

اثرهای سیلیکون بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش خمیدگی گل بریدنی ژربرا

(*Gerbera jamesonii* Bolus)

جواد صادقی^۱، همایون فرهمند^{۲، ۱}، فاطمه نصیبی^۳، روح اله عبدالشاهی^۴

۱. بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۲. بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

۳. بخش زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

۴. بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

✉ hfarahmand@uk.ac.ir, h.farahmand@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۲۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۸

چکیده

صنعت گل بریدنی از اهمیت اقتصادی بالایی در سطح جهان برخوردار است. ژربرا، یکی از محبوب‌ترین گل‌های بریدنی در ایران و جهان است و بهبود عمر پس از برداشت آن، اهمیت زیادی دارد. خمیدگی ساقه در اولین مراحل عمر گلجایی، یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از رقم‌های این گل است. در این پژوهش، سیلیکون به‌عنوان یک ترکیب آنتی‌اکسیدان در غلظت‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار استفاده شد و اثرهای آن بر برخی شاخص‌های اکسیداتیو، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیااز (PAL) و پلی فنول اکسیداز (PPO) در سه رقم ژربرا Rosalin، Apollo و Stanza، بررسی شد. مطالعات بافت‌شناسی نیز با برش دستی و میکروسکوپ نوری انجام شد. کاربرد سیلیکون، عمر گلجایی را در هر سه رقم ژربرا افزایش داد. کمترین عمر گلجایی (۶ روز) در رقم Stanza، بدون کاربرد سیلیکون و بیشترین عمر گلجایی (۱۷/۳۳ روز) در رقم Rosalin و با کاربرد سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار به دست آمد. همچنین، افزایش معنی‌دار در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و PAL دیده شد، درحالی‌که فعالیت PPO و پراکسیداسیون لیپیدها به میزان معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد که سیلیکون با ربایش رادیکال‌های آزاد، حفظ یکپارچگی غشاء، کاهش فعالیت آنزیم PPO و افزایش بافت‌های استحکامی و آوندی، سبب بهبود کیفیت پس از برداشت گل ژربرا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ژربرا، عمر گلجایی، کیفیت پس از برداشت.

مقدمه

صنعت گیاهان زینتی و گل بریدنی در سطح جهان، از دیدگاه اقتصادی و اشتغال‌زایی مهم است و بیش از ۹۰ کشور جهان در این صنعت نقش دارند به‌گونه‌ای که سالانه ارزشی برابر با ۳۰۰ میلیارد دلار دارد (Darras, 2021; Meir & Philosoph-Hadas,

(2021). ژربرا^۱ گیاهی زینتی از تیره میناسانان^۲ است که بومی جنوب آفریقا، ماداگاسکار، آسیا و اندونزی بوده و دارای حدود ۳۰ گونه می‌باشد (Manning et al., 2016). ژربرا، یکی از ۵ گل مهم بریدنی جهان است که گردش مالی بزرگی را در صنعت گیاهان زینتی به خود اختصاص داده است (Zhao et al., 2020). ارزش زیباشناختی ژربرا به دلیل گلبرگ‌های حاشیه‌ای زیبای آن بوده که دارای دامنه‌ای از رنگ‌ها مانند زرد، سفید، بنفش، نارنجی، قرمز و صورتی می‌باشد (Dole & Wilkins, 2011). گل ژربرا از گل‌های بریدنی محبوب بازار ایران است و پژوهش‌های گوناگونی که در چند سال گذشته روی کیفیت پس از برداشت آن انجام شده است، اهمیت این گل را نشان می‌دهد (Mirzaei et al., 2019, Abbasi et al., 2018, Sadeghi Feragheh et al., 2015). یکی از چالش‌های عمده گل‌های بریدنی ژربرا، خمیدگی ساقه گل است که باعث اختلال در روابط آبی و تشدید روند پیری می‌گردد (Kumari et al., 2022). در ابتدا، این فرضیه وجود داشت که علت خمیدگی ساقه گل‌ها، نیروی جاذبه و سنگینی گل‌آذین است اما از آنجایی که پدیده خمیدگی در تمام رقم‌ها دیده نشد، این فرضیه منتفی شد و پژوهشگران متوجه شدند که عوامل دیگری به جز وزن گل‌آذین، بر خمیدگی ساقه تأثیر دارد (Perik et al., 2012).

