Archive of SID

Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 50, No 1, Spring 2019 (77-89)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.231392.1229

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸ (ص ۸۹-۷۷)

تأثیر سیلیسیوم و سالیسیلیک‌اسید بر تشکیل لیگنین‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در گل ژربرا

بهزاد ادریسی[۱]، مصباح بابالار[۲*] و روح انگیز نادری[۲]

۱. دانشجوی سابق دکتری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج و پژوهشکده گل و گیاهان زینتی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، محلات، ایران

۲. استاد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۸ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۱۰)

چکیده

کیفیت و ماندگاری گل‌ها تا حدود زیادی به پایداری ساقه و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی بستگی دارد. این پژوهش برای مطالعه اثر تغذیه سیلیسیوم و تیمار سالیسیلیک‌اسید بر کیفیت گل ژربرا (*Gerbera jamesonii* Bolus.) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت در مراحل پس از برداشت، به‌صورت کشت بدون خاک در قالب دو آزمایش فاکتوریل با طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. آزمایش اول شامل محلول‌پاشی قبل از برداشت صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌مولار سیلیسیوم (Si) و سالیسیلیک‌اسید (SA) صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار بود. در آزمایش دوم تیمار سیلیکات‌پتاسیم همانند آزمایش اول و تیمار سالیسیلیک‌اسید صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار پس از برداشت انجام شد. نتایج نشان داد که طول شاخه گل تحت تأثیر تغذیه سیلیسیوم تاحدودی کاهش یافت ($p\leq۰/۰۵$) ولی سیلیسیوم ($p\leq۰/۰۰۱$) و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید ($p\leq۰/۰۵$) موجب افزایش تعداد گل شدند. سالیسیلیک‌اسید باعث تقویت بیوسنتز لیگنین‌ها ($p\leq۰/۰۰۱$) در ساقه گردید. مصرف سیلیسیوم موجب ماندگاری بیشتر گل‌ها ($p\leq۰/۰۰۱$) گردید ولی افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز و کاتالاز تحت تأثیر تیمار بعد از برداشت سالیسیلیک‌اسید (SA) ($p\leq۰/۰۰۱$) بود. این نتایج نشان داد که تغذیه سیلیسیوم و کاربرد سالیسیلیک‌اسید می‌تواند کیفیت و ماندگاری گل بریده ژربرا را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه، ماندگاری گل، کشت بدون خاک، کیفیت گل، لیگنین‌ها.

Effect of silicon and salicylic acid on lignin formation and antioxidant enzymes in gerbera flower

Behzad Edrisi[1], Mesbah Babalar[2*] and Roohangiz Naderi[2]

1. Former Ph.D. Student, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran and Ornamental Plants Research Center, Iranian Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mahallat, Iran

2. Professor, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Apr. 17, 2017 - Accepted: Sep. 1, 2017)

ABSTRACT

The quality and vase-life of cut flowers are highly dependent on stability of stems and antioxidant potential. This experiment was conducted as two factorial experiments in a randomized complete block design to study the effect of silicon fertilization and salicylic acid on quality of the gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus.) cut flowers in soilless culture and postharvest activity of antioxidant enzymes. First experiment was foliar application of 0, 10 and 20 mM of silicon as potassium silicate and 0, 100 and 200 mM of salicylic acid (SA) before harvest. In the second experiment pre-harvest silicon supplementations were similar to the first experiment and post-harvest treatments with 0, 200, 400 µM of salicylic acid were done. Flower stems length in winter and spring seasons, decreased by silicon nutrition ($P\leq0.05$), but number of flowers increased by silicon supplementation ($p\leq0.001$) and salicylic acid foliar application ($p\leq0.05$). SA treatments increased lignin biosynthesis ($p\leq0.001$). Silicon supplementation increased the vase life of cut flowers ($p\leq0.001$), but activity of catalase and peroxidase were increased as affected by postharvest SA treatments ($p\leq0.001$). These results suggest that silicon and salicylic acid applications could improve the quality and vase life of cut flowers in gerbera.

Keywords: Flower quality, Lignin, Nutrition, Soilless culture, Vase life.

* Corresponding author E-mail:

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در ایران از حدود ۲۲۰۰ هکتار کشت گلخانه‌ای گل و گیاهان زینتی، ۱۸۰۰ هکتار به تولید گل‌های گل‌های شاخه بریده اختصاص یافته است (Azadi & Ploeg, 2016). گل ژربرا با حدود یک میلیارد شاخه فروش جهانی در حراجی گل هلند، رتبه چهارم عرضه از لحاظ تعداد شاخه و با ۵/۷٪ از کل گردش مالی رتبه پنجم را در بین گل‌های شاخه بریده دارد (CBI Trade Statistics, 2016). یکی از مهمترین مشکلات پس از برداشت ژربرا، خمیدگی ساقه و دمگل است. گل ژربرا یک گل نسبتا سنگین محسوب می‌شود و معمولاً در زمان برداشت، بسته به قطر گل‌آذین کلاپرک (کاپیتول) در حدود ۱۳-۱۰ گرم وزن دارد (Perik *et al*., 2012; Ferrante *et al*., 2007). ساقه ژربرا در زمان برداشت، دارای یک حفره بزرگ مرکزی است. لذا توخالی‌بودن ساقه، عاملی برای مستعد بودن آن نسبت به خمیدگی است که علاوه بر ایجاد ضایعات، باعث ایجاد تنش و همچنین اختلال در جذب آب می‌شود (Perik *et al*., 2012).

محلول‌های مورد استفاده در کشت‌های هیدروپونیک فاقد سلیسیوم می‌باشند و حتی در کشت‌های گلخانه‌ای در خاک هم به‌دلیل تبخیر و تعرق کمتر نسبت به فضای باز، جذب و انتقال عناصری مانند سیلیسیوم محدودتر است (Barakatain *et al*., 2013). سیلیسیوم تنها عنصری است که حتی در غلظت‌های نسبتا بالا، باعث صدمه و مشکل برای گیاه نمی‌شود (Ma *et al*., 2001). سیلیسیوم باعث کاهش بسیاری از تنش‌های زنده و غیرزنده مثل تنش‌های شیمیایی (نمک‌ها، فلزات سمی، عدم تعادل تغذیه‌ای و ...) و تنش‌های فیزیکی (غرقابی، خشکی، تابش شدید، دمای بالا و یخزدگی و نور ماورای‌بنفش) می‌شود. در برخی از محصولات گلخانه‌ای مانند گیاهان تیره کدوییان و رزها این عنصر در بخش دیواره سلولی گیاه سبب افزایش مقاومت آن به خسارت انواع آفات و بیماری‌ها و کاهش تبخیر از سطح گیاه می‌گردد (Epstein, 1994; Ma & Takahashi, 2002; Ma, 2004). اثر سیلیسیوم بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و انواع آنزیم‌های مرتبط در شرایط شوری در مورد محصولاتی مثل خیار (Zhu *et al*., 2004) و گوجه‌فرنگی (Al Aghabary *et al*., 2005; Romero-Aranda *et al*., 2006) نیز گزارش شده است. چنین تصور می‌شود که Si احتمالاً ساختار، یکپارچگی و عملکرد غشای پلاسمایی را از طریق پراکسیداسیون وابسته به تنش در لیپیدهای غشای سلولی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Liang *et al*., 2003, 2005a, 2006; Liang, 1999). گزارش شده است که مصرف برگی سیلیسیوم باعث تحریک فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در تنش خشکی بنت‌گراس، تأثیر در نسبت اسیدهای چرب غیر اشباع در گلیکولیپیدها و فسفولیپیدها در توت‌فرنگی و تحریک فعالیت کیتیناز در خیار پس ازحمله قارچ پیتیوم می‌گردد (Liang *et al*., 2005b).

