

اثر منبع و نحوه استفاده از سیلیسیم بر برخی ویژگی‌های کمی و فیزیولوژیک گل ژبررا (*Gerbera jamesonii* L.)

لیلا برکتین^۱، علی نیکبخت^۱، نعمت‌اله اعتمادی^{۱*} و جهانگیر خواجه علی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۱۴)

چکیده

ژبررا یکی از مهم‌ترین گل‌های شاخه بریده جهان می‌باشد و محلول‌های غذایی از مهم‌ترین عواملی هستند که در افزایش کمیت و کیفیت گل ژبررا نقش دارند. در مطالعه حاضر، اثر استفاده از سیلیسیم، به‌عنوان یک عنصر سودمند، به دو صورت سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس، بر خصوصیات فیزیولوژیک گل ژبررا رقم "یانارا" بررسی گردید. در این آزمایش، غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس شامل محلول‌پاشی نانوسیلیس با دو غلظت ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر (براساس SiO_2)، محلول‌دهی نانوسیلیس در بستر با دو غلظت ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر (براساس SiO_2) و محلول‌دهی سیلیکات پتاسیم در دو غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (براساس SiO_2) و شاهد بدون تیمار در سه تکرار در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که نانوسیلیس در دو غلظت و به هر دو صورت، منجر به کاهش وزن تر گل و افزایش دی‌اکسید کربن زیر روزه‌ای شد. تعداد گل در تیمار محلول‌دهی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس نسبت به شاهد افزایش یافت. اگرچه از نظر وزن خشک گل و کلیه فاکتورهای فتوسنتزی، اعم از تعرق، فتوستتوز، کارایی مصرف آب و هدایت روزه‌ای، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد، اما به‌طور کلی، نانوسیلیس موجب افزایش تعداد گل ژبررا شد. در حالی که سیلیکات پتاسیم نتوانست باعث بهبود صفات بررسی شده گردد.

واژه‌های کلیدی: سیلیکات پتاسیم، نانوسیلیس، فتوستتوز، وزن تر گل

۱. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: etemadin@cc.iut.ac.ir

مقدمه

امروزه در سطح جهان از فن‌آوری کشت‌های هیدروپونیک در تولید گل و گیاه زینتی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. تاکنون تولید گل به‌صورت شاخه بریده تحت عنوان فن‌آوری کشت بدون خاک، بیشتر به سه گونه رز، میخک و ژربرا اختصاص یافته است (۱). ژربرا یکی از ده گل شاخه بریده محبوب در سراسر جهان است که هر روز تولید آن افزایش می‌یابد (۴). سیلیسیم دومین عنصر فراوان در سطح زمین (۲۷/۷ درصد) و هم‌چنین یکی از عناصر مهم تشکیل‌دهنده ساختمان کانی‌های رسی در بیشتر خاک‌ها می‌باشد و برای گیاه به‌عنوان یک عنصر مفید شناخته شده است (۷). معلوم شده است که این عنصر در گیاهان عالی بیشترین اثر خود را در فرآیندهای مکانیکی و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی می‌گذارد (۱۴). یکی از کودهای سیلیسیم‌دار، سیلیکات پتاسیم می‌باشد که حاوی ۲۷٪ اکسید سیلیسیم است (۱۷). معمولاً سیلیسیم به شکل اسید منوسیلیسیک (H_4SiO_4) یا آنیون اسید $(Si(OH)_3^-)$ جذب گیاه می‌گردد (۱۴). پس از جذب سیلیسیم، انتقال این عنصر در گیاه از طریق آوند چوبی و به‌وسیله جریان تعرق از ریشه به شاخساره انجام می‌شود (۱۵).