پژوهش‌های سال‌های گذشته بیانگر این است که عوامل گوناگونی مانند نبود یا کمبود استحکام مکانیکی، بسته شدن آوندی، طول شدن ساقه و کمبود بافت‌های استحکامی مانند اسکلرانشیم و لیگنین، در خمیدگی ساقه گل‌ها نقش دارند. همچنین، گزارش شده است که با جلوگیری از رشد باکتری‌ها در محلول گلجای، عمر گلجایی افزایش و خمیدگی ساقه‌ها نیز کاهش یافته است (Li et al., 2009)، اگرچه گزارش‌های متناقضی در این زمینه وجود دارد (Witt et al., 2014)، اما به‌تازگی ارتباط بین باکتری‌ها و خمیدگی ساقه گل دهنده ژربرا، به‌شدت وابسته به رقم گزارش شده است (Schouten et al., 2018). خمیدگی گردن در گل‌های بریدنی دیگری مانند ورد یا رز نیز یکی از عوامل کاهش کیفیت پس از برداشت است (Fazli et al., 2020). سیلیکون^۳ به‌عنوان یک عنصر مؤثر در گیاه در شرایط تنش‌های زیستی و غیر زیستی شناخته شده است (Liang et al., 2007). وظایف اصلی سیلیکون در گیاه را می‌توان به سه دسته ساختاری، فیزیولوژیکی و حفاظتی تقسیم‌بندی کرد (Hansen et al., 1976). سیلیکون به دلیل کارکردهای گوناگون در رشد و نمو گیاهان، کاربردهای متفاوتی در صنعت گیاهان زینتی دارد. این عنصر سبب افزایش عمر گلجایی و کیفیت ظاهری گل‌های بریدنی و همچنین افزایش دوره گلدهی گیاهان گلدانی می‌شود (Kumari et al., 2022). کاربرد پیش و پس از برداشت سیلیکون، سبب افزایش عمر گلجایی (Aghajani & Jafarpour, 2016) و همچنین افزایش ضخامت ساقه‌های گل‌دهنده (Kamenidou et al., 2010) در گل بریدنی ژربرا شده است. افزون بر این، کاربرد هم‌زمان اسید سالیسیلیک و سیلیکون پیش از برداشت، سبب افزایش استحکام ساقه در گل بریدنی ژربرا شد (Babalar et al., 2016). اثر مثبت کاربرد تغذیه‌ای و پس از برداشت سیلیسیوم روی ماندگاری گل ژربرا توسط ادریسی و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش شده است. کاربرد سیلیکون باعث افزایش کیفیت پس از برداشت در گل صدتومانی^۴ (Song et al., 2021, Zhao et al., 2012) و گل لیسیانوس^۵ (Kamiab et al., 2017) شده است. در گل بریدنی نرگس، غلظت ۵ میلی مولار سیلیکون سبب افزایش کیفیت پس از برداشت و عمر گلجایی شد (Bayat & Aminifard, 2018).

۱- Transvaal daisy, Barberton daisy, African daisy (*Gerbera jamesonii* Bolus) -
 ۲- Asteraceae -
 ۳- Silicon -
 ۴- *Euostoma grandiflora* cv. Echo -
 ۵- *Paeonia lactiflora* Pall-
 گل و گیاهان زینتی



ژربرا یکی از گل‌های بریدنی مهم جهان است و در ایران نیز از گل‌های محبوب مصرف‌کنندگان است که دارای عمر گلجایی به نسبت کوتاهی است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر آنتی‌اکسیدانی سیلیکون بر عمر گلجایی در سه رقم ژربرا Rosalin, Stanza و Apollo بود. در این پژوهش، اثر سیلیکون در کاهش خمیدگی گل ژربرا از لحاظ بافت‌شناسی و ساختاری نیز بررسی شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با ۳ تیمار و ۳ تکرار در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. شاخه‌های گل بریدنی ژربرا که ۳۰ سانتی‌متر طول داشتند پس از برش در ۲ غلظت سیلیکون (۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار) قرار گرفتند. یک ظرف حاوی آب مقطر نیز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در هر تیمار، ۶ شاخه گل در ظروف حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر از محلول قرار گرفتند. سه شاخه گل برای بررسی‌های بیوشیمیایی و سه شاخه گل برای بررسی عمر گلجایی، در نظر گرفته شد.

عمر گلجایی

زمانی که گل‌های شاهد پژمرده شدند و بازارپسندی خود را از دست دادند، به‌عنوان پایان عمر گلجایی گل‌های شاهد در نظر گرفته شد. در این زمان از گل‌های شاهد و تحت تیمار برای اندازه‌گیری پارامترهای بیوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های مورد نظر، نمونه‌برداری شد. بقیه شاخه‌ها تا پایان عمر گلجایی آن‌ها، نگهداری شدند. پایان عمر گلجایی زمانی در نظر گرفته شد که گلبرگ‌های گل پژمرده شدند و ارزش بازارپسندی خود را از دست دادند.