سیلیسیوم در هر قسمت از گیاهان انباشتگر سیلیسیوم از جمله داخل یا بین سلول‌ها به‌عنوان بخشی از دیواره سلول به فرم اجزای بی‌شکل حاوی ترکیبات سیلیسی بنام فایتولیت[1] قابل‌انباشت است. از مزایای بافتهای استحکامی حاوی سیلیسیوم، تراکم بالاتر آنها نسبت به لیگنین و سلولز و نیز عدم امکان متحرک‌شدن مجدد مواد بعد از انباشت، محدود کردن انعطاف بافت و عدم امکان ایجاد ترکیبات پیچیده و یا ترکیب با مواد آلی است (Cooke & Leishman, 2011).

نقش بعضی از فرمهای سیلیسیوم در استحکام دیواره سلولی، از طریق اتصال عرضی عنوان گردیده است (He *et al*., 2013). سیلیسیوم احتمالاً می‌تواند به شکل یک ترکیب شبه استری از اسید سیلیسیک (R_1-O-Si-O-R_2) به اجزای دیواره سلولی تغییر یابد. علاوه بر این، به‌نظر می‌رسد سیلیسیوم غلظت و متابولیسم پلی‌فنول‌ها در دیواره‌های سلول آوند چوبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Broadley *et al*., 2012).

سالیسیلیک اسید (SA) یا اسید اورتوهیدروکسی بنزوئیک با فرمول شیمیایی HOC_6H_4COOH یک ترکیب فنولی ساده است که از طریق دکربوکسیلاسیون ترانس‌سینامات (یک محصول از مسیر فنیل‌پروپانوئید) تولید می‌گردد. در محیط زنده، اسید سالیسیلیک (SA) به فرم استر متیل یا گلوکز و یا متصل به گلوکز

1. Phytolith

www.SID.ir

Archive of SID

یا آمینو اسید یافت می‌شود. فرم اتصال‌یافته و یا استری SA از این نظر اهمیت دارد که همانند دیگر مواد هورمونی، فرم‌های ذخیره‌ای غیرفعال محسوب می‌شوند و امکان تغییر میزان انتشار به فرم اسید آزاد یک مکانیسم مهم و قابل کنترل آنی برای تنظیم میزان فعالیت بیولوژیکی آنهاست (Osborne & Mc Manus, 2005). سالیسیلیک‌اسید یک جزء اصلی در بین سیگنالهای رشد نیز محسوب می‌شود و در مسیر سنتز منولیگنول و شکل‌گیری دیواره سلولی ثانوی نقش دارد (Gallego-Giraldo *et al*., 2011). بهبود تحمل به تنش نیز معمولاً به افزایش فعالیت‌های سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاهان مربوط می‌شود (Yildirim *et al*., 2008). سالیسیلیک اسید (SA) با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بهبود روابط آبی در گل‌های شاخه بریده باعث افزایش ماندگاری گل می‌گردد (Alaey *et al*., 2011). در رز و زنبق رشتی و میخک افزایش فعالیت لیپوکسیژناز (LOX) و پراکسیداز (POD) باعث افزایش کیفیت و عمر گل گردیده است (Panavas & Rubinstein, 1998; Gerailoo & Ghasemnezhad, 2011; Nazari delju *et al*., 2012). سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) و تجمع ترکیبات فنلی ناشی از فعالیت آن می‌شود. با این حال، اثر تحریکی SA به غلظت و مدت زمان تأثیر آن بستگی دارد (Dong *et al*., 2010). تجمع لیگنین به‌عنوان یک ترکیب فنلی نیز ارتباط مستقیم با فعالیت این آنزیم‌ها دارد (Wang *et al*., 2016).

هدف از این تحقیق، مطالعه واکنش گل ژربرا به کاربرد سیلیسیوم و سالیسیلیک‌اسید در کشت بدون خاک برای کاهش ضایعات گل ژربرا بود. مهم‌ترین عارضه در پس از برداشت گل شاخه بریده ژربرا، خمیدگی ساقه در ناحیه زیر گل‌آذین است. یکی از دلایل عارضه خمیدگی، عدم استحکام و مقاومت ساقهٔ گل‌دهنده و تشکیل لیگنین‌ها در دیواره‌های سلولی به‌ویژه دیوارهٔ ثانوی می‌باشد (Vanholme *et al*., 2010). لذا تأثیر هر دو عامل Si و SA در تشکیل لیگنین‌ها و بافت ساقه و همچنین شاخص‌های کیفیت و پیری گل مطالعه گردید. از سوی دیگر فرض بر این بود که استفاده از سالیسیلیک‌اسید بتواند باعث تغییر در الگوی پیری و فعالیت‌های آنزیمی مرتبط با پیری گل گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی پژوهشکده ملی گل و گیاهان زینتی (33°52’N, 50°25’E) اجرا گردید. ابتدا گیاهچه‌های سه برگی حاصل از کشت بافت ژربرا (*Gerbera jamesonii* Bolus.) از رقم شاخه بریده "tropic blend" در گلدان‌های پلاستیکی ۴ لیتری و در بستر ۵۰٪ کوکوپیت و ۵۰٪ پرلیت کشت شدند. تراکم کاشت ۸ گلدان در متر مربع بود. میانگین رطوبت نسبی روزانه ۶۴/۸٪ و ۸۱/۶٪ در شب و میانگین دمای روز و شب به‌ترتیب ۲۶/۲ و ۱۸/۶درجه سانتی‌گراد بود. هر گلدان با یک نازل مجزا و از طریق تانکر محلول غذایی مجهز به پمپ الکتریکی، به‌صورت خودکار و با استفاده از تایمر به‌مدت ۲ دقیقه در هر نوبت و بسته به فصل و درجه حرارت با ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول (جدول ۱) در طول روز آبیاری شد (Haghani *et al*., 2014).

جدول ۱. ترکیبات شیمیایی محلول غذایی
Table 1. Chemical Compounds of nutrient Solution

Macroelements	mM	Microelements	µM
K	5.5	Fe	30
Ca	6.5	Mn	7.5
Mg	2.5	Zn	6
N (NH_4)	0.25	Cu	1.3
N (NO_3)	11.5	B	25
S	2.8	Mo	0.7
P	1.5		

در تهیه محلول غذایی، نیتروژن از منبع نیترات‌کلسیم (کلسینیت) $Ca(NO_3)_2.2H_2O$ و سولفات‌آمونیوم ($(NH_4)_2SO_4$)، فسفر از اسید فسفریک (H_3PO_4) ۸۵ درصد، پتاسیم از نیترات‌پتاسیم و سولفات‌پتاسیم (K_2SO_4)، منیزیم از سولفات‌منیزیم ($MgSO_4.7H_2O$)، کلسیم از نیترات‌کلسیم (کلسینیت) و سولفات‌کلسیم ($CaSO_4.2H_2O$)، مس از سولفات‌مس ($CuSO_4.5H_2O$)، بور از اسیدبوریک (H_3BO_3)، آهن از منبع کلات آهن (Fe-EDDHA, 6% Fe)، مولیبدن از مولیبدات‌سدیم ($Na_2MoO_4.2H_2O$)، منگنز از

www.SID.ir

Archive of SID

سولفات‌منگنز ($MnSO_4.H_2O$) و روی از منبع سولفات‌روی ($ZnSO_4.7H_2O$) تأمین گردیدند. pH محلول غذایی ۵/۶ و هدایت الکتریکی آن در حد ۱/۵-۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر تنظیم شد.