تلاش‌هایی برای استفاده از این عنصر جهت بهبود کیفیت گل‌های زینتی انجام شده است. از آن جمله در آهار و آفتابگردان، محلول‌دهی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم منجر به کاهش وزن تر ساقه گل و وزن خشک گل شده است و در غلظت کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، افزایش ضخامت و طول ساقه گل را به همراه داشته است (۱۲). محلول‌دهی هفتگی در آفتابگردان، وزن ساقه را بیش از ۲۸ درصد افزایش داده است (۱۲). اما براساس گزارش مویر و همکاران (۱۸)، کاربرد سیلیسیم تأثیری بر افزایش تعداد گل ژربرا نداشته است. آگاری و همکاران (۳) گزارش کردند که افزایش فعالیت فتوسنتزی به دنبال کاربرد سیلیسیم می‌تواند یکی از دلایل افزایش ماده خشک تولیدی باشد. هم‌چنین محلول‌پاشی هفتگی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات سدیم بر

گیاه آهار منجر به افزایش مقاومت برگی و کاهش تعرق شده است (۱۳). از سوی دیگر، معلوم شده که کاربرد سیلیسیم، فعالیت فتوسنتزی در برگ‌های برنج تحت تنش گرما و خشکی را (در مقایسه با شاهد) افزایش می‌دهد (۳). کاربرد کودهای حاوی سیلیسیم، فعالیت فتوسنتزی در گندم تحت تنش شوری، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش ماده خشک محصول را به همراه داشته است (۲۴). به نظر می‌رسد افزایش ماده خشک، به‌خصوص در گیاهانی که انباشتگر سیلیسیم هستند، اغلب نتیجه وجود این عنصر براساس تحریک فتوسنتز، کاهش تعرق و استحکام بافت‌ها در چندین گونه گیاهی بوده است (۲۰). این عنصر از طریق کاهش سرعت تعرق در شرایط تنش، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق ممانعت از تخریب آندها و خروج آب کمتر از گیاه می‌گردد (۵). معلوم شده است محلول‌پاشی هفتگی تیمارهای سیلیکات پتاسیم و سیلیکات سدیم بر کنترل تعرق و افزایش مقاومت برگی اثر دارد. کاربرد سیلیسیم از طریق اثر بر حرکت روزنه‌ها (۸) و کاهش قطر منافذ آنها منجر به کاهش تعرق می‌گردد (۶). تبخیر و تعرق نقش اساسی در انتقال و انباشت سیلیسیم در اندام‌های مختلف گیاه داشته و در گیاهانی که جذب سیلیسیم به‌صورت غیرفعال است، جذب این عنصر در گیاه وابستگی بیشتری به میزان تبخیر و تعرق دارد. از طرفی، در گیاهان با جذب فعال سیلیسیم، اگرچه جذب بیشتر از طریق ریشه صورت می‌گیرد ولی غلظت سیلیسیم در شاخساره بیشتر از ریشه می‌باشد، زیرا تبخیر و تعرق سبب انتقال سیلیسیم به اندام‌های هوایی می‌گردد (۱۴).

بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد ۳/۴ میلی‌مولار 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 (۱۱). براساس گزارش‌ها، این عنصر موجب افزایش کارایی مصرف آب در ذرت گردیده و این اثر می‌تواند توسط کاهش تعرق برگی و سرعت جریان آب در آوند چوبی و ایجاد لایه سیلیکازل در ارتباط با سلولز به‌صورت ضخیم در سلول‌های اپیدرمی توجیه شود (۸). منفذ زیر روزنه، مسیر کم

جدول ۱. pH و EC تیمارهای سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس قبل از هر بار تیماردهی

تیمار	نانوسیلیس و سیلیکات پتاسیم (میلی گرم در لیتر)	pH	EC(μ s)
c	شاهد (آب مقطر)	۶/۴	۲
ns ₁	محلول پاشی نانوسیلیس در غلظت ۱۲/۵	۵/۹	۳/۳
ns ₂	محلول پاشی نانوسیلیس در غلظت ۲۵	۶/۵	۳/۳
nd ₁	محلول دهی نانوسیلیس در بستر با غلظت ۱۲/۵	۵/۹	۳/۳
nd ₂	محلول دهی نانوسیلیس در بستر غلظت ۲۵	۶/۵	۳/۳
sd ₁	محلول دهی سیلیکات پتاسیم در غلظت ۲۵	۵/۷	۵۵/۳
sd ₂	محلول دهی سیلیکات پتاسیم در غلظت ۵۰	۵/۷	۹۸/۸

پتاسیم در دو غلظت ۲۵ (sd₁) و ۵۰ (sd₂) میلی گرم در لیتر (براساس SiO₂) و شاهد (C) انجام گردید.