اندازه‌گیری پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی

اندازه‌گیری غلظت مالون دی‌آلدهید (MDA) به روش (Heath & Packer, 1969) انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت گلبرگ در هاون چینی حاوی ۵ میلی‌لیتر اسید تری کلرواستیک (TCA) ۰/۱ درصد سائیده شد. عصاره حاصل با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در $10000 \times g$ سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ۵ میلی‌لیتر محلول TCA ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد اسید تیوباربیتوریک (TBA) بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سلسیوس حمام آب گرم حرارت داده شد. سپس بلافاصله در حمام یخ سرد گردید و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در $10000 \times g$ سانتریفیوژ گردید. شدت جذب این محلول با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده موردنظر در این طول موج کمپلکس قرمز رنگ MDA-TBA است. جذب بقیه‌ی رنگی‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر شد. برای محاسبه MDA از ضریب خاموشی معادل $10^5 \times 10^0 \text{ mM}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ استفاده شد و نتایج حاصل از اندازه‌گیری برحسب میکرومول برگرم وزن تر محاسبه و ارائه گردید.

اندازه‌گیری میزان پراکسید هیدروژن (H_2O_2)

مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس واکنش H_2O_2 با پتاسیم یدید (KI) و با روش (Alexieva, 2001) انجام شد. در این روش، ۰/۲ گرم از بافت گلبرگ در ۳ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید (TCA) ۰/۱ درصد سرد سائیده شد. عصاره حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در $5000 \times g$ سانتریفیوژ گردید. سپس به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره رویی، ۵۰۰ میکرولیتر بافر فسفات پتاسیم (pH=۷) ۱۰۰ mM و دو میلی‌لیتر پتاسیم یدید یک مولار اضافه گردید. مخلوط واکنش به مدت یک ساعت در تاریکی در دمای اتاق قرار داده شد و سپس جذب نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر، اندازه‌گیری شد. برای محاسبه غلظت پراکسید



هیدروژن از منحنی استاندارد استفاده شد. برای رسم منحنی استاندارد غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار پراکسید هیدروژن تهیه شد و منحنی جذب برحسب غلظت، رسم و غلظت پراکسید هیدروژن برحسب میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه و گزارش شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌ها

تهیه عصاره پروتئینی

۵۰۰ میلی‌گرم از بافت تازه گلبرگ در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۵) که حاوی پلی‌وینیل‌پیرولیدین (PVP) یک درصد و EDTA یک میلی‌مولار بود، سائیده شد. تمام مراحل استخراج در یخ انجام گرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در $5000 \times g$ و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. از محلول شفاف رویی برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها استفاده گردید (Gapinska *et al.*, 2008).

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

سنجش فعالیت کاتالاز بر اساس کاهش جذب آب‌اکسیژنه در طول موج ۲۴۰ نانومتر صورت گرفت (Dhindsa *et al.*, 1981). مخلوط واکنش (۳ میلی‌لیتر) شامل بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار، آب‌اکسیژنه ۱۵ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با افزودن آب‌اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش آغاز شد و کاهش در جذب آب‌اکسیژنه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. منحنی تغییرات جذب به مدت یک دقیقه با فواصل ۳۰ ثانیه‌ای ثبت شد برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $40 \text{ mM}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ استفاده شد.

سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز (APX)

در این روش، مخلوط واکنش حاوی بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، آسکوربات ۰/۵ میلی‌مولار، آب‌اکسیژنه ۰/۱ میلی‌مولار و ۱۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آسکوربات بر اساس اکسیداسیون اسید آسکوربیک و کاهش در جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر به مدت دو دقیقه (با فواصل ۳۰ ثانیه‌ای) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه واحد آنزیمی، از ضریب خاموشی معادل $2/8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ استفاده شد (Nakano & Asada, 1981).

سنجش فعالیت گایاکول پراکسیداز (GPX)

فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز با استفاده از پیش ماده گایاکول اندازه‌گیری شد. در این روش سه میلی‌لیتر مخلوط واکنش حاوی ۲/۷۷ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۱۰۰ میکرولیتر آب‌اکسیژنه یک درصد، ۱۰۰ میکرولیتر گایاکول دو درصد و ۳۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. افزایش جذب به دلیل اکسیداسیون گایاکول در طول موج ۴۷۰ نانومتر به مدت سه دقیقه (با فواصل ۶۰ ثانیه‌ای) اندازه‌گیری شد. مقدار تترآگایاکول تولیدشده با استفاده از ضریب خاموشی معادل $\text{mM}^{-1} \text{ Cm}^{-1}$ ۲۵/۵^۱ محاسبه گردید (Plewa *et al.*, 1991).