بخش اول آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار و سه تکرار بود. برای هر تکرار ۷ گلدان در نظر گرفته شد. فاکتور اول شامل: محلول‌پاشی سیلیکات‌پتاسیم با سه سطح صفر، ۱۰و ۲۰ میلی‌مولار سیلیسیوم (Liang *et al*., 2005) بود. با در نظر گرفتن زمان لازم از شکل‌گیری جوانه گل تا برداشت آن، تیمار تغذیه سیلیسیوم از ۸ هفته قبل از برداشت گل شروع و به‌صورت هفتگی تکرار شد. حجم محلول برای هر بوته و در هر نوبت ۵۰ میلی‌لیتر بود و کل سطح برگ‌ها خیس گردید. فاکتور دوم شامل: محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید با سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار دو هفته قبل از برداشت بود. برای تهیه محلول سالیسیلیک‌اسید ابتدا این ماده در مقداری الکل‌اتیلیک ۷۰ درصد حل شد و سپس به‌مقدار مورد نظر رقیق گردید. برداشت گل برای اندازه‌گیری طول و قطر شاخه، قطر و تعداد گل و مقدار لیگنین در ساقه از ۱۰۵ روز پس از کاشت نشا در گلدان انجام شد. برداشت همزمان با هفته هشتم محلول‌پاشی سیلیسیوم و هفته دوم محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بود.

اندازه‌گیری لیگنین‌ها

در گل‌های برداشت‌شده در بخش اول آزمایش، مقدار لیگنین‌های ساقه به‌روش کلاسون اندازه‌گیری شد. گل‌ها در مرحله کاملاً باز چیده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. پس از خشک‌کردن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۰/۵گرم پودر ساقه خشک‌شده و الک‌شده به ۴۵ میلی‌لیتر استون افزوده و پس از ۸ ساعت استخراج و خشک شد. نمونه‌ها با اسید سولفوریک هموژن و سپس اتوکلاو گردیدند. نمونه‌های هیدرولیزشده بعد از فیلتر در محیط خلأ در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و وزن گردید (Rogers *et al*., 2005).

بررسی تشکیل لیگنین‌ها به روش هیستوشیمیایی

رنگ‌آمیزی با افزودن اسیدکلریدریک ۶ نرمال و تشکیل فلوروگلوسینول[1]- هیدروکلراید ۱٪ انجام شد (Rogers *et al*., 2005; Yamamoto *et al*., 2012). عکس با استفاده از میکروسکوپ (Leica, Wetzlar) و استریومیکروسکوپ (Axiom diagnostic) تهیه گردید.

بخش دوم آزمایش برای مطالعه تأثیر تغذیه قبل از برداشت سیلیسیوم و تیمار پس از برداشت سالیسیلیک‌اسید به‌صورت استفاده در محلول نگهداری گل برای ارزیابی ویژگیهای پس از برداشت گل انجام شد. در این آزمایش فاکتور اول شامل تیمارهای محلول‌پاشی قبل از برداشت سیلیکات‌پتاسیم با سه سطح همانند آزمایش اول و تیمار پس از برداشت سالیسیلیک‌اسید با سه سطح صفر، ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار با حجم محلول ۵۰۰ میلی‌لیتر به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و سه تکرار بود و برای هر واحد آزمایشی ۵ شاخه گل درنظر گرفته شد و با توجه به تفاوت جزئی طول شاخه‌ها تحت تأثیر مصرف سیلیسیوم، بلوک‌بندی براساس طول شاخه گل انجام گردید.

گل‌ها پس از برداشت و انتقال به آزمایشگاه به منظور پاکسازی آلودگی‌های انتهای ساقه به‌مدت ۱۰ ثانیه در محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت‌سدیم ضدعفونی گردیدند. این آزمایش در شرایط استاندارد (دمای ۲۰±۲ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۵±۶۰ درصد، طول روز ۱۲ ساعت و شدت نور ۱۵ میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه توسط لامپ‌های فلورسنت) اجرا گردید. به تمامی تیمارها ۲٪ ساکاروز برای تامین کربوهیدرات اضافه شد.

اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی گلبرگ

یک گرم از قطعات گلبرگ به ابعاد یک سانتی‌متر مربع از هر تیمار در روز ششم بعد از برداشت گل بریده و مقدار ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر دو بار تقطیرشده به آن اضافه گردید. هدایت الکتریکی پس از ۲۴ ساعت در دمای اتاق روی شیکر (EC_1) و مجددا پس از ۳۰

1. Phloroglucinol– HCl

www.SID.ir

Archive of SID

دقیقه اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر اندازه‌گیری شد (EC_2). میزان پایداری غشا از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Prochazkova *et al*., 2001):

پایداری غشا=(1- [EC_1 / EC_2])*100

استخراج آنزیم‌ها

تهیه بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار با pH برابر ۷ با نمک پتاسیم دی‌هیدروژن-فسفات (KH_2PO_4) و پتاسیم مونو هیدروژن فسفات (K_2HPO_4) به‌همراه PVPP و Na-EDTA انجام شد. سپس ۰/۵ گرم از پودر گلبرگ آسیاب‌شده در نیتروژن مایع به میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شد و با افزودن یک میلی‌لیتر از بافر استخراج، نخست ورتکس‌شده و سپس به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور rpm ۱۴۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفیوژ شدند. عصاره رویی دوباره به‌مدت ۱۰ دقیقه با دور rpm ۱۴۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، سانتریفیوژ شد (Beauchamp & Fridovich, 1971). از این عصاره برای سنجش فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز، و کاتالاز استفاده شد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز (EC 1.11.1.6) (POD)

برای سنجش فعالیت سینتیکی آنزیم POD از روش Ferreira *et al*. (2010) استفاده گردید. ابتدا دو بافر مورد نیاز شامل محلول بافر آب‌اکسیژنه (H_2O_2) ۲۲۵ میلی‌مولار و بافر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار تهیه گردیدند. سپس بافر H_2O_2 و گایاکول با هم مخلوط گردید و به آن ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه و منحنی جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Spectronic, genesis UV/VIS قرائت شد. در محلول شاهد به‌جای عصاره آنزیمی، ۱۰ میکرولیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) استفاده شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از فرمول قانون بیر لامبرت و با ضریب خاموشی گایاکول پراکسیداز ۲۶/۶$\mu M^{-1}c^{-1}m$ محاسبه شد و فعالیت آنزیم در نهایت برحسب Ug^{-1} FW min^{-1} محاسبه شد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) (EC 1.11.1.7) (CAT)

فعالیت این آنزیم به‌روش Chance & Maehly (1957) با اندکی تغییرات مورد سنجش قرار گرفت. ابتدا دو بافر مورد نیاز شامل محلول بافرفسفات ۲۵ میلی‌مولار و با pH برابر ۷ و بافر اندازه‌گیری حاوی بافر پتاسیم‌فسفات، ۰/۱EDTA میلی‌مولار و H_2O_2 ۱۰ میلی مولار تهیه گردیدند.

سنجش فعالیت آنزیم در مدت زمان ۱ دقیقه و در طول موج ۲۴۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر انجام شد، فعالیت آنزیمی باضریب خاموشی ۴۰$\mu M^{-1}c^{-1}m$ محاسبه شد. و فعالیت آنزیم در نهایت بر حسب واحد در گرم وزن تر در دقیقه (Ug^{-1} FW min^{-1}) بیان گردید.

تعیین طول عمر گل

برای اندازه‌گیری طول عمر پس از برداشت گل معیار پیری گل‌ها خمیدگی بدون بازگشت ساقه گل و یا پژمژدگی یا لوله شدن یک سوم از گلبرگ‌ها بود.

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS institute; 9.1) تجزیه و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۵ درصد انجام شد. ضرایب همبستگی برای صفات بر اساس روش پیرسون محاسبه گردید.

