پاسخ‌های رشد و نموی، عملکرد و کیفیت خیار گلخانه‌ای به محلول‌پاشی سیلیسیم

عثمان مامرش‌پور[۱]، محمد جواد نظری دلجو[۱*] و مسعود حق‌شناس[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۷)

چکیده

سیلیسیم، به عنوان عنصری مفید یا شبه‌ضروری، بسیاری از واکنش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لیکن، بسیاری از تولیدکنندگان محصولات گلخانه‌ای کشور، به‌ویژه در سیستم بدون خاک (هیدروپونیک)، از عنصر سیلیسیم در برنامه کوددهی و محلول‌پاشی محصولات زیر کشت استفاده نمی‌کنند. بر همین اساس، آزمایشی جهت بررسی تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی سیلیسیم (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک خیار (*Cucumis sativus* L.) رقم نگین، در سیستم بدون خاک، در گلخانه‌ای تجاری واقع در شهرستان پیرانشهر، از توابع استان آذربایجان‌غربی، اجرا گردید. نتایج آزمایش بیانگر افزایش معنی‌دار کلروفیل، مقدار نسبی آب برگ، جذب کلسیم و سیلیسیم و بهبود معنی‌دار پایداری غشای سلولی برگ خیار تحت محلول‌پاشی سیلیسیم در مقایسه با تیمار شاهد بود. بیشترین عملکرد میوه و میزان جذب کلسیم در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. بیشترین ماندگاری پس از برداشت میوه، به عنوان یکی از مهم‌ترین صفات کیفی خیار، در محلول‌پاشی ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده گردید که در مقایسه با شاهد افزایش ۲۹ درصدی نشان داد. براساس نتایج آزمایش محلول‌پاشی سیلیسیم، با افزایش سطح برگ، مقدار کلروفیل کل و بهبود محتوای نسبی آب برگ منجر به افزایش عملکرد و همچنین ماندگاری پس از برداشت خیار رقم نگین گردیده و در نتیجه توجه بیشتر و کاربرد این عنصر در پرورش بدون خاک خیار توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: تغذیه گیاهی، سیلیسیم، عنصر مفید، کشت بدون خاک، ماندگاری

مقدمه

خیار (*Cucumis sativus* L.) گیاهی یکساله، نیمه‌گرمسیری و یکی از مهم‌ترین محصولات گلخانه‌ای می‌باشد (۱۳) که به روش خاکی و همچنین بدون خاک پرورش می‌یابد. تحقیقات مرتبط با عناصر مفید و شبه‌ضروری (مانند سیلیسیم، نیکل، کبالت) همواره یکی از زمینه‌های تحقیقاتی محققین علوم تغذیه گیاهی می‌باشد. سیلیسیم پس از اکسیژن دومین عنصر خاک و پوسته زمین از نظر فراوانی می‌باشد. لیکن در کشت‌های بدون خاک و آبکشت به‌دلیل حذف بستر خاک، وجود آن نادیده گرفته شده است (۲۹). سیلیسیم نقش مفیدی در افزایش مقاومت گیاهان به آفات و بیماری‌ها، تنش‌های غیرزنده (۲۹) و بهبود کیفیت و عملکرد گیاهان (۱۴) دارد. همچنین، سیلیسیم

۱. گروه علوم و مهندسی باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nazarideljou@yahoo.com

به عنوان عنصر کاهش‌دهنده اثرهای سمی برخی عناصر سنگین از قبیل آهن، منگنز و آلومینیوم شناخته شده و باعث متحرک شدن فسفر خاک می‌شود (۲۸). به‌علاوه، میزان این عنصر در خاک به‌دلیل فرایند آبشویی کاهش یافته و بر همین اساس تأمین مداوم این عنصر در تمامی مراحل زندگی گیاه (خصوصاً در مرحله زایشی) و همچنین برای تأمین سلامت آن ضروری به نظر می‌رسد (۲). محققین، در بررسی تأثیر سیلیسیم بر گل شاخه بریده ژربرا، نشان دادند که سیلیسیم بسته به غلظت و منبع مورد استفاده تأثیر به‌سزایی بر عملکرد و کیفیت گل تولیدی دارد (۱۴). همچنین، مفید بودن سیلیسیم در پرورش گوجه‌فرنگی و خیار نیز بررسی گردیده است (۴). پژوهشگران گزارش داده‌اند که با کم شدن مقادیر سیلیسیم، جذب دی‌اکسید کربن توسط گیاه به‌دلیل بسته شدن روزنه‌ها به مانند شرایط تنش آبی، کاهش می‌یابد (۲۸). تأثیر سیلیسیم بر کلروفیل برگ در تحقیق دیگری تأیید و گزارش گردیده که در صورت کمبود سیلیسیم، مقدار کلروفیل و در نتیجه فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد. محققین، دلیل این امر را به نقش سیلیسیم در ممانعت از تخریب کلروفیل و در نتیجه افزایش فتوسنتز ربط داده‌اند (۸).

