه در بوته و وزن کل گیاه شد (جدول ۱). در همه غلظت‌های کلرید کلسیم، تنها غلظت یک میلی‌مولار سیلیسیک اسید باعث افزایش وزن خشک برگ در بوته در مقایسه با شاهد شد. همچنین در خصوص وزن خشک ساقه، سیلیسیک اسید تنها در غلظت یک میلی‌مولار و در شوری بالا (۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم) باعث افزایش وزن خشک ساقه گردید. علاوه بر این در



شکل ۱- میزان و عملکرد اسانس در شمع‌دانی معطر تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم و سیلیسیک اسید در محلول غذایی. نوارهای عمودی نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن نیستند.



شکل ۲- نشت الکترولیت‌ها و شاخص مقاومت به تنش در شمع‌دانی معطر تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کلسیم و سیلیسیک اسید در محلول غذایی. نوارهای عمودی نشان‌دهنده‌ی خطای استاندارد می‌باشد. میانگین‌های با حداقل یک حرف مشترک دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون دانکن نیستند.

شوری، نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت اما با کاربرد سیلیسیک اسید نشت الکترولیت‌ها کاهش یافت. تنش شوری از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیک، مانند فتوسنتز، میزان رشد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (۳۴). پژوهش‌ها نشان می‌دهد در اثر تنش شوری ارتفاع گیاه و سطح برگ خیلی سریع‌تر از سایر پارامترهای فنولوژیکی کاهش می‌یابد، زیرا تجمع ماده خشک، حاصل میزان فتوسنتز خالص و سطح فتوسنتز کننده گیاهی می‌باشد (۶). بطورکلی، کاهش سطح برگ در گیاهان می‌تواند در اثر کاهش در اندازه برگ، کاهش در تولید برگ و نهایتاً ریزش برگ‌های پیر باشد. کاهش سرعت رشد برگ بعد از اعمال شوری عمدتاً به علت اثر اسمزی نمک در اطراف ریشه (ریزوسفر) می‌باشد. بعلاوه، افزایش ناگهانی شوری بستر رشد باعث می‌شود که سلول‌های برگ بطور موقت آب خود

شاخص مقاومت به تنش: نتایج نشان داد که افزایش شوری ناشی از کلرید کلسیم سبب کاهش شاخص مقاومت به تنش شد (شکل ۲). در غلظت‌های ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار کلرید کلسیم، سیلیسیک اسید تنها در غلظت یک میلی‌مولار باعث افزایش شاخص مقاومت به تنش گردید (شکل ۲).

بحث

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، تنش شوری ناشی از کلرید کلسیم بر خصوصیات رشدی و میزان و عملکرد اسانس گیاه شمع‌دانی معطر مؤثر بود، بطوریکه با افزایش میزان شوری، کاهش معنی‌داری در خصوصیات رشدی بویژه ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، میزان و عملکرد اسانس در گیاه مشاهده شد و کاربرد سیلیسیک اسید، این اثرات منفی را بهبود بخشید. با افزایش میزان

دیگر، با کوچک شدن و ریزش برگ‌ها، منبع تولید آسیمیلات‌ها در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار موادی که به سلول‌ها می‌رسد به مراتب کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند که در نهایت هم تعداد و هم اندازه سلول‌ها کاهش می‌یابد. کاهش وزن تر و خشک گل در گل بابونه تحت تأثیر شوری گزارش شده است (۲۶). افزایش غلظت سیلیسیم در محلول غذایی، وزن تر و خشک برگ و ریشه را در شرایط شوری بطور کاملاً معنی‌داری افزایش داد. این یافته با نتایج آزمایش‌های دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد. در خیار، شوری باعث کاهش وزن خشک ریشه و شاخساره، طول ریشه و ارتفاع ساقه شد و کاربرد سیلیسیم باعث افزایش این ویژگی‌ها شد (۴). در اسفناج تحت تنش شوری کل وزن خشک ۴۴ درصد کاهش داشت که مصرف ۵۰۰ میکرومولار سیلیسیم باعث جبران این اثرات شد (۱۷). در کدوی زوجینی تحت تنش شوری، سیلیسیم وزن تر و خشک همه بخش‌های گیاه را افزایش داد (۲۹). در ریحان تحت تنش شوری، وزن تر و خشک کاهش یافت و سیلیسیم باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه شد (۱۴). در لوبیا شوری باعث کاهش رشد و سرعت فتوسنتز شد و سیلیسیم باعث افزایش سرعت فتوسنتز و بهبود رشد شد (۳۷).