نتایج و بحث

طول ساقه گل تحت تأثیر تغذیه سیلیسیوم قرار گرفت و به‌خصوص تیمار ۱۰ میلی‌مولار سیلیسیوم تاحدودی باعث کاهش ارتفاع شاخه گل گردید ($p\leq$۰/۰۵) (شکل ۱ و جدول ۲) ولی تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید و اثر متقابل آن با سیلیسیوم تفاوت معنی‌داری در طول ساقه گل ایجاد نکرد. در نتایج مشابهی، مصرف سیلیسیوم به‌منظور افزایش مقاومت مکانیکی ساقه گل‌آذین گل صد تومانی نشان داد که در غلظت ۵۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر سیلیسیوم به‌عنوان مؤثرترین تیمار، شاخص‌های مورفولوژیکی گیاه مرتبط از جمله وزن تر و قطر ساقه گل آذین، وزن تر و قطر گل همه به‌جز ارتفاع بوته افزایش یافت (Zhao *et al*., 2013). در آهار نیز تیمار هفتگی با

www.SID.ir

Archive of SID

سیلیکات‌پتاسیم باعث کاهش ارتفاع بوته‌ها شد (Kamenidou *et al*., 2009). در آزمایش دیگری بنت قنسول‌های تغذیه‌شده با ۵۰ پی‌پی‌ام سیلیس (K_2SiO_4) هرچند کمی کوتاه‌تر از گیاهان تیمارنشده بودند ولی ارتفاع یکنواخت‌تری داشتند (Leatherwood & Mattson, 2010). در گل لیلیوم نیز گزارش گردیده است که طول و قطر ساقه گل و اندازه جوانه تحت تأثیر تیمار سالیسیلیک‌اسید قرار گرفت (Hajizadeh & Aliloo, 2013). ضعف ساقه ژربرا می‌تواند مربوط به عدم نمو کافی دیواره سلولی در بافت ساقه باشد که در زمان برداشت گل هنوز در مرحله رشد طولی است (Van Doorn, 2012). اتصال اسیدسیلیسیک به اجزای فنولی و کربوهیدرات‌های دیواره سلولی موجب شکل‌گیری کمپلکس‌های مختلف فنول کربوهیدرات‌ها می‌شود. رسوب Si در گیاهان عالی است با همکاری مشترک Si و لیگنین صورت می‌گیرد (Dragišić Maksimović *et al*., 2007). براساس خواص فیزیکی و شیمیایی سیلیسیوم، ارتباط آن با شبکه‌های دیواره سلولی به‌صورت تأثیر بر ارتفاع بوته، مقاومت مکانیکی و تولید زیست‌توده منعکس می‌گردد (Zhang *et al*., 2015). به‌نظر می‌رسد سیلیسیوم با اتصال به اجزای ساختمانی دیواره سلولی تاحدوی خاصیت ارتجاعی و قابلیت انبساط سلولی را کاهش دهد و از این طریق موجب کاهش طول ساقه می‌گردد.

قطر ساقه (دمگل) تحت تأثیر تیمارهای تغذیه Si، محلولپاشی SA و اثر متقابل آنها قرار نگرفت (جدول۲). قطر ساقه‌ها با تعداد گل در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۴) و با افزایش قطر ساقه گل، وزن‌تر آنها نیز افزایش معنی‌دار نشان داد (داده ها نمایش داده نشده). بر اساس گزارش Moyer *et al*. (2008) تیمار سیلیسیوم به‌تنهایی تأثیری بر قطر ساقه ژربرا نداشت. از سوی دیگر گزارش گردیده است که تغذیه ژربرا با سیلیسیوم باعث افزایش قطر شاخه گل‌ها و نسبت گل‌های درجه یک تولیدی می‌شود (Savvas *et al*., 2002).

تغذیه سیلیسیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید قبل از برداشت و اثر متقابل آنها نتوانست تغییر معنی‌داری در قطر غنچه‌ها قبل از شکوفایی و همچنین قطر گل‌ها ایجاد کنند (جدول ۲). برخلاف نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه، گزارش گردیده است که کاربرد سیلیکات‌پتاسیم (۰، ۵۰، یا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در داودی ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه را به‌طور قابل‌توجهی نسبت به شاهد افزایش داد. علاوه بر این مصرف ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیس در محلول غذایی تعداد و اندازه گل را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد، ولی هنگامی که گیاهان با سیلیسیوم تیمار شدند ضایعات نکروتیک در برگ‌های مسن‌تر، در آغاز مرحله گلدهی ظاهر شد (Sivanesan *et al*., 2013). در گل صد تومانی نیز مصرف سیلیسیوم باعث افزایش قطر گل گردید (Zhao *et al*., 2013). احتمالاً تغذیه سیلیسیوم اثر مستقیمی روی قطر ساقه یا گل ندارد و در برخی موارد ممکن است به‌دلیل اثر تحریکی و غیر مستقیم بر رشد و بسته به نوع گیاه بتواند قطر ساقه یا گل را نیز به‌طور معنی‌داری افزایش دهد.

تعداد گل در بوته در طول دوره سه ماهه اسفند تا اردیبهشت ماه ارزیابی شد. تعداد گل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تغذیه سیلیسیوم افزایش یافت ($p\leq$۰/۰۰۱). سالیسیلیک‌اسید نیز باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه گل در سطح احتمال ۵٪ گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت ۲۰ میلی‌مولار سیلیسیوم نسبت به دو غلظت دیگر آن اثر معنی‌داری در افزایش تعداد گل داشت. در مورد محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید نیز بیشترین تعداد گل مربوط به بالاترین غلظت آن بود و بین دو غلظت دیگر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اثر متقابل سالیسیلیک‌اسید و سیلیسیوم تأثیر معنی‌داری بر تعداد گل نداشت. تغذیه سلیسیوم برای کشت رز در شرایط کشت بدون خاک باعث افزایش و تحریک رشد رویشی و بهبود کیفیت گل گردید ولی تعداد گل در بوته، طول شاخه و میانگین وزن گل با مصرف آن افزایش نیافت (Savvas *et al*., 2007). مشابه این گزارش در مورد اثر متقابل بین شوری کلریدسدیم و تغذیه سیلیسیوم در ژربرا نیز گزارش گردیده است (Savvas *et al*., 2002). اثر فیزیولوژیکی سیلیسیوم گاهی به‌دلیل ایجاد برگ‌های تیره‌تر، افزایش فعالیت

www.SID.ir

Archive of SID

آنزیم روبیسکو (۵۰٪ فعالیت بیشتر در خیار) و به تاخیر انداختن پیری برگ‌ها است. این تاخیر در پیری ممکن است مربوط به اثر سیلیسیوم در متابولیسم و انتقال هورمون‌های گیاهی نظیر سایتوکنین‌ها باشد (Savvas *et al*., 2002). اثر مثبت و تحریکی سیلیسیوم در رشد گاهی نیز ممکن است به‌صورت غیرمستقیم و از طریق تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در گیاه باشد که با تغییرات در دیواره سلول و یا افزایش مقاومت برگ و سفتی آن باعث ایستایی بهتر برگ و دریافت بهتر و بیشتر نور گردد (Savvas *et al*., 2002). اثر مثبت سالیسیلیک‌اسید بر افزایش و بهبود برخی شاخص‌های رشد از جمله تعداد شاخه در بوته نیز احتمالاً به‌دلیل تأثیر مثبت آن بر کارایی فتوسنتز و افزایش ماده خشک در گیاه بود.