پ- هاش و هدایت الکتریکی تیمارهای سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس قبل از هر بار تیماردهی اندازه گیری گردیده و پ- هاش تیمار سیلیکات پتاسیم، توسط اسید سولفوریک از حدود ۹/۵ به ۵/۷ رسانده شد. مقادیر اندازه گیری شده پ- هاش در جدول ۱ آورده شده است. به منظور یکسان کردن شرایط آزمایش، تمامی غنچه‌ها و گل‌ها قبل از شروع تیمارها از روی گیاهان حذف شدند و در طول مدت آزمایش، عملیات حذف برگ‌های پیر و زرد پائینی گیاه انجام گرفت. محلول غذایی مورد استفاده برای گیاهان براساس فرمول پیشنهادی ساواس و گیزاس (۲۲) و با آب مقطر تهیه شد. در این محلول غذایی، غلظت عناصر بدین شرح در نظر گرفته شد: پتاسیم (۵/۸۴)، کلسیم (۶/۵۶)، منیزیم (۲/۲)، آمونیوم (۱/۱)، نیترات (۱۱/۲)، سولفات (۲/۵۴)، فسفر (۱/۲) برحسب میلی‌اکی‌والان بر لیتر و آهن (۳۵)، منگنز (۵)، روی (۴)، مس (۰/۷۵) و بُر (۳۰) برحسب میکرومولار. برای تأمین نیتروژن، پتاسیم و فسفر محلول غذایی از کود کامل (N-P₂O₅-K₂O) ترافلکس F (شرکت اس کیو ام، بلژیک) با نسبت ۱۸:۶:۱۹ که حاوی ۳ درصد MgO بود، استفاده شد. کلسیم مورد نیاز از نمک کلرید کلسیم آبدار (CaCl₂·2H₂O) و منیزیم و گوگرد از نمک سولفات منیزیم (MgSO₄) تأمین گردید. عناصر منگنز، روی و مس به شکل سولفات و هم‌چنین اسید بوریک و

مقاومتی را در سراسر اپیدرم و کوتیکول برای حرکت انتشاری گازها فراهم می‌کند و موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ می‌شود (۲). با توجه به گزارش‌های موجود در خصوص اثر مفید ترکیبات سیلیسی بر بهبود کیفیت گیاهان مختلف، این پژوهش به منظور بررسی اثر این ترکیب‌ها بر ژبریا انجام شد. هم‌چنین از آنجایی که تاکنون هیچ گزارشی در خصوص اثر این مواد به فرم نانو بر گیاهان زینتی ارائه نشده است، در این پژوهش اثر سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس بر خصوصیات کمی و کیفی ژبریا مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی پایه‌های ژبریا، رقم استاندارد "یانارا" (Yanara) که پرورش یافته از طریق کشت بافت است و از هلند وارد شده انجام گردید. سیلیکات پتاسیم ۴۰ درصد به نسبت K₂O به SiO₂ ۱:۲ از شرکت سیلیکات ایران و نانوسیلیس ۲ درصد از شرکت نانو واحد صنعت تهیه شد. اعمال تیمارهای آزمایش به صورت هفته‌ای یک‌بار، از ۲۳ خرداد تا ۱۴ آبان ماه ۱۳۹۰ (به مدت چهار ماه و بیست روز) ادامه یافت و بعد از گذشت ۸ هفته از شروع تیماردهی، گل‌ها به منظور انجام آزمایش برداشت شدند. محلول پاشی نانوسیلیس در دو غلظت ۱۲/۵ (ns₁) و ۲۵ (ns₂) میلی گرم در لیتر (براساس SiO₂)، محلول دهی نانوسیلیس در دو غلظت ۱۲/۵ (nd₁) و ۲۵ (nd₂) میلی گرم در لیتر (براساس SiO₂) و محلول دهی سیلیکات