در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی در گیاه مورد بررسی، عملکرد اسانس کاهش یافت، اما کاربرد سیلیسیک اسید موجب بهبود عملکرد اسانس شد. شوری اثرات متفاوتی بر محتوا و ترکیب اسانس گیاهان مختلف دارد. شوری عملکرد اسانس را در مریم‌گلی کاهش داد اما در گل صدتومانی عملکرد اسانس را افزایش داد و در بنفشه اثری بر میزان اسانس نگذاشت (۷). همچنین کلرید سدیم، کلرید کلسیم و کلرید منیزیم بطور مشخص عملکرد اسانس را در بادرنجبویه (۲۳) و مریم‌گلی (۳۱) کاهش داده است. در گیاه نعناع و به‌لیمو (۳۲) شوری موجب کاهش میزان عملکرد اسانس شد. در پژوهشی که بر روی ریحان انجام

را از دست بدهند (کاهش فشار تورژسانس). با گذشت زمان، سرعت تقسیم و طویل شدن سلول‌ها کاهش یافته و نهایتاً این تغییرات منجر به کوچک‌تر شدن اندازه نهایی برگ می‌شود (۲۱). کاهش رشد برگ، سریع‌ترین پاسخ گیاه به شوری است (۲۸). یکی از اثرات اولیه شوری، کاهش مقدار آب بافت‌های گیاهی می‌باشد. به عبارت دیگر، شوری میزان انرژی لازم برای حفظ حالت طبیعی سلول را افزایش داده و در نتیجه انرژی کمتری برای نیازهای رشدی باقی می‌ماند (۲۸). در گیاه سویا، شوری موجب کاهش ارتفاع اندام هوایی به علت سمیت یونی عناصر زیان‌بار و اختلال در کلیه فعالیت‌های زیستی و متابولیکی گیاه و کاهش وزن اندام هوایی و ریشه به دلیل از بین رفتن تعادل یونی و تعادل اسمزی شد (۱).

وجود سیلیسیم در محلول غذایی و در شرایط شوری، تعداد و سطح برگ را بطور معنی‌داری افزایش داد. سیلیسیم با افزایش کارایی مصرف آب و بهبود محتوای رطوبت نسبی برگ در شرایط شوری و افزایش استحکام دیواره‌های سلولی و کاهش نشت الکترولیت‌ها، باعث افزایش فشار تورژسانس و افزایش اندازه برگ می‌شود. تأثیر سیلیسیم در افزایش فتوسنتز در سویا تحت تنش شوری به تأثیر آن در افزایش محتوای کلروفیل، آنتوسیانین و آنزیم‌های فتوسنتزی نسبت داده شد (۳۰). همچنین گزارش شده است که سیلیسیم از طریق افزایش خاموش‌شدگی غیرفتوشیمیایی (Non-photochemical quenching) باعث مقاومت به شوری و افزایش فتوسنتز می‌شود (۱۷). همچنین سیلیسیم با افزایش فتوسنتز باعث افزایش تعداد برگ و افزایش سطح برگ گیاه می‌شود (۲۱).

وزن تر و خشک برگ و ریشه نیز به شدت تحت تأثیر شوری قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که در تنش شوری با افزایش غلظت نمک در محلول غذایی، پتانسیل اسمزی محلول افزایش یافته، جذب آب کم شده و به دنبال آن فشار تورژسانس سلول‌ها نیز کاهش می‌یابد. خروج آب از سلول‌ها مانع از رشد آنها می‌شود از طرف

افزایش میزان شوری ناشی از کلرید کلسیم، میزان شاخص تحمل به تنش کاهش یافت و با کاربرد سیلیسیک اسید در تیمار شاهد این شاخص بهبود یافت و نیز در نمونه‌هایی که تیمار شوری ۱۵ و ۳۰ میلی‌مولار اعمال شد، کاربرد سیلیسیک اسید بیشتر مؤثر بوده و منجر به افزایش چشم‌گیر این شاخص شد.

در پژوهش حاضر مشاهده شد که با افزایش میزان شوری ناشی از کلرید کلسیم در گیاه، میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش یافت و کاربرد سیلیسیک اسید توانست نشت الکترولیت‌ها را کنترل کند. کاربرد سیلیسیک اسید از طریق جذب و رسوب در غشاء سلولی، سبب سیلیسی و سخت شدن می‌شود. این امر باعث می‌شود که در شرایط تنش، غشاء سلول پایداری خود را حفظ کند و میزان نشت مواد الکترولیتی بطور معنی‌داری کاهش یابد (۳۶).

بطور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش شوری ناشی از کلرید کلسیم، رشد و تولید ماده خشک گیاه را کاهش داد و کاربرد سیلیسیک اسید باعث بهبود این ویژگی‌ها شد. اگرچه اثرات مفید سیلیسیک اسید در گیاهان شاهد نیز محسوس بود، ولی بر اساس نتایج، زمانی که گیاه در معرض شرایط تنش قرار گرفت، اثرات سودمند سیلیسیک اسید چشمگیرتر بود. مصرف سیلیسیک اسید خصوصاً زمانی که گیاه در معرض انواع تنش‌های مختلف قرار می‌گیرد، شایسته توجه بیشتری است.