سنجش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز (PPO)

در این روش از پیروگالل به‌عنوان پیش ماده آنزیم استفاده شد. در این واکنش مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۲۰۰ میکرولیتر پیروگالل ۰/۰۲ مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با فواصل یک‌دقیقه‌ای خوانده شد و جذب بعد از سه دقیقه که بیشترین جذب بود گزارش شد. ضریب



خاموشی استفاده شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $6\sqrt{2} \text{mM}^{-1} \text{Cm}^{-1}$ بوده است (Kar & Mishra, 1996). فعالیت آنزیم بر اساس شدت رنگ نارنجی پورپوروگالین تولید شده پس از افزودن پیروگالال اندازه گیری شد. ضریب خاموشی استفاده شده برای محاسبه واحد آنزیمی معادل $6\sqrt{2} \text{mM}^{-1} \text{Cm}^{-1}$ بوده است (Kar & Mishra, 1996).

سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL)

در این روش، یک میلی لیتر بافر استخراج، $0/5$ میلی لیتر فنیل آلانین 10 میلی مولار، $0/4$ میلی لیتر آب دو بار تقطیر و $0/1$ میلی لیتر عصاره آنزیمی مخلوط شدند و به مدت یک ساعت در دمای 37 درجه سلسیوس نگهداری شدند. واکنش با اضافه کردن $0/5$ میلی لیتر اسید کلریدریک 6 مولار متوقف شد و جذب نمونه‌ها در طول موج 260 نانومتر اندازه گیری شد (Dcunha et al., 1996). برای محاسبه اسید سینامیک تولید شده، از منحنی استاندارد اسید سینامیک استفاده شد.

سنجش مقدار پروتئین کل

برای سنجش غلظت پروتئین، به لوله‌های آزمایش حاوی 5 میلی لیتر معرف بیوره، 100 میکرو لیتر عصاره پروتئینی افزوده شد و سریعاً ورتکس گردید. پس از 5 دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج 595 نانومتر خوانده شد. غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد آلومین محاسبه گردید (Bradford, 1976). (به منظور تهیه معرف بیوره، $0/1$ گرم کوماسی بریلیانت بلو G250 در 50 میلی لیتر اتانول 95% به مدت یک ساعت حل گردید. سپس 100 میلی لیتر اسید فسفوریک 85% قطره قطره به آن افزوده شد. در پایان حجم کل محلول به کمک آب مقطر به یک لیتر رسانده شد، محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف گردید).

واکاوی آماری

این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار انجام شد. داده‌های پژوهش، با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز شد و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح 5 و 1 درصد، مقایسه شدند.

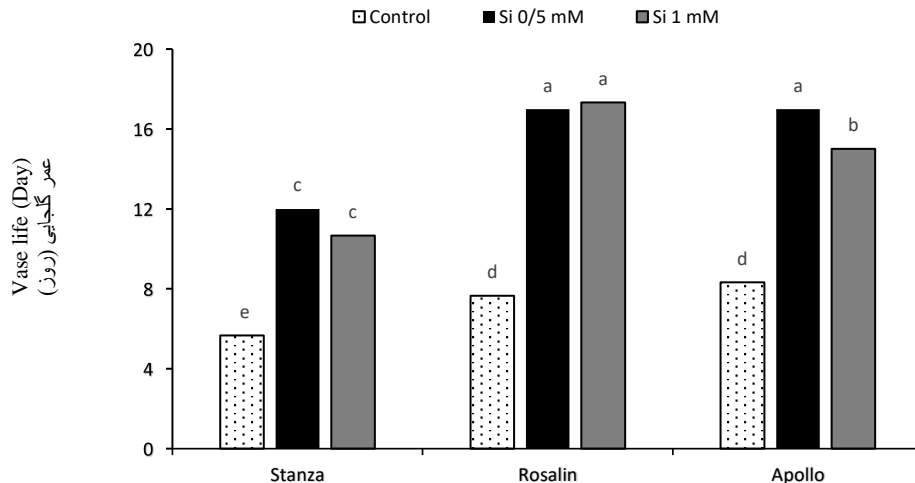
بررسی تشریحی و بافت‌شناسی ساقه گل ژربرا در گل‌های شاهد و تیمار سیلیکون

برای بررسی ساختاری بافت ساقه، برش گیری به روش دستی و با استفاده از تیغ در زیر میکروسکوپ نوری تشریح (استریو میکروسکوپ) انجام گرفت. برش‌های عرضی بسیار نازک و یکدست تهیه و در آب مقطر قرار داده شدند. سپس برای حذف محتویات یاخته به مدت 3 دقیقه در آب ژاول 5% قرار داده شدند و بعد از آن با آب مقطر شستشو شدند. نمونه‌های آماده شده با روش رنگ آمیزی مضاعف با سبز متیل و قرمز کنگو رنگ آمیزی شدند. نمونه‌های رنگ آمیزی شده روی لام قرار گرفتند. پس از چسباندن با یک قطره گلیسرین و گذاشتن لامل، با میکروسکوپ نوری بررسی و از نمونه‌ها عکس برداری شد.