نتایج

براساس نتایج پژوهش حاضر، غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر محلول پاشی و محلول‌دهی نانو سیلیس، به میزان ۱۲/۳ و ۱۷/۳ درصد وزن تر گل را نسبت به شاهد کاهش داد. وزن تر گل ns_1 و nd_1 نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار ۱۲/۱ و ۱۳/۵ درصدی را نشان داد. هم‌چنین محلول‌دهی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیس، منجر به کاهش ۱۵/۶ درصدی وزن تر گل نسبت به سیلیکات پتاسیم شد. به همین صورت محلول‌پاشی نانو سیلیس در همین غلظت وزن تر گل را نسبت به سیلیکات پتاسیم کاهش داد، اگر چه این اثر معنی‌دار نبود. براساس نتایج تجزیه واریانس، تیمارهای نانو سیلیس و سیلیکات پتاسیم بر وزن خشک گل، اثر معنی‌دار نداشتند (جدول ۲). براساس یافته‌های پژوهش حاضر، اثر تیمار بر میزان فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارایی مصرف آب از نظر آماری معنی‌دار نشد. برگ‌های تحت تیمارهای ns_1 و ns_2 افزایش ۳۰/۸۶ و ۳۰/۸۲ درصدی دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای را نسبت به شاهد نشان دادند. هم‌چنین برگ‌های تحت تیمارهای nd_1 و nd_2 و sd_1 به ترتیب ۲۸/۹۲، ۲۷/۳ و ۱۸/۹۷ درصد افزایش در محتوای دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای نسبت به شاهد نشان دادند (جدول ۳).

با توجه به شکل ۱، بیشترین تعداد گل به تیمار nd_2 (محلول‌دهی ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیس) با ۵/۵۳ عدد و کمترین تعداد به تیمار sd_2 (۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم) با ۳/۸۷ عدد گل در هر گلدان تعلق دارد. با توجه به شکل ۱، فقط غلظت ۲۵ محلول‌دهی نانو سیلیس منجر به افزایش معنی‌دار تعداد گل شده است. علی‌رغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار، در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، محلول‌دهی نانو سیلیس نسبت به سیلیکات پتاسیم، توانست ۱۸/۷ درصد تعداد گل در هر گلدان را افزایش دهد و محلول‌دهی نسبت به محلول‌پاشی نانو سیلیس به افزایش ۳۰/۴ درصدی تعداد گل منجر شد. محلول‌دهی نانو سیلیس و سیلیکات پتاسیم و محلول‌پاشی نانو سیلیس در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر با ایجاد

مولیدات آمونیوم به محلول غذایی اضافه شد. آهن نیز به صورت کلات Fe-EDDHA (حاوی ۶ درصد آهن) در دسترس گیاه قرار گرفت. برای ایجاد تعادل بین نیترات و آمونیوم و تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز، از نمک نیترات پتاسیم (KNO_3) استفاده گردید. محلول‌دهی از بالای گلدان پای هر گیاه، به صورت دستی و در یک سیستم باز انجام شد. بعد از هر سه بار محلول‌دهی، به منظور جلوگیری از تجمع نمک، آبشویی توسط آب مقطر انجام گرفت. هفت تیمار به شرح جدول ۱ اعمال گردید.