شد، اعمال تنش شوری موجب کاهش معنی‌دار اغلب ویژگی‌های رشدی و نیز میزان اسانس شد. بیشترین مقادیر اسانس و عملکرد در گیاهان شاهد بدست آمد (۳). کاهش عملکرد اسانس در نتیجه تنش شوری، بدلیل اثر زیان‌آور تنش بر رشد و عملکرد پیکر رویشی گیاه می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر با کاهش عملکرد پیکر رویشی گیاه شمع‌دانی معطر در شرایط شوری، عملکرد اسانس نیز کاهش می‌یابد. در پژوهشی بر روی رازیانه شوری باعث افزایش درصد میزان اسانس شد و سیلیسیم تأثیر معنی‌داری بر روی آن نداشت (۲۷). نتایج بیشتر پژوهش‌های انجام گرفته، حکایت از کاهش مقدار و عملکرد اسانس گیاهان در اثر شوری دارد. در پژوهشی، کاهش عملکرد اسانس در گیاهان خانواده نعناع تحت تأثیر شوری به محدود شدن انتقال سیتوکینین از ریشه‌ها به شاخه‌ها و در نتیجه تغییر نسبت بین سیتوکینین و اسید آبسزیک برگ نسبت داده شد (۱۰). به نظر می‌رسد با توجه به تأثیر سیلیسیم در رشد و نمو گیاه، می‌توان یکی از دلایل بیشتر شدن میزان اسانس را افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه دانست که این افزایش می‌تواند منجر به تولید بیشتر غده‌های ترشح‌کننده اسانس در برگ شود (۱۱).

شاخص تحمل به تنش، یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری میزان عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط طبیعی گیاه می‌باشد. در پژوهش حاضر مشاهده شد که با

منابع

- ۱- دادرس، ن، بشارتی، ح، کتابچی، س. ۱۳۹۱. اثرات تنش شوری ناشی از کلرید سدیم بر رشد و تثبیت بیولوژیک نیتروژن در سه رقم سویا. پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۶(۲): ۱۷۴-۱۶۵.
- ۲- طباطبایی، ج، فاطمی، ل، فلاحی، ا. ۱۳۸۸. اثر سیلیسیوم بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی. ۲۳(۱): ۸۸-۹۵.
- ۳- گوهری، غ، حسن پوراقدم، م، دادپور، م، شیردل، م. ۱۳۹۲. تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف روی بر ویژگی‌های رشدی و
- عملکرد اسانس ریحان در شرایط تنش شوری. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۴(۱۵): ۲۳-۱۵.
- ۴- محقق، پ، شیروانی، م، قاسمی، س. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد سیلیسیم بر رشد و عملکرد دو رقم خیار در سیستم هیدروپونیک. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱(۱): ۳۹-۳۵.
- ۵- مختاری، ا، گنجعلی، ع، ابریشم‌چی، پ. ۱۳۸۹. تأثیر بهبوددهنده کلرید و سولفات کلسیم بر رشد، میزان پروتئین‌های محلول، قندهای محلول، پرولین و برخی عناصر معدنی (سدیم، پتاسیم) در برگ گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum var*