بررسی‌ها نشان داده که کاربرد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در تغذیه بوته‌های خیار، افزایش کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی در برگ‌ها، کاهش طول دمبرگ و افزایش وزن تر برگ را به همراه داشته است. تأثیر سیلیسیم بر عملکرد گیاه ممکن است به‌دلیل رسوب آن در پهنای برگ، افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح باشد که از این طریق توانایی گیاه برای استفاده مؤثرتر از نور را بالا می‌برد. همچنین، کاربرد سیلیسیم جهت فعالیت آنزیم ریبولوز بی‌فسفات کربوکسیلاز در برگ مفید می‌باشد. این آنزیم، با تنظیم سوخت و ساز دی‌اکسید کربن و در نتیجه افزایش کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن، منجر به بهبود فتوسنتز در گیاه می‌شود (۲۹). با توجه به مباحث مذکور و علی‌رغم اثبات مفید بودن سیلیسیم طی تحقیقات و آزمایش‌های متعدد، متأسفانه تولیدکنندگان خیار گلخانه‌ای کشور مصرف این عنصر را جدی نگرفته و گاهی اوقات تنها به‌عنوان سم استفاده می‌کنند. بر همین اساس، این آزمایش در گلخانه‌ای تجاری و برای بررسی تأثیر محلول‌پاشی عنصر سیلیسیم بر رشد و نمو و عملکرد خیار طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تغذیه برگی سیلیسیم بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک خیار گلخانه‌ای رقم نگین، آزمایشی در سال ۱۳۹۴ در گلخانه‌ای واقع در سروکانی (مه‌لاله) شهرستان پیرانشهر از توابع استان آذربایجان غربی، با پوشش پلی‌اتیلن، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار تحت شرایط هایدروپونیک در محیط کشت پرلیت (۳۰٪ حجمی) و کوکوپیت (۷۰٪ حجمی) طراحی و اجرا گردید. محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیسیم (صفر (محلول‌پاشی آب مقطر)، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) با استفاده از منبع سیلیسیمی اسید سلیسیلیک (مرک، آلمان) به صورت هفته‌ای یکبار از زمان ۶-۷ برگی خیار تا پایان آزمایش انجام گرفت. دمای روز و شب گلخانه به‌ترتیب ۲۵ و ۱۹ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی حدود ۶۵٪ و نور تحت شرایط طبیعی بود.

پارامترهای رشد و نموی و عملکرد خیار (میوه برداشت شده در بوته) در طول آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، کلروفیل کل به روش لیختنتالر و ولبرن (۱۸) و نشت یونی برگ به روش لوتس و همکاران (۱۹) و براساس سنجش هدایت الکتریکی نمونه‌ها در دمای معمولی (۲۵ درجه سلسیوس) و دمای زیاد (۹۵ درجه سلسیوس) اندازه‌گیری شد. محتوای نسبی آب برگ (RWC) نیز براساس روش ریچی و همکاران (۲۶) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$RWC(\%) = \frac{(FW-DW)}{(SW-DW)} \times ۱۰۰ \qquad [۱]$$

که FW وزن تر نمونه برگی، SW وزن تورژسانس و DW وزن خشک نمونه برگی می‌باشد.

برای اندازه‌گیری میزان سفتی میوه، از میوه‌هایی با شکل

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم در خیار گلخانه‌ای رقم نگین.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		سطح برگ	کلروفیل کل	محتوای نسبی آب برگ	نشت یونی	وزن میوه
محلول‌پاشی سیلیسیم	۳	۵۶۸۵۷/۶۳**	۶/۶۷**	۷۹/۸۶**	۴۳۴/۲۶**	۲۷۹/۳۶**
خطای آزمایش	۸	۱۱۰۶ /۰۲	۱/۵۲	۰/۴۱	۳/۷	۰/۹۷۰
ضریب تغییرات (٪)		۳ /۷۱	۲/۳۵	۱/۹۳	۳/۱	۱/۳۹

** معنی‌دار در سطح ۱٪

ظاهری، قطر و طول یکسان نمونه برداری و سپس سفتی میوه‌ها از ناحیه‌ای مشخص (وسط میوه) توسط دستگاه سفتی‌سنج (Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan) بر پالپ میانی میوه براساس واحد نیوتن بر متر مربع اندازه‌گیری شد. همچنین، ماندگاری میوه خیار براساس حفظ شادابی، عدم چروکیدگی و حفظ رنگ سبز بافت زمینه میوه طی روزهای پس از برداشت محاسبه شد (۱۶).