به منظور اندازه‌گیری وزن تر گل، بلافاصله بعد از جدا شدن گل از پایه اصلی ژبریا، آنها توسط ترازوی با دقت ۰/۱ گرم وزن شدند. بعد از اندازه‌گیری وزن تر گل، نمونه‌ها در پاکت کاغذی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفتند و بعد از بیرون آوردن وزن شدند. این آزمایش در سه تکرار انجام گردید. برای شمارش تعداد گل، در طول مراحل آزمایش از تاریخ ۲۰ تیر تا ۱۴ آبان ماه، کلیه گل‌هایی که روی هر بوته ایجاد شده بود ثبت شد. میزان فتوسنتز برگ روی هر گیاه با دستگاه اندازه‌گیری فتوسنتز (Lci Portable, Photosynthesis system) ساخت کشور انگلستان، تعیین شد. بدین منظور، از هر تیمار و هر تکرار دو قرائت از برگ‌های متوسط انجام و سپس میانگین آنها ثبت گردید. این آزمایش دو مرتبه طی دو فصل تابستان و پاییز در ساعات ۱۰ تا ۱۲ صبح انجام شد. علاوه بر فتوسنتز، میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای نیز توسط این دستگاه اندازه‌گیری گردید و کارایی مصرف آب فتوسنتزی از تقسیم فتوسنتز به تعرق محاسبه شد. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هر صفت به کمک نرم‌افزار سیستم پردازش آماری SAS (نسخه ۹/۲) براساس آزمون فشر در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار، توسط نرم‌افزار Statistixs صورت گرفت. برای انجام محاسبات جبری و رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۰۷) استفاده گردید.

جدول ۲. اثر سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس بر وزن تر و خشک گل ژبررا

تیمار	میانگین وزن تر گل تیمار (گرم)	میانگین وزن خشک گل (گرم)
c*	۲۷/۸۰ a**	۳/۹۰ a
ns _۱	۲۴/۴۳ bc	۳/۳۱ a
ns _۲	۲۴/۳۷ bc	۳/۲۶ a
nd _۱	۲۴/۰۵ c	۳/۳۷ a
nd _۲	۲۳ c	۳/۲۰ a
sd _۱	۲۷/۳۳ ab	۳/۴۸ a
sd _۲	۲۸/۵۸ a	۳/۸۶ a
LSD	۳/۲۲	-

c: شاهد، ns_۱ و ns_۲: محلول پاشی ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس، nd_۱ و nd_۲: محلول دهی ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس، sd_۱ و sd_۲: محلول دهی ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم
*: در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% براساس LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۳. اثر تیمارهای سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس بر ویژگی‌های فتوسنتزی ژبررا

تیمار	فتوسنتز (μmol/m ² .s)	تعرق (mmol/m ² .s)	هدایت روزنه‌ای (mol/m ² .s)	CO ₂ زیر روزنه‌ای (μmol/mol)	کارایی مصرف آب (μmol/mmol)
c*	۳/۲۴ a**	۱/۳۶ a	۰/۳۱ a	۲۰۰/۲۸ c	۳/۱۴ a
ns _۱	۲/۲۲ a	۱/۵۶ a	۰/۱۱ a	۲۸۹/۶۹ a	۲/۳۸ a
ns _۲	۲/۲۵ a	۱/۲۶ a	۰/۰۸ a	۲۸۹/۵۳ a	۲/۵۱ a
nd _۱	۲/۶۲ a	۱/۱۲ a	۰/۰۸ a	۲۸۱/۷۸ a	۳/۱۹ a
nd _۲	۲/۶۰ a	۱/۵۷ a	۰/۱۰ a	۲۷۵/۶۱ a	۲/۱۳ a
sd _۱	۲/۵۳ a	۱/۱۶ a	۰/۰۵ a	۲۴۷/۱۷ b	۲/۵۳ a
sd _۲	۳ a	۱/۴۱ a	۰/۰۹ a	۲۱۴/۱۷ c	۲/۹۸ a