جدول ۲. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس صفات آزمایش اول

Table 2. Means comparison and analysis of variance for traits in first experiment

Source of Variance	df	Mean Square				
		Stem length (cm)	Flower diameter (cm)	Stem diameter (mm)	Flower/plant (3 months period)	Lignin (% of DW)
Block	2	1.356 ns	0.0674 ns	0.056 ns	0.1074 ns	0.438 ns
Si	2	8.083 *	0.171 ns	0.014 ns	4.9459 ***	0.269 ns
SA	2	0.435 ns	0.1775 ns	0.042 ns	1.5857 *	3.759 ***
Si × SA	4	3.358 ns	0.2336 ns	0.193 ns	0.3213 ns	0.158 ns
Error	16	1.557	2.0694	0.193	0.321	0.341
CV (%)		3.531	3.153	5.651	6.743	11.827
Potassium silicate (mM Si)	Salicylic acid (µM)	Mean±SE				
0	0	37.21a ±1.020	11.48 ±0.240	7.65 ±0.425	7.483d ±0.289	4.123c ±0.149
	100	36.24ab ±0.462	11.22 ±0.150	7.88 ±0.136	7.827cd ±0.189	5.450a ±0.308
	200	35.64b ±0.509	11.16 ±0.193	7.69 ±0.104	8.070c ±0.260	4.647b ±0.220
10	0	34.12c ±0.926	11.07 ±0.094	7.51 ±0.238	7.800cd ±0.280	4.330bc ±0.376
	100	33.89c ±0.517	11.56 ±0.244	8.00 ±0.253	8.247c ±0.211	5.383a ±0.431
	200	35.50b ±0.599	11.48 ±0.162	7.87 ±0.081	8.537bc ±0.332	5.323a ±0.433
20	0	34.01c ±0.691	11.56 ±0.245	7.96 ±0.332	8.987b ±0.192	4.200bc ±0.376
	100	35.90b ±0.683	11.90 ±0.273	7.53 ±0.271	8.663bc ±0.622	5.570a ±0.159
	200	35.50b ±0.814	11.21 ±0.143	7.96 ±0.115	10.040a ±0.220	5.413a ±0.457

*، **، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و ns بدون اختلاف.

حروف غیر مشابه نشانه اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. برای میانگین‌های صفات فاقد اختلاف معنی‌دار در جدول تجزیه واریانس، حروفی استفاده نشده است.

*, **, ***: Significant at 5, 1, 0.1% probability level, and ns= non significant, respectively.

Different letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test at P= 0.05 level. For non significant averages in variance analysis table, have not used any letters.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌ها و تجزیه واریانس صفات آزمایش دوم

Table 3. Means comparison and analysis of variance for traits in second experiment

Source	df	Mean Square			
		Vase life (day)	Cell membrane stability (%)	POD ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)	CAT ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)
Block	2	0.560 ns	13.938 ns	0.0004 ns	0.002 ns
Si	2	6.725 *	5.803 ns	0.0007 ns	0.0065 ns
SA	2	15.262 **	103.101 ***	0.0053 ***	0.0386 ***
Si × SA	4	0.347 ns	20.112 *	0.0003 ns	0.0095 ns
Error	16	1.677	6.006	0.0003	0.0043
CV (%)		7.396	2.953	10.360	18.583
Potassium silicate (mM Si)	Salicylic acid (µM)	Mean±SE			
0	0	14.10c ±0.56	74.91d ±2.76	0.149 ±0.006	0.258 ±0.038
	100	15.53bc ±0.41	84.19b ±0.88	0.170 ±0.011	0.382 ±0.030
	200	17.43ab ±0.47	87.07a ±1.38	0.205 ±0.015	0.331 ±0.022
10	0	14.86bc ±0.77	81.11c ±0.91	0.156 ±0.003	0.326 ±0.061
	100	15.80bc ±0.26	84.21b ±0.86	0.191 ±0.011	0.373 ±0.026
	200	17.24ab ±1.13	85.32ab ±1.92	0.188 ±0.015	0.425 ±0.044
20	0	16.25b ±0.94	81.50c ±0.64	0.130 ±0.004	0.271 ±0.026
	100	17.33ab ±0.92	83.90b ±0.55	0.169 ±0.009	0.329 ±0.038
	200	18.33a ±0.52	84.57b ±2.10	0.187 ±0.012	0.490 ±0.031

*، **، ***: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و ns بدون اختلاف.

حروف غیر مشابه نشانه اختلاف معنی‌دار براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. برای میانگین‌های صفات فاقد اختلاف معنی‌دار در جدول تجزیه واریانس، حروفی استفاده نشده است.

*, **, ***: Significant at 5, 1, 0.1% probability level, and ns= non significant, respectively.

Different letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test at P= 0.05 level. For non significant averages in variance analysis table, have not used any letters.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار لیگنین‌ها در بافت ساقه تحت تأثیر محلول‌پاشی قبل از برداشت SA افزایش یافت ($p\leq ۰/۰۱$) ولی تأثیر سیلیسیوم و نیز اثر متقابل آن با SA بر مقدار لیگنین معنی‌دار نبود (جدول ۲). بین غلظتهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میکرومولار محلول‌پاشی SA تفاوتی از نظر مقدار لیگنین‌ها وجود نداشت ولی با اختلاف معنی‌داری مقدار لیگنین‌های بیشتری نسبت به تیمارهای بدون SA داشتند. ضعف ژربرا می‌تواند مربوط به عدم نمو کافی دیواره سلولی در بافت ساقه باشد که در زمان برداشت گل هنوز در مرحله رشد طولی است (Van Doorn, 2012). دیواره ثانویه سلول عمدتا از سه کربوهیدرات سلولز، لیگنین‌ها و همی‌سلولزها تشکیل شده است (Gallego-Giraldo *et al*., 2011). سیلیسیوم به‌طور متفاوتی بر ویژگی سه پلیمر اصلی دیوارسلولی، از جمله بر تبلور سلولز[1]، میزان جایگزینی آرابینوز/ زایلان و نسبت سیناپیل الکل در لیگنین‌های استخراجی تأثیرگذار است (Zhang *et al*., 2015). مطالعه محل‌های رسوب Si در دیواره‌های سلولی نشان‌دهنده ارتباط آن با قندهای محلول و اجزای پروتئینی و همچنین اتصال کووالانسی به مواد آلی در دیواره‌های سلول است. پیشنهاد شده است که Si می‌تواند برای برخی از موارد، از جمله استحکام ساختاری، جایگزین کربن شود و Si یک جایگزین با صرف انرژی کمتر اما بدون قابلیت انتقال مجدد در مقایسه با سنتز لیگنین و سلولز، به‌خصوص تحت شرایط محدودیت رشد یا تنش باشد (Vulavala *et al*., 2016).

در میان عناصر معدنی در دیواره‌های سلولی، بور (B) و Si باعث حفظ استحکام فیزیکی ساختار دیواره سلول می‌شوند. بور در دولپه‌ای‌ها عمدتاً نقش حفظ یکپارچگی دیواره سلول را داراست و با پلی‌ساکارید رامنوگلوکانII[2] در پکتین پیوند کووالانسی برقرار می‌کند (Broadley *et al*., 2012). یافته‌های جدید نشان داده که ترکیبات سیلیکات کربوهیدرات‌ها نیز می‌تواند خود به خود توسط واکنش فورموز[3] به‌وجود آید. این روش شبیه به واکنش فورموز پیشنهادی برای عنصر بور است، با این تفاوت که مواد معدنی سیلیکات‌ها و یون سیلیکات بسیار گسترده‌تر و راحت‌تر در دسترس هستند. افزودن پلی‌ال‌های[4] آلیفاتیک (مولکول‌های شبه‌قند) به محلول‌های آبی سیلیکات منجر به تشکیل غلظت بالایی از کمپلکس‌های پلی‌اولات[5] پایدار حاوی پنج یا شش اتم سیلیسیوم کوردینه‌شده می‌گردد. مشاهده سهولت اتصال سیلیسیوم به پلی‌ال‌ها برای تشکیل کمپلکسهای چند بنیانی[6] سیلیکات راه‌حل اساسی در ارتباط با درک نقش بیوشیمیایی سیلیسیوم در دیواره‌های سلولی و ترکیبات حاوی پیوند Si-O-C در طبیعت بود (He *et al*., 2013).