برای اندازه‌گیری درصد کلسیم برگ، ابتدا هضم تر نمونه‌های گیاهی و عصاره‌گیری از آنها با استفاده از اسید نیتریک غلیظ و پراکسید هیدروژن صورت گرفت. بدین منظور، نمونه های گیاهی در دمای ۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس آسیاب و به طور کامل پودر شدند. یک گرم از پودر حاصل از هر نمونه همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵٪) به درون لوله‌های آزمایش منتقل و به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس در بن ماری قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه‌ها و هم‌دما شدن آنها با دمای آزمایشگاه، ۲/۶ میلی لیتر پراکسید هیدروژن ۲۰٪ به هر کدام از نمونه‌ها اضافه شد. سپس، نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ فیلتر و به حجم نهایی ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده و در پایان، درصد کلسیم بافت با استفاده از دستگاه جذب اتمی (پرکین المر ۴۰۰) اندازه‌گیری شد (۲۴).

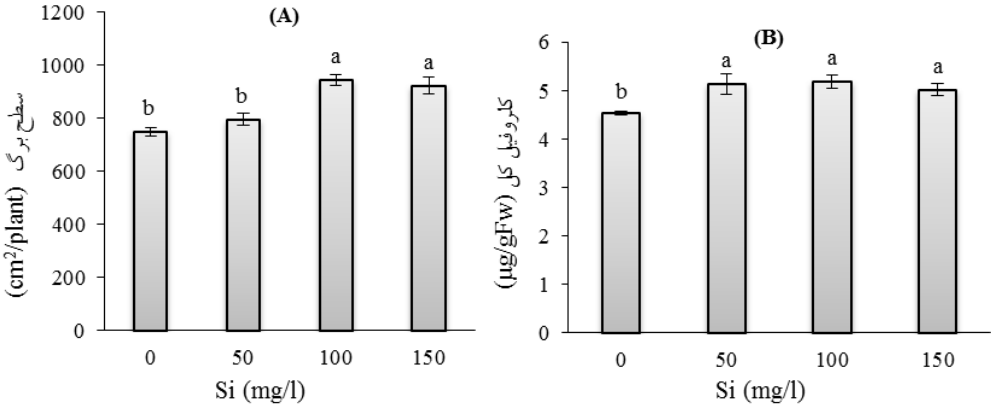
به منظور تعیین درصد سیلیسیم بافت از روش الیوت و اشنایدر (۱۱) استفاده گردید. بر این اساس، برگ‌های بالغ توسعه یافته پس از شستشو با اسید کلریدریک (۰/۱ نرمال) و سپس آب مقطر، در آون در دمای ۵۵ درجه سلسیوس به مدت سه روز خشک و به ۰/۱ گرم از بافت خشک و آسیاب شده ۵ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید سدیم یک مولار اضافه شد. سپس فالکون‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار گرفته و بعد از سرد شدن در دمای اتاق، ۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه به هر نمونه اضافه و مجدداً به مدت ۳۰ دقیقه در اتوکلاو قرار داده شدند. بعد از سرد شدن، ۴۳ میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۲۵ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک : آب مقطر (۱:۱) و ۰/۵ میلی‌لیتر مولیبدات آمونیوم اضافه و به مدت ۳ دقیقه روی شیکر قرار داده شد. در نهایت، میزان جذب نمونه‌ها پس از افزودن ۰/۷ میلی‌لیتر بیوسولفات سدیم در طول موج ۶۵۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS, Lambda 25) قرائت و درصد سیلیسیم بافت برگ براساس منحنی استاندارد سیلیسیم محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزارSAS نسخه ۹/۲ و مقایسات میانگین بین داده‌ها براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل و سطح برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، سیلیسیم به طور معنی‌داری ($P<0/01$) پتانسیل فتوسنتزی شامل سطح برگ و کلروفیل کل را افزایش داد (جدول ۱). به‌طوری که بیشترین سطح برگ بوته در غلظت‌های ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده شد (شکل 1A). همچنین، غلظت کلروفیل در تیمارهای سیلیسیم در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌داری نشان دادند (شکل 1B).