نتایج و بحث

تأثیر سیلیکون بر عمر گلجایی رنگ‌های متفاوت گل ژربرا

با توجه به نتایج به دست آمده، اثر ساده سیلیکون، رقم و سطوح سیلیکون بر عمر گلجایی در سطح یک درصد معنی دار شد. کمترین عمر گلجایی در رقم Stanza، بدون کاربرد سیلیکون حدود 6 روز و بیشترین عمر گلجایی در Rosalin و با کاربرد سیلیکون 1000 میکرومولار به میزان $17/33$ روز به دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر عمر گلجایی گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه، از نظر آماری اختلافی ندارند.

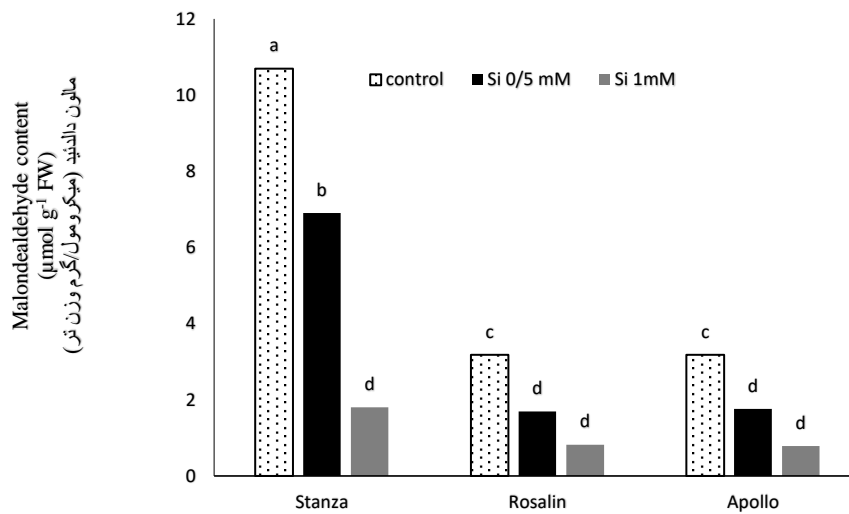
Figure 1. The interaction of silicon levels and cultivar on *Gerbera* vase life. Means were compared with Duncan's test. $P < 0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

فرایند پیری تنش‌زا بوده و عامل اصلی کاهش عمر گلجایی در گل‌های بریدنی است (Kumari et al., 2022). کند کردن این فرآیند و افزایش عمر گلجایی گل‌های شاخه بریده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فرآیند پیری، نتیجه یک سری تغییرات فیزیولوژیک و متابولیکی است که سرانجام به مرگ یاخته، اندام و یا موجود زنده می‌انجامد. از لحاظ تغییرات متابولیک، پیری در اثر انجام فرآیندهای اکسیداتیو ناشی از تولید گونه‌های فعال اکسیژن، اتفاق می‌افتد (Ohe et al., 2005). مهم‌ترین نقش سیلیس، افزایش مقاومت گیاه به بیماری‌ها به علت افزایش مقاومت دیواره یاخته‌ای می‌باشد. سیلیس توسط گیاه جذب و با پکتین و کلسیم در دیواره یاخته‌ای ترکیب می‌شود. بیشترین میزان سیلیس در گیاهان، در بافت اپیدرمی تجمع می‌یابد و به بافت مقاومت بیشتری در برابر بیماری‌ها می‌دهد که مانع نفوذ قارچ‌ها می‌شود. در این بررسی، عمر گلجایی در سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار افزایش یافت که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت و بیشترین عمر گلجایی در سیلیکون ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۱). نتایج این پژوهش با یافته‌های پیشین که اثر مثبت سیلیکون بر عمر گلجایی را گزارش کرده‌اند، همسو می‌باشد (Kumari et al., 2022; Edrisi et al., 2021; Babalar et al., 2016).

تأثیر سیلیکون بر میزان مالون دی آلدئید رقم های متفاوت گل ژربرا

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، اثر ساده سیلیکون، رقم و برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم در سطح یک درصد، بر مقدار مالون دی آلدئید معنی‌دار شد. بیشترین مقدار مالون دی آلدئید در رقم Stanza و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۹/۲۲ میکرو مول بر گرم وزن تر و کمترین مقدار آن در رقم Rosalin همراه با کاربرد ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون، مشاهده شد.

کاربرد سیلیکون در رقم Rosalin اگرچه مالون دی آلدئید را کاهش داد اما از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با شاهد نداشت. با توجه به نتایج به دست آمده، رقم Rosalin ژبررا نسبت به رقم Stanza و Apollo، مالون دی آلدئید کمتری داشت.



شکل ۲- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان مالون دی آلدئید گل ژبررا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 2. The interaction of silicon levels and cultivar on malondialdehyde in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. $P < 0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters, are not statistically different.