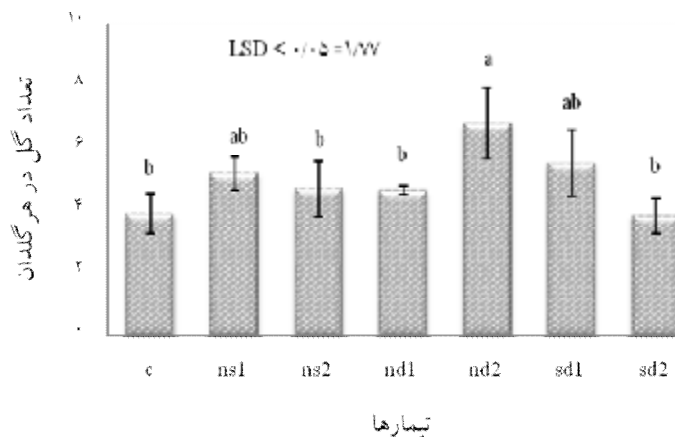
c: شاهد، ns_۱ و ns_۲: محلول پاشی ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس، nd_۱ و nd_۲: محلول دهی ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس، sd_۱ و sd_۲: محلول دهی ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم
*: در هر ستون، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵% براساس LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

صورت و در هر دو غلظت نسبت به شاهد به کاهش وزن تر گل منتهی شده است. براساس گزارش کامنیدو (۱۲) محلول دهی ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم، موجب کاهش وزن ساقه گل به علت سمیت در آهار، آفتابگردان و ژبررا شده است. بر این اساس، ژبررا به غلظت زیاد سیلیس واکنش منفی، از قبیل کاهش وزن گل، را نشان داد و در پژوهش حاضر کاهش وزن گل در موقع استفاده از نانوسیلیس مشاهده شد. با توجه به افزایش نسبت سطح خارجی به حجم

۶/۸، ۵/۵۳ و ۴/۷۳ عدد گل در هر گلدان منجر به افزایش ۴۲/۲، ۲۸/۹ و ۱۶/۹ درصدی تعداد گل نسبت به شاهد شد. در این میان، فقط محلول دهی نانوسیلیس در غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت به شاهد، بر تعداد گل اثر افزایشی معنی‌دار داشت.

بحث

براساس نتایج پژوهش حاضر، کاربرد نانوسیلیس به هر دو



شکل ۱. اثر غلظت‌های مختلف سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس بر تعداد گل ژربرا

نانوسیلیس نسبت به محلول‌دهی این ماده در هر دو غلظت، کمتر بوده است. هدایت روزنه‌ای سیلیکات پتاسیم با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نسبت به کاربرد هر دو صورت نانوسیلیس کمتر بوده است. پژوهش حاضر نشان داد که سیلیکات پتاسیم و نانوسیلیس منجر به افزایش دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای نسبت به شاهد شد. این امر طبیعی است. زیرا همان‌طور که گفته شد کلیه تیمارها نسبت به شاهد منجر به کاهش میزان هدایت روزنه‌ای شدند. این کاهش، افزایش CO_2 زیر روزنه‌ای را به همراه دارد. براساس گزارش‌ها، نور باعث افزایش فتوسنتز و کاهش دی‌اکسید کربن بین سلولی می‌شود و اگر دی‌اکسید کربن داخل و خارج روزنه یکسان باشد، روزنه بسته می‌شود. غلظت دی‌اکسید کربن در فضای بین سلولی روی غلظت آن در سلول‌های روزنه اثر دارد و به دنبال آن باعث اثر بر پ-هاش و سیستم آنزیمی می‌شود (۱۶).

بیشترین تعداد گل متعلق به غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیس محلول بوده است. محلول‌دهی نانوسیلیس در این غلظت، نسبت به محلول‌پاشی این ماده به نسبت بیشتری منجر به افزایش تعداد گل شده است. براساس گزارش‌ها، سیلیسیم منجر به افزایش تعداد گل در گیاهان تحت تنش گردید (۲۱). هم‌چنین یک میلی‌مول در لیتر سیلیسیم در شرایط تنش شوری موجب افزایش رشد و میزان محصول کدوی سبز شده است. در همین راستا، ریزی و همکاران (۲۱) گزارش کردند که تعداد