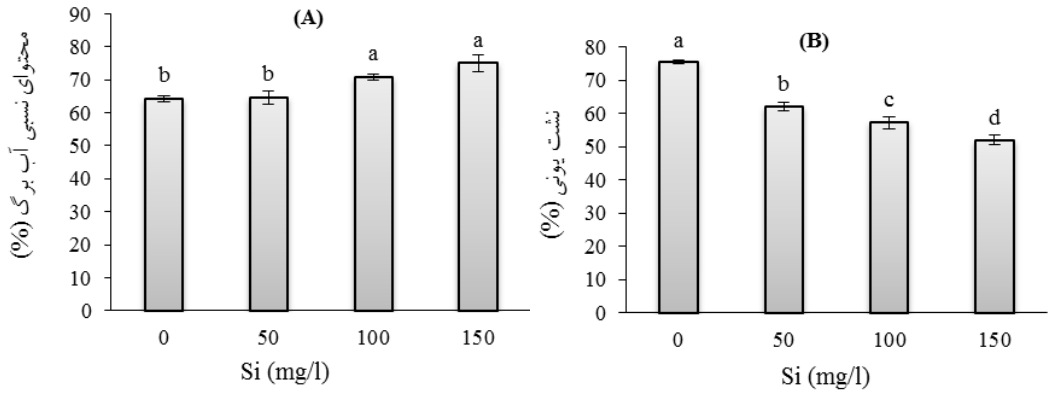
شکل ۱. تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر سطح برگ (A) و کلروفیل کل (B) بوته خیار رقم نگین. در هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند ($P<0/05$). خطوط عمودی روی هر ستون بیانگر خطای استاندارد (Mean ±SE; n=3) است.

امیرالسادات و محمدی قهساره (۲) گزارش دادند که محلول‌پاشی سیلیسیم باعث افزایش سطح برگ خیار گردید. گنگ و همکاران (۱۳) بیان کردند که سیلیسیم با جلوگیری از کاهش سطح برگ و حفظ قابلیت آسمیلاسیون گیاه، افزایش ضخامت برگ و به تبع آن کاهش تعرق، موجب افزایش تولید محصول می‌شود. سطح برگ به عنوان یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاه نقش مؤثری در افزایش پتانسیل فتوسنتزی یا همان ماده سازی ایفا می‌کند. بر همین اساس، افزایش سطح برگ منجر به افزایش محتوای کلروفیل گیاه و در نتیجه استفاده بهینه از روشنایی محیط، بالا رفتن میزان فتوسنتز و به تبع آن افزایش عملکرد گردیده است. با توجه به اهمیت وجود سیلیسیم در عملکرد آنزیم روبیسکو در برگ گیاه، این آنزیم کارایی تثبیت دی‌اکسید کربن توسط گیاهان را افزایش داده و در نهایت منجر به بهبود کلروفیل و فتوسنتز در گیاهان می‌شود (۶).

صفات فیزیولوژیک

با توجه به نتایج آزمایش، کاربرد سیلیسیم باعث افزایش معنی‌دار ($P<0/01$) محتوای نسبی آب در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۱). به‌طوری که بوته‌های محلول‌پاشی شده با غلظت‌های ۱۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم حاوی بیشترین محتوای نسبی آب برگ بوده که نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب افزایش ۱۷ و ۸ درصدی نشان دادند (شکل ۲A). همچنین، نشت یونی به شکل معنی‌داری ($P<0/01$) تحت تأثیر سیلیسیم کاهش یافت (جدول ۱). بر همین اساس، بیشترین میزان نشت یونی در تیمار شاهد حاصل گردید که تفاوت معنی‌داری با هر سه سطح سیلیسیم مورد استفاده نشان داد. کمترین نشت یونی نیز مربوط به غلظت سیلیسیم ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود (شکل ۲B).

محلول‌پاشی ژربرا با سیلیکات پتاسیم و سیلیکات سدیم، تعرق و مقاومت برگی گیاه را از طریق باز و بسته شدن روزنه‌ها و کاهش قطر منافذ آنها تحت تأثیر قرار داد (۱۳). در بافت‌های گیاهی، سیلیکون به فرم سیلیکا در آپوپلاست دیواره سلولی رسوب کرده و باعث استحکام بافت و نگهداری آب سلول و در نتیجه افزایش رشد گیاه می‌گردد (۲۷). همچنین، سیلیسیم از طریق کاهش سرعت تعرق منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق ممانعت از تخریب آوندها و خروج آب کمتر از گیاه می‌گردد (۴). نتایج این آزمایش با نتایج تحقیقات فوق مبنی بر تأثیر مثبت سیلیسیم بر بهبود وضعیت آبی گیاه مطابقت دارد. با توجه به حساسیت خیار به پتانسیل اسمزی محیط ریشه، احتمالاً سیلیسیم موجودر محلول غذایی منجر به تعدیل اثر پتانسیل



شکل ۲. تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر محتوای نسبی آب برگ (A) و نشت یونی (B) خیار رقم نگین. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($P<0/05$). خطوط عمودی روی هر ستون بیانگر خطای استاندارد (Mean ±SE; n=3) است.