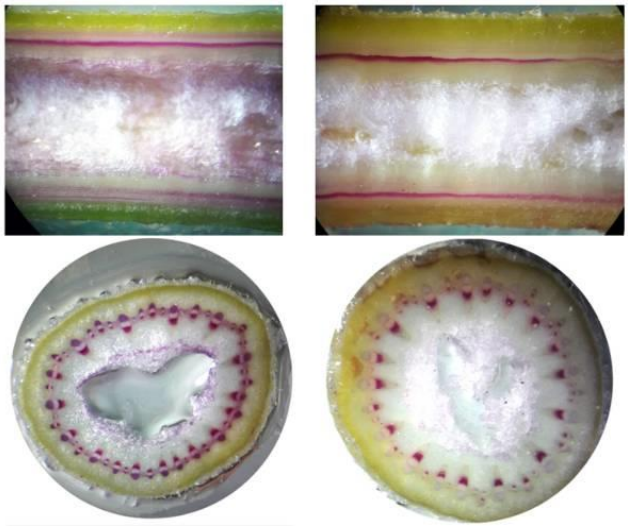
در این مطالعه میزان لیگنین با درصد وزن خشک ساقه همبستگی داشت ($r=۰/۴۴۸^{*}$). تیمار سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش درصد ماده خشک بافت ساقه شد (داده‌ها نمایش داده نشده) و احتمالاً این افزایش ماده خشک بیشتر مربوط به مواد دیواره سلولی بود. بررسی هیستوشیمیایی لیگنین‌ها در بافت ساقه گل نیز نشان داد که سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش میزان لیگنین در اطراف دسته‌های آوندی و آوند چوبی در ساقه گردید (شکل ۱). تغذیه سیلیسیوم همراه با محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید همچنین توانست تا حدود زیادی از حجم حفره میانی ساقه به‌خصوص در نیمه پایینی بافت ساقه و قسمت زیر گل بکاهد (شکل ۲).

براساس نتایج آزمایش دوم، فعالیت آنزیم پراکسیداز کاملاً تحت تأثیر تیمار بعد از برداشت SA یعنی قرار دادن گل‌ها داخل این محلول بود ($p\leq ۰/۰۰۱$) (جدول۳). بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمارهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار پس از برداشت سالیسیلیک‌اسید و با اختلاف معنی‌داری بیش از تیمارهای بدون SA بود. تغییرات فعالیت آنزیم پراکسیداز با آنزیم کاتالاز کاملاً هماهنگ و دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). با افزایش فعالیت این آنزیم پایداری غشای سلولی نیز افزایش یافت (جدول ۵).

1. Cellulose crystallinity
2. Rhamonogalacturonan II
3. Formose reaction
4. Polyol
5. Polyolate
6. Hypervalent

www.SID.ir

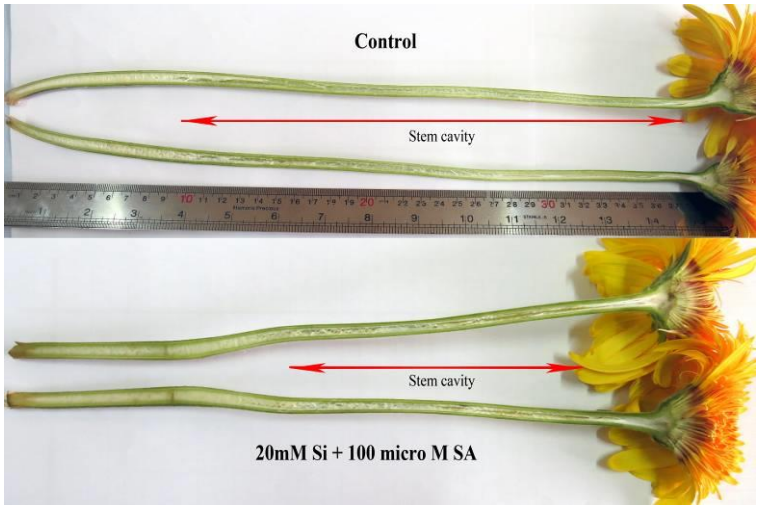
Archive of SID



100 µM SA Control

شکل ۱. برش‌های طولی (عکس‌های بالا) و دسته‌های آوندی در مقطع عرضی (عکس‌های پایین) قسمت میانی ساقه ژربرا تحت تأثیر محلول‌پاشی SA در مقایسه با شاهد (سمت راست). نواحی قرمز نشانه وجود و تراکم لیگنین‌هاست که با استفاده از فلوروگلوسینول هیدروکلراید رنگ‌آمیزی گردیده است.

Figure 1. The longitudinal sections (above) and vascular bundles in the cross section (bottom) in the middle part of SA treated gerbera stem, compared with the control (right). The red area indicates the presence and concentration of lignin which is stained with phloroglucinol hydrochloride.



شکل ۲. مقایسه برش طولی ساقه ژربرا از نظر طول حفره خالی ساقه (خطوط افقی) و کیفیت بافت قسمت زیر گل و اندازه طول ساقه

Figure 2. Comparison of stem length and stem cavity size (horizontal lines), and texture quality of the flowers scape

جدول ۴. ضرایب همبستگی صفات (به‌روش پیرسون) برای آزمایش اول

Table 4. Pearson correlation coefficients for first experiment

	Stem length (cm)	Flower diameter (cm)	Stem diameter (mm)	Flower/plant (3 months period)	Lignin (% of DW)	Stem fresh weight (g)
Stem length (cm)	1					
Flower diameter (cm)	0.1583 ^{ns}	1				
Stem diameter (mm)	-0.146 ^{ns}	0.1203 ^{ns}	1			
Flower/plant (3 months period)	-0.1126 ^{ns}	0.1069 ^{ns}	0.4096 **	1		
Lignin (% of DW)	0.1651 ^{ns}	0.1475 ^{ns}	-0.018 ^{ns}	0.2305 ^{ns}	1	
Stem fresh weight (g)	0.0306 ^{ns}	0.0363 ^{ns}	0.7725 ***	0.4743 *	0.1248 ^{ns}	1

*، **، *** و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و ns بدون اختلاف.

*, **, ***, ns: Significance respectively at 0.05, 0.01 and 0.001 levels and non-Significant, respectively.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵. ضرایب همبستگی صفات (به‌روش پیرسون) برای آزمایش دوم

Table 5. Pearson correlation coefficients for second Experiment

	Vase life (day)	Cell membrane stability (%)	POD ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)	CAT ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)
Vase life (day)	1			
Cell membrane stability (%)	0.458*	1		
POD ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)	0.3739 ns	0.411*	1	
CAT ($U.mg^{-1}.min^{-1}$)	0.399*	0.401*	0.461*	1

*، **، *** و ns: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد و ns بدون اختلاف.

*, **, ***, ns: Significance respectively at 0.05, 0.01 and 0.001 levels and non-Significant, respectively.

فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمارهای ۲۰۰ و ۴۰۰ میکرومولار پس از برداشت سالیسیلیک‌اسید بیشتر و از لحاظ آماری متفاوت با تیمارهای بدون SA بود. و از این نظر رفتاری کاملاً مشابه آنزیم پراکسیداز داشت. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز با افزایش پایداری غشای پلاسمایی (جدول ۵) و ماندگاری گل (جدول ۵) همراه بود. در رز رقم Hot lady تیمار سیلیسیوم بر درصد نشت یونی و میزان مالون‌دی‌آلدئید اثر معنی‌دار داشت و باعث افزایش نشت یونی و مالون‌دی‌آلدئید نسبت به شاهد گردید (Reezi, 2010). گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند O^{2-} و H_2O_2 و یا (OH^-) باعث تخریب پروتئین‌ها، چربی‌ها و اسیدهای نوکلئیک شده و منجر به پیری می‌شوند (Arora *et al*., 2002). اثر سیلیسیوم بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر زمان و نوع گونه گیاه متفاوت است (Zhu & Gong, 2014). در مورد تغذیه سیلیسیوم به‌نظر می‌رسد که اثر آنتی‌اکسیدانی آن در شرایط تنش و بیماری مشهودتر است. علاوه براین ممکن است اثر آن به نوع ترکیب حاوی سیلیسیوم و نیز غلظت آن مربوط باشد. افزایش فعالیت پراکسیداز و در ملون‌های تیمارشده با سیلیکات‌سدیم مشاهده شده، اما این نتیجه در تیمار با اکسید سیلیسیوم تأیید نشده است (Guo *et al*., 2007). سیلیسیوم تأثیر منفی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت نشان نداد.