ذرات نانو و اثر بر افزایش واکنش‌پذیری این ترکیبات (۱۰)، به نظر می‌رسد غلظت‌های کم نانوسیلیس همانند غلظت زیاد سیلیکات پتاسیم عمل کرده است. براساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده از ترکیبات سیلیسی اثر معنی‌داری بر وزن خشک گل و میزان فتوستنز ژربرا نداشته است. آگاهی و همکاران (۲۰) نیز اشاره کرده‌اند که افزایش فعالیت فتوستنزی به دنبال کاربرد سیلیسیم می‌تواند یکی از دلایل افزایش ماده خشک تولیدی باشد. با توجه به این‌که در این پژوهش کاربرد سیلیس، چه به صورت معمولی و چه به صورت نانو، اثر معنی‌داری بر فتوستنز نداشته و با توجه به این‌که به گزارش مویر و همکاران (۱۸) سیلیس در ژربرا تجمع ندارد، طبیعی به نظر می‌رسد که کاربرد ترکیبات سیلیسی بر وزن خشک گل ژربرا تأثیر معنی‌دار نداشته باشد. البته کامنیدو و همکاران (۱۳) اشاره کرده‌اند که سیلیس در ژربرا تجمع دارد. نتایج این پژوهش با نتایج مویر و همکاران (۱۸) مطابقت دارد.

با توجه به نتایج این پژوهش، تمامی تیمارها و تمامی غلظت‌ها منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای شده‌اند. اما این اثر نسبت به شاهد معنی‌دار نبوده است. مقاومت روزنه‌ای در جهت به حداقل رساندن تلفات آب از برگ و به حداکثر رساندن فتوستنز عمل می‌کند و سومین عامل کنترل تعرق و عمده‌ترین عامل برای تنظیم تبادلات گازی در تمام سطوح برگ است (۲). براساس نتایج پژوهش حاضر، هدایت روزنه‌ای محلول‌پاشی

محللول‌دهی، منجر به کاهش وزن تر گل ژبررا گردید. درحالی‌که محللول‌دهی با غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیس منجر به افزایش تعداد گل شد. از نظر وزن خشک گل، تعرق، فتوسنتز، کارایی مصرف آب و هدایت روزنه‌ای، تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد. با توجه به اثر غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیس در افزایش تعداد گل و کاهش وزن تر گل، توصیه می‌شود غلظت بین ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانو سیلیس آزمایش شود تا بتوان به این نکته رسید که آیا نانو سیلیس علاوه بر تعداد، بر سایر صفات مطلوب گل نیز مؤثر است.

سپاسگزاری

از آقایان دکتر سهیلی و مهندس حاج رسولی‌ها و سرکار خانم مهندس جان نثاری در شرکت نانو واحد صنعت واقع در شهرک علمی و تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان، قدردانی می‌گردد.

گل رز در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات پتاسیم بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و شاهد بوده است. از سوی دیگر، براساس گزارش‌ها، هدایت الکتریکی کم منجر به کاهش شدید تعداد گل در ژبررا شده است (۱۹). در برخی موارد، افزایش هدایت الکتریکی به دلیل کاهش جذب کلسیم می‌تواند کیفیت گل‌های بریدنی را کاهش دهد (۹). با توجه به گزارش مویر و همکاران (۱۸)، مبنی بر عدم تأثیر سیلیسیم بر افزایش تعداد گل، براساس گزارش ساواس و همکاران (۲۳) مبنی بر عدم تجمع سیلیسیم در ژبررا و با توجه به نتایج پژوهش حاضر، عدم اثرگذاری سیلیکات پتاسیم بر تعداد گل طبیعی به نظر می‌رسد؛ اما این‌که چرا نانو سیلیس منجر به افزایش تعداد گل نشده نیاز به پژوهش‌های بیشتری در این زمینه دارد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش، کاربرد نانو سیلیس در دو غلظت ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر و به هر دو صورت محللول‌پاشی و