جدول ۲. تجزیه واریانس تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر خیار گلخانه‌ای رقم نگین.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد	ماندگاری	سفتی میوه	جذب کلسیم	جذب سیلیسیم
محلول‌پاشی سیلیسیم	۳	۵۶۷۱۳۲۴/۵۰**	۷/۴۱*	۱۳/۴۰**	۵/۵۳*	۰/۵۴*
خطای آزمایش	۸	۱۹۶۶۸۰ /۹	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۳۴۰	۰/۰۶۱
ضریب تغییرات (٪)		۶/۵۸	۶/۰۲	۳/۸۵	۸/۲۵	۸/۲۳

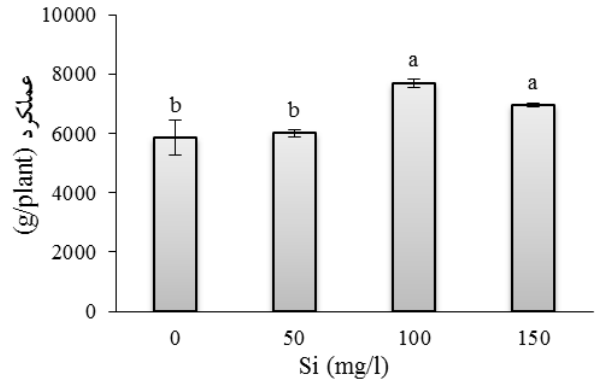
** و * به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪.

اسمزی محیط ریزوسفر (۱۵) و در نتیجه کاهش پراکسیداسیون لیپید و تخریب غشای سلول گیاهی (نشت یونی) گردیده است. همچنین، کاهش نشت یونی برگ خیار تحت تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف سیلیسیم در این آزمایش می‌تواند به‌دلیل بهبود محتوای نسبی آب برگ یا همان وضعیت آبی گیاه تحت تأثیر سیلیسیم باشد.

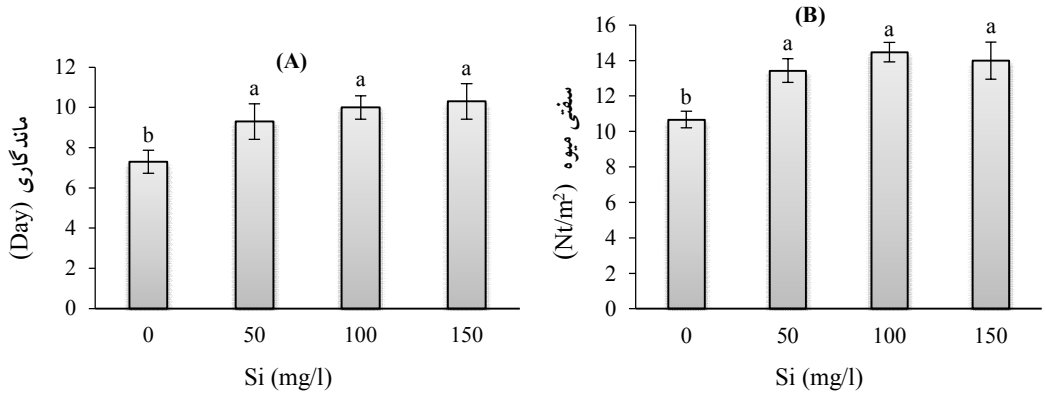
عملکرد

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، عملکرد خیار به‌طور معنی‌داری ($P<0/01$) تحت تأثیر محلول‌پاشی سطوح مختلف سیلیسیم افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین عملکرد میوه خیار در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم مشاهده گردید، که نسبت به غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد دارای تفاوت معنی‌داری بود (شکل ۳).

افزایش فعالیت فتوسنتزی ناشی از تأمین سیلیسیم می‌تواند یکی از دلایل افزایش وزن میوه باشد (۸). براساس نتایج این آزمایش، محلول‌پاشی سیلیسیم در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش سطح برگ، کلروفیل کل و بهبود محتوای نسبی آب برگ خیار به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در فتوسنتز گردید. بنابراین، افزایش عملکرد خیار تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم را می‌توان به‌دلیل نقش این عنصر مفید بر بهبود پارامترهای رشد و نموی و پتانسیل فتوسنتزی (سطح برگ و کلروفیل) و در نتیجه عملکرد بوته‌های خیار دانست که با نتایج سایر محققین مبنی بر تأثیر معنی‌دار سیلیسیم بر عملکرد خیار (۶)، گوجه فرنگی (۲۰) و توت فرنگی (۳۰) مطابقت دارد.



شکل ۳. تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر عملکرد میوه خیار رقم نگین. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($P<0/05$). خطوط عمودی روی هر ستون بیانگر خطای استاندارد (Mean ±SE; n=3) است.