در این مطالعه، افزایش عمر گلجایی با کاهش پراکسیداسیون لیپید در تیمارهای مختلف همراه بود. در تیمارهایی که عمر گلجایی افزایش یافت، میزان مالون دی آلدئید کاهش نشان داد و همواره یک همبستگی منفی میان این دو عامل در تیمارها دیده شد. کاهش میزان مالون دی آلدئید بیانگر استحکام و یکپارچگی بیشتر غشاهای یاخته‌ای است. به نظر می‌رسد که غلظت‌های مختلف به‌کاررفته با کاهش پراکسیداسیون لیپید و حفظ یکپارچگی غشاء، عمر گلجایی را افزایش داده‌اند. این نتایج با یافته‌های گزارش شده در مورد لسیانتوس (Kazemi *et al.*, 2012a)، میخک (Kazemiet *al.*, 2012b) و رز (Reezi *et al.*, 2009)، همسو می‌باشد.

تاثیر سیلیکون بر میزان پراکسید هیدروژن رقم های متفاوت گل ژبررا

اثر ساده سیلیکون و رقم بر مقدار هیدروژن پر اکسید (H_2O_2) معنی دار شد، اما برهمکنش آن‌ها معنی دار نبود. کاربرد سیلیکون ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار به ترتیب سبب کاهش H_2O_2 به میزان ۴۲ و ۴۴ درصد نسبت به شاهد شد، اگرچه از لحاظ آماری تفاوت معنی داری بین سطوح سیلیکون دیده نشد (جدول ۱). همچنین، رقم های Apollo و Rosalin ژبررا نسبت به رقم Stanza به ترتیب ۳۲ و ۱۳ درصد کاهش H_2O_2 را نشان دادند، در صورتی که از لحاظ آماری میزان H_2O_2 در گل ژبررای Stanza و Rosalin تفاوت معنی داری نشان ندادند (جدول ۲).

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) رقم های متفاوت گل ژربرا

در این پژوهش، اثر ساده سیلیکون و رقم بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز معنی دار شد، اما برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر این صفت معنی دار نشد. کاربرد سیلیکون با غلظت ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومولار، سبب افزایش فعالیت این آنزیم به ترتیب به میزان ۲۴ و ۴۰ درصد نسبت به شاهد شد (جدول ۱). فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در رقم های Rosalin و Apollo به ترتیب ۴۷ و ۴۸ درصد بیشتر از Stanza بود (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی شده گل بریدنی ژربرا با کاربرد سیلیکون.

Table 1. The means of biochemical traits assessed in *Gerbera* cut flower using silicon.

GPX Activity (Unit mg ⁻¹ protein)	APX Activity (Unit mg ⁻¹ protein)	Hydrogen peroxide (μmol g ⁻¹ FW)	Silicon (Micromolar)
فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر)	سیلیس (میکرومولار)
0.55 a	3.64c	1.65a	0
0.71a	4.81b	0.95b	Si (500)
0.67a	6.1a	0.92b	Si (1000)

*در هر ستون میانگین هایی که داری حرف یا حروف مشترک هستند از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند.

Means followed the same letter in each column are not significantly different at 5 %, using DMRT.

جدول ۲- مقادیر میانگین صفات بیوشیمیایی ارزیابی شده رقم های Stanza، Rosalin و Apollo گل بریدنی ژربرا.

Table 2. The means of biochemical traits assessed in Stanza, Rosalin and Apollo *Gerbera* cultivars.

GPX Activity (Unit mg ⁻¹ protein)	APX Activity (Unit mg ⁻¹ protein)	Hydrogen peroxide (μmol g ⁻¹ FW)	Cultivars
فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد فعالیت آنزیم بر گرم پروتئین)	پراکسید هیدروژن (میکرومول در گرم وزن تر)	
0.31b	3.01b	1.37a	Stanza
1.81a	5.81a	1.18a	Rosalin
0.41b	5.72a	0.93b	Apollo

*در هر ستون، میانگین هایی که داری حرف یا حروف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه ای دانکن ندارند.

Means followed the same letter in each column, are not significantly different at 5 %, using DMRT.