- ۶- میرمحمدی میبدی، س ع م، قره یاضی، ب. ۱۳۸۱. جنبه‌های فیزیولوژیک و به‌نژادی تنش شوری گیاهان. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان. ۲۸۸ ص.
- 7- Bruria, H., Zohara, Y. and Israela, R. 2002. Effect of late salinization of chia (*Salvia hispanica*), stock (*Matthiola tricuspidata*) and evening primrose (*Oenothera biennis*) on their oil content and quality. *Industrial Crops and Products*, 15(2): 163-167.
- 8- Carter, CT., Grieve, CM, Poss, J.A. and Suarez, D.L. 2005. Production and ion uptake of *Celosia argentea* irrigated with saline wastewaters. *Scientia Horticulturae*, 106:381-394.
- 9- Colla, G., Roupael, Y., Rea, E. and Cardarelli, M. 2012. Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae*, 135: 177–185.
- 10- Dow, AI., Cline, TA., Horning, EV. 1981. Salt tolerance studies on irrigated mint. *Bulletin of Agricultural Research Center*. Washington State University. Pullman, 906p.
- 11- Evans, WC. 1996. *Pharmacognosy. Volatile Oils and Resins*. 14th Edition. John Wiley. New York, 450 pp.
- 12- Grattan, SR. and Grieve, CM. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78: 127-157.
- 13- Hawkins, H. J. and Lewis, O. A. M. 1993. Effect of NaCl salinity, nitrogen form, calcium and potassium concentration on nitrogen uptake and kinetics in *Triticum aestivum* L. cv. gamtoos, *New Phytologist*, 124, 171-177.
- 14- Kalteh, M., Alipour, Z., Ashraf, Sh., Marashi Aliabadi, M., and Falah Nosratabadi, A. 2014. Effect of silica Nanoparticles on Basil (*Ocimum basilicum*) Under Salinity Stress. *Journal of Chemical Health Risks*, 4(3): 49–55.
- 15- Kaya, C., Tuna, L., Higgs, D. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water – stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, 29:1469- 1480.
- 16- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Annals of Botany*, 78:389-398.
- 17- 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.
- 18- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plant*. Academic press. London.
- 19- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59:651–681.
- 20- Ma, JF. and Takahashi, E. 2002. *Soil Fertilizer and plant silicon research in japan*. Elsevier. The Netherlands, 281p.
- 21- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.
- 22- Niu, X., Bressan, RA., Hasegawa, PM. and Pardo, JM. 1995. Homeostasis in NaCl stress environment. *Plant Physiology*, 109: 735-742.
- 23- Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A., Gurbuz, B., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pakistan journal botany*, 36 (4): 787–792.
- 24- Omidbaigi, R. and 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.
- 25- Rajeswara Rao, BR. 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.
- 26- Razmjoo, K., P. Heydarizadeh and M.R. Sabzalian, 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomila*. *International journal of agriculture & biology*, 10:451-454.
- 27- Rahimi, R., Mohammakhani, A., Roohi, V. and 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.
- 28- Ritchie, SW., Hanson, AD. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30:105-111.
- 29- 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.
- 30- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E., Li, J., 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of plant physiology*, 167(15):1248-52.
- 31- Taarit, M., Msaada, K., Hosni, K., Marzouk, B., 2010. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. *Food Chemistry*, 119: 951–956.
- 32- Tabatabaie, J., Nazari, J. 2007. Influence of Nutrient Concentrations and NaCl Salinity on the Growth Photosynthesis and Essential oil Content of Peppermint and Lemon Verbena. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31: 245-253.
- 33- Trajkova, F. and Papadantonakis, N. 2006. Comparative effects of NaCl and CaCl₂ salinity on cucumber grown in a closed hydroponic system. *Hortscience*, 41(2): 437-441.
- 34- Yamaguchi, T., Blumwald, E. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: Challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 12: 615-620.
- 35- Yermiyahu, U., Nir, S., Ben-Hayyim, G., Kafkafi, U. and Kinraide, T. B. 1997. Root elongation in saline solution related to calcium binding to root cell plasma membranes, *Plant and Soil*, 191: 67-76.
- 36- Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. and Yu, J. 2004. Silicon alleviates salt stress and increase antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber. *Journal of Plant Science*, 167: 527-533.
- 37- Zuccarini P. 2008. Effect of silicon on photosynthesis, water relations and nutrient uptake of *Phaseolus vulgaris* under NaCl stress. *Biologia Plantarum*, 52(1): 157-160.

Effect of silicic acid on some morphological and physiological characteristics of *Pelargonium graveolens* L. under CaCl₂ salinity stress

Hassanvand F.¹, Rezaei Nejad A.¹ and Feizian M.²

¹ Horticultural Sciences Dept., Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, I.R. of Iran

² Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, I.R. of Iran

Abstract

This research was carried out to evaluate the effect of silicic acid on geranium responses to CaCl₂ salinity stress. The experiment was done hydroponically in pots filled with sand. Experiment was laid out factorially based on a completely randomized design with five replications. Factors consisted of daily application of 0, 15 and 30 mM CaCl₂ and weekly application of 0, 0.5 and 1 mM silicic acid in nutrient solution. The results showed that increasing salinity levels decreased growth characteristics including plant height, stem diameter, number of leaves per plants, leaf area, leaf, stem and total dry weight. Silicic acid especially with 1 mM concentration alleviated the stress effects and improved growth parameters, dry weight and stress tolerance index. Oil percent decreased in plants grown in 30 mM CaCl₂ compared with controls, while, it was not affected by silicic acid. However, oil yield decreased, as CaCl₂ concentration in nutrient solution increased. In all CaCl₂ concentrations, application of 1 mM silicic acid increased oil yield. Overall, the results showed that high concentration of CaCl₂ induced stress in geranium, and weekly application of 1 mM silicic alleviated the stress effects and increased stress tolerance index.

Key words: Calcium chloride, Essential oil, Salinity stress, Silicon.