نشت یونی و پایداری غشای سلولی

پایداری غشای سلولی و نشت یونی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار پس از برداشت SA ($p\leq۰/۰۰۱$) و نیز اثر متقابل آن با سیلیسیوم ($p\leq۰/۰۵$) بود (جدول ۳). در تیمارهای دارای SA در مقایسه با تیمارهای بدون SA پایداری غشای سلولی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

پیری گلبرگ معمولاً زوال مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و بیوفیزیکی همراه با کاهش مقدار پروتئین، افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و کاهش سیالیت لیپیدهای غشای سلولی است (Arora *et al*., 2002). گزارش گردیده است که برخی اثرات مثبت SA حتی در گیاهان تحت تنش ممکن است مربوط به القای واکنش آنتی‌اکسیدانی و نقش حفاظتی غشای پلاسمایی توسط این ترکیب باشد که موجب افزایش تحمل گیاه به آسیب مربوط می‌شود (Yildirim *et al*., 2009). افزایش پایداری غشا موجب افزایش ماندگاری گل گردید (جدول ۵). در این مطالعه تغذیه قبل از برداشت سیلیسیوم اثر معنی‌داری بر پایداری غشای سلولی بعد از برداشت نداشت.

عمر پس از برداشت گل

عمر پس از برداشت گل‌ها کاملاً تحت تأثیر تغذیه سیلیسیوم بود ($p\leq۰/۰۵$) (جدول ۳). استفاده از سالیسیلیک‌اسید نیز برای نگهداری گل باعث افزایش ماندگاری بیشتر گل‌ها گردید ($p\leq۰/۰۱$). اما اثر متقابل دو عامل معنی‌دار نبود. با افزایش غلظت سیلیسیوم عمر پس از برداشت گل‌ها افزایش یافت و بیشترین عمر گل‌ها مربوط به بالاترین غلظت آن بود. همچنین عمر پس از برداشت گل‌ها با تیمار ۴۰۰ میکرو مولار SA به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو غلظت دیگر آن بود. استفاده از تیمار پس از برداشت سیلیسیوم و استیل سالیسیلیک‌اسید موجب افزایش ماندگاری و کاهش میزان مالون‌دی‌آلدئید و نفوذپذیری غشای سلولی و فعالیت آنزیم ACC اکسیداز در رز شاخه بریده گردیده است (Kazemi *et al*., 2012). تغذیه ژربرا با سیلیسیوم در ارقام مختلف باعث افزایش ماندگاری گل و کاهش تعداد گل‌های با خمیدگی‌گردن می‌گردد

www.SID.ir

Archive of SID

(Ritcher, 2001; Savvas *et al*., 2002). کمبود آب باعث خمیدگی یا شکستن ساقه شده و عمر گل قبل از موعد خاتمه می‌یابد. گزارش گردیده که تیمار SA موجب افزایش پتانسیل آب و محتوای نسبی آب برگ می‌شود. محلول‌پاشی SA می‌تواند تبخیر و تعرق را کاهش و مقاومت انتشار روزنه برگ در گیاهان را افزایش دهد (Romero-Aranda *et al*., 2006).

نتیجه‌گیری کلی

کیفیت ساقه به‌عنوان مهم‌ترین ضعف گل ژربرا کاملاً تحت تأثیر تیمارهای تغذیه سیلیسیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بهبود یافت. سالیسیلیک‌اسید باعث تقویت بیوسنتز لیگنین‌ها به‌ویژه در اطراف دسته‌های آوندی و آوند چوبی در ساقه گردید. عملکرد تعداد گل در بوته تحت تأثیر بالاترین غلظت‌های تغذیه سیلیسیوم و محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید افزایش یافت. فعالیت بیشتر آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز تحت تأثیر تیمار بعد از برداشت SA با افزایش پایداری غشای سلولی و عمر پس از برداشت گل‌ها همراه بود. در مجموع به‌نظر می‌رسد که سالیسیلیک‌اسید در کنار تغذیه سیلیسیوم با بهبود خصوصیات کیفی ساقه و گل و نیز SA به‌عنوان عامل فعال‌سازی آنزیم‌های ضد پیری پس از برداشت گل هر دو باعث افزایش ماندگاری پس از برداشت گل گردیدند.