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز (GPX) رقم های متفاوت گل ژربرا

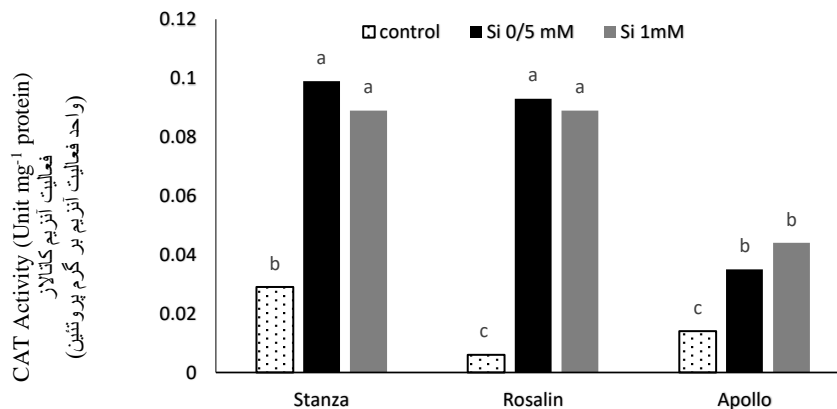
با توجه به نتایج این پژوهش، تنها اثر ساده رقم ژربرا بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز معنی دار شد. بیشترین فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز در رنگ Rosalin (۱/۱۸ واحد بر میلی گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت این آنزیم در رقم Stanza (۰/۳۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) دیده شد (جدول ۲). تیمار سیلیکون هیچ اثر معنی داری بر فعالیت آنزیم گایاکول پراکسیداز نداشت (جدول ۱).



در این پژوهش برای بررسی نقش سیلیکون به کاررفته بر سیستم آنزیمی آنتی‌اکسیدانی گیاه، فعالیت آنزیم‌های CAT، GPX و APX اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تمام تیمارهایی که عمر گل‌جایی نسبت به شاهد افزایش یافته است، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان CAT و APX نیز افزایش نشان می‌دهند که بیانگر نقش سیلیس در القاء فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و جلوگیری از صدمات اکسیداتیو ناشی از تولید رادیکال‌های آزاد در این شرایط است. البته به نظر می‌رسد که سیلیکون نقش آنتی‌اکسیدانی خود را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های APX و CAT ایفا نموده و بر فعالیت آنزیم GPX تأثیر معنی‌داری ندارد. گزارش شده است که سیلیکون با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان گیاهان، خسارت‌های ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) را که به وسیله تنش‌های مختلف افزایش پیدا کرده است، کاهش داده است.

تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) رنگ‌های متفاوت گل ژربرا

در این پژوهش برهمکنش رنگ و سطوح سیلیکون بر فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار شد به گونه‌ای که بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم Stanza ژربرا همراه با کاربرد سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار به میزان ۰/۰۹۹ واحد بر میلی‌گرم پروتئین و کمترین مقدار آن در رقم Rosalin و بدون کاربرد سیلیکون به میزان ۰/۰۰۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین مشاهده گردید. اگرچه از لحاظ آماری در رقم Rosalin و Stanza سطوح سیلیکون باهم تفاوت معنی‌داری نداشت، اما نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (شکل ۳). کاتالاز آنزیمی است که همبستگی منفی با H_2O_2 دارد و باعث حذف پراکسید هیدروژن در یاخته‌ها می‌شود (Shigeoka et al., 2002).



شکل ۳- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گل ژربرا. میانگین‌ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی‌دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی‌دار بودن و میانگین‌های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 3. The interaction of silicon levels and cultivar on catalase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. $P < 0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

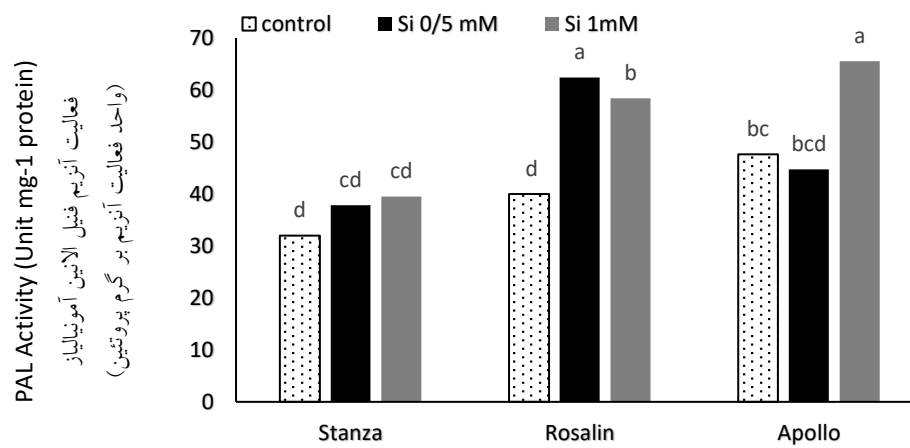
تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم PAL در رقم‌های متفاوت گل ژربرا

در این آزمایش برهمکنش سیلیکون و رقم بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز معنی‌دار شد. بیشترین فعالیت این آنزیم مربوط به تیمار ۱۰۰۰ میکرومولار سیلیکون در رقم Apollo (۶۵/۵۲ واحد بر میلی‌گرم پروتئین) و کمترین فعالیت آن مربوط به تیمار

شاهد در Stanza (۳۲/۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) بود. در رقم Rosalin بیشترین میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز در سیلیکون ۵۰۰ میکرومولار مشاهده شد (شکل ۴).