منابع مورد استفاده

۱. روستایی، ع. ۱۳۸۱. کشت گیاهان بیرون از خاک (کشت هیدروپونیک) (ترجمه). نشر جهاد دانشگاهی. دانشگاه تهران.
۲. کافی، م. و م. لاهوتی. ۱۳۷۸. فیزیولوژی گیاهی (ترجمه). جلد اول، جهاد دانشگاهی واحد مشهد. دانشگاه فردوسی مشهد
3. Agarie, S., N. Hanaoka, O. Ueno, A. Miyazaki, F. Kubota, W. Agata and P. B. Kaufman. 1998. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.* 1: 96-103.
4. Anonymous. 2007. Flower Council of Holland, Facts and Figures: Inside the Dutch Horticulture Industry. www.flowercouncil.org.
5. Aziz, T. and M. A. Gill. 2002. Silicon nutrition and crop production: A review. *J. Agric. Sci.* 39: 181-187.
6. Datnoff, L. E., G. H. Snyder and G. H. Korndorfer. 2001. Silicon in Agriculture. Elsevier Science Amsterdam, The Netherlands, 403 p.
7. Epstein, E. 1999. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50: 641-664.
8. Gao, X., C. Zou, L. Wang and F. Zhang. 2006. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. *J. Plant Nutr.* 29: 1637-1647.
9. Gerasopoulos, D. and B. Chebli. 1999. Effects of pre- and postharvest calcium applications on the vase life of cut gerberas. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74: 78-81.
10. Jiang, H., S. Manolache, A. C. L. Wong and F. S. Denes. 2004. Plasma-enhanced deposition of silver nanoparticles onto polymer and metal surfaces for the generation of antimicrobial characteristics. *J. Appl. Polym. Sci.* 93: 1411-1422.
11. JungSup, L., P. JongHan and H. KyeongSuk. 2000. Effects of potassium silicate on growth, photosynthesis, and inorganic ion absorption in cucumber hydroponics. *J. Korean Soci. for Hortic. Sci.* 41: 480-484.
12. Kamenidou, S. 2005. Silicon supplementation affects greenhouse produced cut flowers, MSc theses, Graduate College of the Oklahoma State University, USA.
13. Kamenidou, S., T.J. Cavins and S. Marek. 2009. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Hort.* 119: 297-301.

14. Lewin, J. 1953. Silicon metabolisms in diatoms. *Gen. Physiol.* 3268: 589-601.
15. Ma, J. F. and E. Takahashi. 2002. *Soil, Fertilizer and Plant Silicon Research in Japan*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
16. Meyer, B. S. 1996. Recent advances in cultural management of diseases of greenhouse crops. *Plant Pathol.* 18: 186-193.
17. Miyake, Y. and E. Takahashi. 1983. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29: 71-83.
18. Moyer, C., N. A. Peres, L. E. Datnoff, E. H. Simonne and Z. Deng. 2010. Evaluation of silicon for managing powdery mildew on Gerbera Daisy. *J. Plant Nutr.* 31: 2131-2144.
19. Paradiso, R., S. De Pascale, F. Aprea and G. Barbieri. 2003. Effect of electrical conductivity levels of nutrient solution on growth, gas exchanges and yield of two gerbera cultivars in soilless system. *Acta Hort.* 609: 165-171.
20. Prakash, N. B., C. Narayanaswamy and T. H. Hanumantharaju. 2010. Effect of calcium silicate as a silicon source on growth and yield of rice in different acid soils of Karnataka, southern India. *IRRN* 117-4185, pp. 1-4.
21. Reezi, S., M. Babalar and S. Kalantari. 2009. Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa hybrida* L.) 'Hot Lady'. *A. J. Biotech.* 8: 1502-1508.
22. Savvas, D. and G. Gizas. 2002. Response of hydroponically grown gerbera to nutrient solution recycling and different nutrient cation ratios. *Sci. Hort.* 96: 267-280.
23. Savvas, D., G. Manos, A. Kotsiras and S. Souvaliotis. 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.
24. Tahir, M., T. Rahmatullah, M. Aziz, S. Ashraf, S. Kanwal and M. Maqsood. 2006. Beneficial effects of silicon in wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *J. Bot.* 38(5): 1715-1722.