REFERENCES

1. Alaey, M., Babalar, M., Naderi, R. & Kafi, M. (2011). Effect of pre-and postharvest salicylic acid treatment on physio-chemical attributes in relation to vase-life of rose cut flowers. *Postharvest Biology and Technology*, 61(1), 91-94.
2. Al-aghabary, K., Zhu, Z. & Shi, Q. (2005). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal of plant nutrition*, 27(12), 2101-2115.
3. Arora, A., Sairam, R. K. & Srivastava, G. C. (2002). Oxidative stress and anti-oxidative system in plants. *Current Science Bangalore*, 82(10), 1227-1238.
4. Azadi, P. & Ploeg, R. V. (2016). Will Iran bloom into its full potential? *Floraculture*, 26(09).
5. Barakatain, L., Nikbakht, A., Etemadi, N. & Ali, J. K. (2013). Effect of source and method of silica application on some of the quantitative and physiological characteristics of *Gerbera jamesonii* L. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(13), 39-47. (in Farsi)
6. Beauchamp, C. & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 44(1), 276-287.
7. Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z. & Zhao, F. (2012). Beneficial Elements. In: P. Marschner (Ed), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3d Ed.) (pp 249-269). Elsevier Ltd.
8. CBI Trade Statistics (2016). *Cut Flowers and Foliage*. CBI Market Intelligence. The Netherlands.
9. Chance, B. & Maehly, A. C. (1957). Assay of catalases and peroxidases. *Methods in enzymology*, 2, 764-775.
10. Cooke, J. & Leishman, M. R. (2011) Is plant ecology more siliceous than we realise? *Trends in Plant Sciences*, 16(2), 61-68.
11. Dong, J., Wan, G. & Liang, Z. (2010). Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzymes in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. *Journal of Biotechnology*, 148(2), 99-104.
12. Dragišić Maksimović, J., Bogdanović, J., Maksimović, V. & Nikolic, M. (2007). Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *170*(6), 739-744.
13. Epstein, E. (1994). The anomaly of silicon in plant biology. In: Proceedings of *the National Academy of Sciences*. U.S.A, 91, 11-17.
14. Ferrante, A., Alberici, A., Antonacci, S. & Serra, G. (2007). Effect of promoter and inhibitors of phenylalanine ammonia lyase enzyme on stem bending of cut gerbera flowers. *Acta Horticulture*, 755, 471-476.
15. Ferreira, L. C., Cataneo, A. C., Remaeh, L. M. R., Corniani, N., de Fátima Fumis, T., de Souza, Y. A., Scavroni, J. & Soares, B. J. A. (2010). Nitric oxide reduces oxidative stress generated by lactofen in soybean plants. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 97(1), 47-54.
16. Gallego-Giraldo, L., Escamilla-Trevino, L., Jackson, L.A. & Dixon, R.A. (2011). Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants. In: Proceedings of *the National Academy of Sciences* USA, 108, 20814-20819.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Gerailoo, S. & Ghasemnezhad, M. (2011). Effect of salicylic acid on antioxidant enzyme activity and petal senescence in 'Yellow Island' cut rose flowers. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 19, 183-193.
18. Guo, Y., Liu, L., Zhao, J. & Bi, Y. (2007). Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling *Trichothecium roseum* postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 1012-1018.
19. Haghani, M., Nikbakht, A., Ping Xia, Y. & Pessarakli, M. (2014). Influence of Humic Acid in Diluted Nutrient Solution on Growth, Nutrient Efficiency, and Postharvest Attributes of Gerbera. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45, 177-188.
20. Hajizadeh, H. S. & Aliloo, A. (2013). The Effectiveness of Pre-Harvest Salicylic Acid Application on Physiological Traits in Lilium (*Lilium longiflorum* L.) Cut Flower. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 1(12), 344.
21. He, C., Wang, L., Liu, J., Liu, X., Li, X., Ma, J., Lin, Y. & Xu, F. (2013). Evidence for 'silicon' within the cell walls of suspension-cultured rice cells. *New Phytologist*, 200, 700-709.
22. Kamenidou, S., Cavins, T. J. & Marek, S. (2009). Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Scientia Horticulturae*, 119(3), 297-301.
23. Kazemi, M., Gholami, M., Asadi, M. & Aghdasi, S. (2012). Efficiency of Silicon, Nickel and Acetylsalicylic Acid Reduced Senescence and Extended Vase Life of Cut Rose Flowers. *Trends in Applied Sciences Research*, 7, 590-595.
24. Leatherwood, R. & Mattson, N. (2010). *Adding Silicon to the Fertilizer Program in Poinsettia Production: Benefits and Facts.* Cornell University, Cooperative Extension.
25. Liang, Y. (1999). Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil*, 209(2), 217-224.
26. Liang, Y., Chen, Q. I. N., Liu, Q., Zhang, W. & Ding, R. (2003). Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of plant physiology*, 160(10), 1157-1164.
27. Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q. & Ding, R. (2005a). Effects of silicon on H^+-ATPase and H^+-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (Hordeum vulgare L.). *Environmental and Experimental Botany*, 53(1), 29-37.
28. Liang, Y. C., Sun, W. C., Si, J. & Römheld, V. (2005b). Effects of foliar- and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in Cucumis sativus. *Plant Pathology*, 54(5), 678-685.
29. Liang, Y., Zhang, W., Chen, Q., Liu, Y. & Ding, R. (2006). Effect of exogenous silicon (Si) on H^+-ATPase activity, phospholipids and fluidity of plasma membrane in leaves of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 57(3), 212-219.
30. Ma, J. F. (2004) Role of silicon in enhancing the resistance of plant to biotic and abiotic stress. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1), 11-18.
31. Ma, J. F., Miyake, Y. & Takahashi, E. (2001). Silicon as a beneficial element for crop plants. In: L.E. Datnoff G.H. Snyder & G.H. KorndOrfer (Eds) *Silicon in Agriculture*. (Pp17-39). Elsevier.
32. Ma, J. F. & Takahashi, E. (2002). *Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan*. Elsevier Pub, Amsterdam.
33. Moyer, C., Peres, N. A., Datnoff, L. E., Simonne, E. H. & Deng, Z. (2008). Evaluation of Silicon for Managing Powdery Mildew on Gerbera Daisy. *Journal of Plant Nutrition*, 31(12), 2131-2144.
34. Nazari delju, M. J., Khalighi, A., Arab, M., Karamian, R. & Jaberian, H. H. (2015). Effect of postharvest pulse treatment of salicylic acid on phenylalanine ammonia-lyase activity (PAL), lignin formation and stem bending disorder of gerbera cut flowers. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46(2), 279-290. (in Farsi)
35. Osborne, D. J. & McManus, M. T. (2005). *Hormones, signals and target cells in plant development* (Vol. 41). Cambridge University Press.
36. Panavas, T. & Rubinstein, B. (1998). Oxidative events during programmed cell death of daylily (Hemerocallis hybrid) petals. *Plant Science*, 133, 125-138.
37. Perik, R. R., Razé D., Harkema, H., Zhong, Y. & Van Doorn, W. G. (2012). Bending in cut Gerbera jamesonii flowers relates to adverse water relations and lack of stem sclerenchyma development, not to expansion of the stem central cavity or stem elongation. *Postharvest Biology and Technology*, 74, 11-18.
38. Prochazkova, D., Sairam, R. K., Srivastava, G. C. & Singh, D. V. (2001). Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161(4), 765-771.
39. Reezi, S. (2010). *Effects of silicon and salicylic acid on quality of cut roses and powdery mildew disease in hydroponic system*. Ph. D. Thesis. College of Agriculture and Natural Resources. University of Tehran. Iran. (in Farsi)

www.SID.ir

Archive of SID

40. Ritcher, M. (2001). Silicon fertilization and vase life of gerbera. *Das Magazin fur Zierpflanzenbau*, 22, 42-44.
41. Rogers, L. A., Dubos, C., Surman, C., Willment, J., Cullis, I. F., Mansfield, S. D. & Campbell, M. M. (2005). Comparison of lignin deposition in three ectopic lignification mutants. *New Phytologist*, 168(1), 123-140.
42. Romero-Aranda, M.R., Jurado, O. & Cuartero, J. (2006). Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology*, 163, 847- 855.
43. Sahebi, M., Hanafi, M. M. & Azizi, P. (2016). Application of silicon in plant tissue culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*, 1-7.
44. Savvas, D., Manos, G., Kotsiras, A. & 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. *Journal of Applied Botany*, 76, 153-158.
45. Savvas, D., Gizas, G., Karras, G., Lydakis-Simantiris, N., Salahas, G., Papadimitriou, M. & Tsouka, N. (2007). Interactions between Silicon and NaCl-Salinity in a Soilless Culture of Roses in Greenhouse. *European Journal of Horticultural Science*, 72(2), 73-79.
46. Sivanesan, I., Sook Son, M., Yeon Song, J. & Ryong Jeong, B. (2013). Silicon Supply through the Subirrigation System Affects Growth of Three Chrysanthemum Cultivars**.** *Horticulture & Environment Biotechnology*, 54(1), 14-19.
47. Van Doorn, W. G. (2012). Water relations of cut flowers: an update. *Horticultural Reviews*, 40, 55-106.
48. Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J. & Boerjan, W. (2010). Lignin biosynthesis and structure. *Plant physiology*, 153(3), 895-905.
49. Vulavala, V. K., Elbaum, R., Yermiyahu, U., Fogelman, E., Kumar, A. & Ginzberg, I. (2016). Silicon fertilization of potato: expression of putative transporters and tuber skin quality. *Planta*, 243(1), 217-229.
50. Wang, W., Chen, W., Luo, H., Jiang, L. & Yu, Z. (2016). Effect of Salicylic Acid on Lignification of Fresh-cut *Zizania Latifolia* and the Possible Biochemical Mechanisms. *Journal of Food Engineering and Technology*, 5(2), 1-7.
51. Yamamoto, T., Nakamura, A., Iwai, H., Ishii, T., Ma, J. F., Yokoyama, R., Nishitani, K., Satoh, S. & Furukawa, J. (2012). Effect of silicon deficiency on secondary cell wall synthesis in rice leaf. *Journal of Plant Research*, 125(6), 771-9.
52. Yildirim, E., Turan, M. & Guvenc, I. (2008). Effect of foliar salicylic acid applications on growth, chlorophyll, and mineral content of cucumber grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 31(3), 593-612.
53. Zhang, J., Zou, W., Li, Y., Feng, Y., Zhang, H., Wu, Z. Tu, Y. Wang, Y. Cai, X. & Peng, L. (2015). Silica distinctively affects cell wall features and lignocellulosic saccharification with large enhancement on biomass production in rice. *Plant Science*, 239, 84-91.
54. Zhao, D., Hao, Z., Tao, J. & Han, C. (2013). Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Scientia Horticulturae*, 151, 165-172.
55. Zhu, Y. & Gong, H. (2014). Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. *Agronomy for sustainable development*, 34(2), 455-472.
56. Zhu, Z., Wei, G., Li, J., Qian, Q. & Yu, J. (2004). Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Science*, 167(3), 527-533.

www.SID.ir