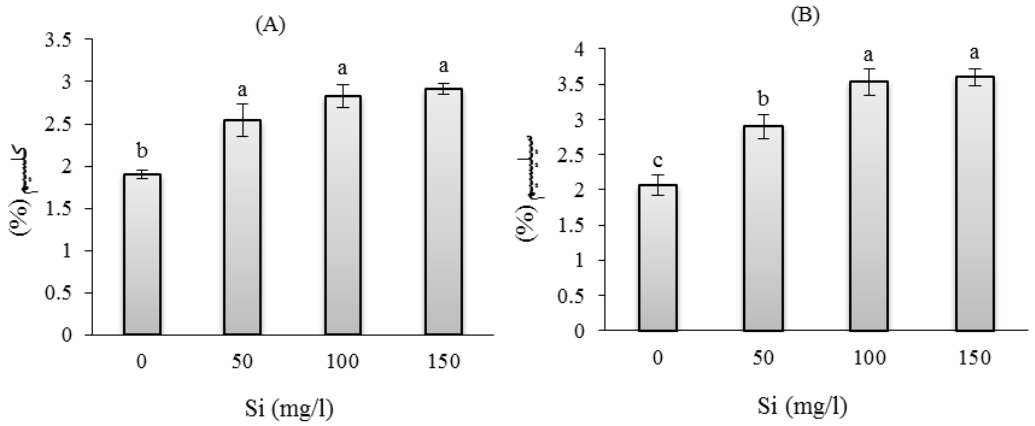


شکل ۴. تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر ماندگاری میوه (A) و سفتی بافت میوه (B) خیار رقم نگین. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند ($P<0/05$). خطوط عمودی روی هر ستون بیانگر خطای استاندارد (Mean ±SE; n=3) است.

ماندگاری و سفتی میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر تأثیر معنی‌دار سیلیسیم بر صفات ماندگاری ($P<0/05$) و سفتی ($P<0/01$) میوه بود (جدول ۲). بیشترین ماندگاری میوه در مقایسه با شاهد در تیمارهای حاوی سیلیسیم (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده گردید. علی‌رغم عدم تفاوت معنی‌دار بین سطوح مختلف سیلیسیم، ماندگاری میوه خیار به‌ترتیب افزایش ۲/۷، ۲/۷ و ۳/۷ روز در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم در مقایسه با شاهد نشان داد (شکل 4A). همچنین، نتایج و روند مشابهی برای سفتی بافت میوه تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم مشاهده گردید. به‌طوری که بیشترین و کمترین سفتی بافت میوه به‌ترتیب در محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد حاصل گردید. بین تیمارهای مختلف سیلیسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل 4B).

براساس نتایج پژوهشگران، مونوسیلیسیک ذخیره‌ای طی فرایند پلی‌مریزه شدن به اسید پلی‌سیلیسیک و سپس سیلیس‌آمورف و ایجاد غشای سلولزی ضخیم و همچنین ترکیب سیلیسیم با ترکیبات آلی در دیواره سلول‌های اپیدرمی



شکل ۵. تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم بر درصد کلسیم (A) و سیلیسیم (B) برگ خیار رقم نگین. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند (P <۰/۰۵). خطوط عمودی روی هر ستون بیانگرخطای استاندارد (Mean ±SE; n=3) است.

منجر به افزایش مقاومت در برابر آنزیم‌های تخریب‌گر می‌شود (۲۸). بر این اساس، کاربرد سیلیسیم می‌تواند نقش به‌سزایی در استحکام بافت و در نتیجه افزایش ماندگاری میوه خیار ایفا نماید. همچنین، با توجه به نقش کلسیم و ترکیبات پلی‌ساکاریدی و پکتینی در ساختمان و استحکام دیواره سلولی و در نتیجه تأخیر در پیری سلول و تجزیه دیواره سلولی ناشی از کاهش فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز (۲۹)، محلول‌پاشی سیلیسیم منجر به افزایش جذب کلسیم توسط گیاه (شکل 5A) و در نتیجه افزایش سفتی میوه گردیده است.

غلظت عناصر کلسیم و سیلیسیم

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) بیانگر تأثیر معنی‌دار سیلیسیم بر غلظت کلسیم و سیلیسیم بافت برگ خیار بود (P <۰/۰۵). بیشترین غلظت کلسیم برگ مربوط به سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم بود که با سایر سطوح سیلیسیم تفاوت معنی‌داری نداشت. لیکن، نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشتند (شکل 5A). بیشترین غلظت سیلیسیم در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید که نسبت به سطح ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیسیم تفاوت معنی‌داری نداشت، ولی در مقایسه با سطح ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بودند (شکل 5B).

نتایج این تحقیق با نتایج پیوست و همکاران (۳) مبنی بر تأثیر سیلیسیم بر افزایش جذب مقادیر پتاسیم و کلسیم و کاهش جذب سدیم در شرایط هیدروپونیک مطابقت دارد. همچنین، مالی و ایری (۲۱) افزایش ۸۷ درصدی جذب کلسیم تحت تأثیر سیلیسیم ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در ساقه گندم را گزارش نمودند. براساس تحقیق میرعباسی نجف‌آبادی و همکاران (۷) بیشترین میزان کلسیم برگ لیلیوم را تیمار محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرید سیلیسیم به خود اختصاص داد و با افزایش غلظت سیلیکات پتاسیم، غلظت کلسیم افزایش یافت. براساس نتایج حاصل از تحقیقات، تغذیه بهینه سیلیسیم در خیار منجر به افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها و به‌عبارتی سطح جذب کننده عناصر غذایی می‌شود (۶). محققین همچنین در بررسی اثر سیلیکات پتاسیم بر ژربرا، افزایش کلسیم در بافت‌های گیاه را گزارش نمودند (۱۴). میاکی و تاکاهاشی (۲۲) نیز گزارش کردند که اعمال سیلیسیم باعث افزایش میزان کلسیم در برگ، طوقه و ریشه توت‌فرنگی شده است. مکانیسم فیزیولوژیک تأثیر سیلیسیم بر جذب و انتقال کلسیم به‌وسیله گیاه کاملاً روشن نیست (۱۲) و رابطه بین کلسیم و سیلیسیم نیازمند مطالعه و بررسی بیشتری می‌باشد. فاطمی و همکاران (۵) افزایش غلظت سیلیسیم در اندام هوایی توت فرنگی را در نتیجه

اعمال سیلیسیم مشاهده نمودند. به طوری که با افزایش غلظت سیلیسیم در تیمارها، میزان سیلیسیم اندام هوایی نیز افزایش یافت. همچنین، نتایج مشابهی توسط محقق و همکاران (۶) در بررسی تأثیر سیلیسیم بر خیار، اسدی و همکاران (۱) در گندم و میاکی و تاکاهاشی (۲۲) در توت‌فرنگی مبنی بر افزایش معنی‌دار درصد سیلیسیم گیاه تحت تأثیر تیمار سیلیسیم مشاهده و گزارش گردید که با نتایج این آزمایش همخوانی دارند.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش بیانگر تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم بر پارامترهای رشد و نموی، عملکرد و کیفیت خیار گلخانه‌ای رقم نگین بود. بر همین اساس، بسیاری از صفات رشدی (سطح برگ، کلروفیل کل و محتوای نسبی آب برگ)، عملکرد، کیفیت (سفتی و ماندگاری میوه) و درصد عناصر کلسیم و سیلیسم برگ خیار تحت تأثیر محلول‌پاشی سیلیسیم در محیط بدون خاک (هیدروپونیک) قرار گرفتند. با توجه به اهمیت عملکرد و همچنین ماندگاری پس از برداشت به عنوان مهم‌ترین شاخص کیفی مورد توجه تولید و مصرف کنندگان خیار، محلول‌پاشی سیلیسیم با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای خیار رقم نگین قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. اسدی، ا.، غ. حق‌نیا، ا. لکزیان و م. مفتون. ۱۳۹۳. تأثیر مقادیر مختلف سیلیسیم و نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی) ۱۰۳: ۱۶۷-۱۷۸.

۲. امیرالسادات، ز. و ا. محمدی قهساره. ۱۳۹۱. اثر سیلیسیم بر شاخص‌های گیاهی در گیاه خیار گلخانه‌ای در کشت بدون خاک. ششمین همایش ملی ایده‌های نو در کشاورزی.

۳. پیوست، غ.، م. ر. زارع بوانی و ح. سمیع‌زاده لاهیجانی. ۱۳۸۷. تأثیر سیلیسیم بر روی عناصر غذایی و مقدار نیترات در کاهو. مجله علوم باغبانی ایران ۳۹(۱): ۱-۸.

۴. خلدبرین، ب. و ط. اسلام زاده. ۱۳۸۰. تغذیه معدنی گیاهان عالی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شیراز.

۵. دهقانپوده، ص. ۱۳۹۱. اثر سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیکون روی رشد و نمو توت فرنگی تحت شرایط تنش آبی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۸۴ صفحه.

۶. فاطمی، ل.، س. ج. طباطبایی و ا. فلاحی. ۱۳۸۸. اثر سیلیسیم بر رشد و عملکرد گیاه توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری. مجله علوم باغبانی ۲۳(۱): ۸۸-۹۵.

۷. محقق، پ.، م. شیروانی و س. قاسمی. ۱۳۸۹. تأثیر کاربرد سیلیسیم بر رشد و عملکرد دو رقم خیار در سیستم هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۱(۱): ۳۵-۳۹.

۸. میرعباسی نجف آبادی، ن.، ع. نیکبخت، ن. اعتمادی و م. ر. سبزعلیان. ۱۳۹۲. تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم، نانوسیلیس و کلرید کلسیم بر غلظت پتاسیم، کلسیم و منیزیم، شاخص میزان کلروفیل و تعداد گلچه لیلیوم آسیایی رقم "Brunello". مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای ۴(۱۴): ۴۱-۴۹.

9. AbdelShafy, H., W. Hegemann and A. Teiner. 1994. Accumulation of metals by vascular plants. Environ. Manage. Health 5(2): 21-24.
10. Agarie, S., W. Agata, H. Uchida, F. Kubota and P.B. Kaufman. 1996. Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza sativa* L.): Testing the window hypothesis. J. Exp. Bot. 47(5): 655-660.
11. Anonymous. 2013. Statistical Yearbook of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. UN Food and Agriculture Organization, Rome, Italy..
12. Cachorro, P., A. Ortiz and A. Cerdá. 1994. Implications of calcium nutrition on the response of *Phaseolus vulgaris*

L. to salinity. Plant Soil 159(2): 205-212.
13. Chang, Y.C.A., J. P. Albano and W.B. Miller. 2008. Oriental hybrid lily cultivars vary in susceptibility to upper leaf necrosis. Acta Hort. 766: 433-440.
14. Corrales I., Poschenrieder C., and Barcello J. 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminium toxicity in maize roots. Plant and Soil, 190: 203-209.
15. Elliott, C.L. and G.H. Snyder. 1991. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. J. Agric. Food Chem. 39: 1118-1119.
16. Epstein, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Nat. Acad. Sci. 91: 11-17.
17. Gao, X., Zou, C., Wang, L. and Zhang, F. 2006. Silicon Decreases Transpiration Rate and Conductance from Stomata of Maize Plants. J. Plant Nutr. 29: 1637–1647.
18. Gong, H., K. Chen, G. Chen, S. Wang and C. Zhang. 2003. Effects of silicon on growth of wheat under drought. J. Plant Nutr. 26: 1055-1063.
19. Kamenidou, S., T.J. Cavins and S. Marek. 2010. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. Sci. Hort. 123: 390-394.
20. Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D. and Saltali, K. 2002. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCL) salinity. Sci. Hortic. 93: 65–74.
21. Kaya, C., L. Tuna and D. Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. J. Plant Nutr. 29: 1469-1480.
22. Klieber, A., W.C. Lin, P.A. Jolliffe and J.W. Hall. 1993. Training systems affect canopy light exposure and shelf life of long English cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(6): 786-790.
23. Korndorfer G.H., and Lepsch I. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. Plant Sci. 8:133-147.
24. Liang, Y.C., Q.R. Shen, Z.G. Shen and T.S. Ma. 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barely cultivars. J. Plant Nutr. 19: 173-183.
25. 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.
26. Lichtenthaler, H. and A. Wellburn. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls b of leaf extracts in different solvents. Biochem. Soc. Trans. 11: 591-592.
27. Lutts, S., J.M. Kinet and J. Bouharmont. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Ann. Bot. 78: 389-398.
28. Ma, J.F. 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stresses. Soil Sci. Plant Nutr. 50(1): 11-18.
29. Mali, M. and N.C. Aery. 2008. Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. J. Plant Nutr. 31: 1867-1876.
30. Miyake, Y. and E. Takahashi. 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. J. Soil Sci. Plant Nutr. 32: 321-326.
31. Noor M., Miah H., Yoshuda T., and Yamamoto Y. 1995. Studies on the response of rice to silicon nutrition at different growth stage under water culture condition. Res. Rep. Kochi Univ, 44:40-51.
32. Okuda, A. and E. Takahashi. 1965. The Role of Silicon in the Mineral Nutrition of the Rice Plant. John Hopkins Press, Baltimore, USA, pp. 123-146.
33. Perkin-Elmer, C. 1964. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry.
34. Rahemi, M. 2003. Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling. Shiraz University Press, 437 p. (In Persian with English Abstract).
35. Reezi, S., Kalantari, M.B.S., Okhovvat, S.M. and Jeong, B.R. 2009. Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt-stressed cut rose (Rosa xhybrida L.)'Hot Lady'. African J. Biotechnol. 8: 1502-1508.
36. Ritchie, S.W., H.T. Nguyen and A. Scott Holaday. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 105-111.
37. Romero-Aranda, M.R., O. Jurado and J. Cuartero. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. J. Plant Physiol. 163: 847-855.
38. Savvas, D., G. Manos, A. Kotsiras and S. Souvaliotis, S. 2002. Effects of silicon and nutrient-induced salinity on yield, flower quality and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. J. Appl. Bot. 76: 153-158.
39. Snyder, G.H., V.V. Martichenkov and L.E. Datnoff. 2007. Silicone. PP. 551-568. *In:* Barker, A.V. and D.J. Pilbean (Eds.), Handbook of Plant Nutrition, CRC Press, Taylor and Francis, New York, USA.
40. Tubana, B.S., T. Babu and L.E. Datnoff. 2016. A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture. Soil Sci. 181: 319-411.