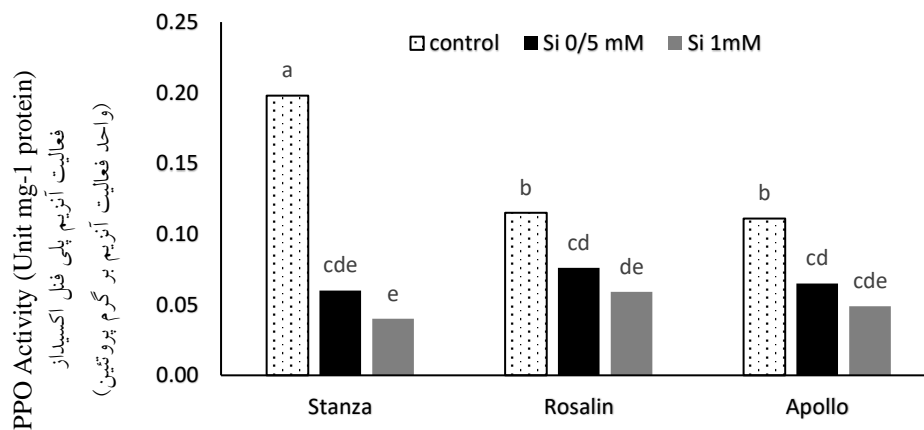
تأثیر سیلیکون بر فعالیت آنزیم PPO رقم های متفاوت گل ژبریا

فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز تحت تأثیر برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم قرار گرفت، به گونه ای که بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در شاهد و Stanza (۰/۱۹۸ واحد بر میلی گرم پروتئین) و کمترین مقدار فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۵۰۰ میکرومولار سیلیکون و در رقم Stanza (۰/۰۴۱ واحد بر میلی گرم پروتئین) مشاهده شد (شکل ۵). در رقم Rosalin و Apollo ژبریا کمترین فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در سطح ۱۰۰۰ میکرومولار مشاهده شد.



شکل ۴- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز گل ژبریا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 4. The interaction of silicon levels and cultivar on phenylalanine amino-lyase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. $P < 0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.



شکل ۵- برهمکنش سطوح سیلیکون و رقم بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز گل ژربرا. میانگین ها با آزمون دانکن مقایسه شدند. $P < 0.05$ به عنوان اختلاف معنی دار در نظر گرفته شد. حروف متفاوت نشانه معنی دار بودن و میانگین های دارای حروف مشابه از نظر آماری اختلافی ندارند.

Figure 5. The interaction of silicon levels and cultivar on polyphenol oxidase activity in *Gerbera*. Means were compared with Duncan's test. $P < 0.05$ was considered as a significant difference. Different letters indicate significance and averages with similar letters are not statistically different.

آنزیم پلی فنول اکسیداز، یکی از آنزیم های یاخته ای است که با اکسیداسیون فنول ها، رنگ قهوه ای تولید می کند که در مورد گل های بریدنی باعث کاهش کیفیت و بازارپسندی آن ها می گردد. در این پژوهش، یکی از اثرات سیلیکون که احتمالاً باعث افزایش عمر گلجایی و حفظ کیفیت گل بریدنی ژربرا گردیده، کاهش فعالیت این آنزیم است. آنزیم PAL یکی از آنزیم های کلیدی در مسیر سنتز ترکیبات فنولی است و باعث تولید انواع مختلف ترکیبات فنولی از جمله لیگنین می گردد (Bharti & Khurana, 1997). ترکیب های فنولی به دلیل طبیعت واکنش پذیر خود، توانایی واکنش با رادیکال های آزاد اکسیژن را داشته و به این شیوه خسارات ناشی از ایجاد رادیکال های آزاد را کاهش می دهند. تأثیر سیلیکات سدیم در افزایش فعالیت آنزیم های پراکسیداز، فنیل آلانین آمونیا لیا ز (PAL) و کاهش پوسیدگی قارچی در خربزه گزارش شده است (Guo *et al.*, 2007).

سیلیکون با کاهش فعالیت ACC-oxidase در گل های بریدنی لیسیاتوس (Kazemi *et al.*, 2012a)، ژربرا (Kazemi *et al.*, 2012c) و میخک (Kazemi *et al.*, 2012b)، باعث کاهش تولید اتیلن شد. همچنین، با کاربرد این ماده عمر گلجایی، کلروفیل کل، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز افزایش یافت و مالون دی آلدهید کاهش پیدا کرد. پیش تیمار گل های رز بریدنی با نانوذرات سیلیکا سبب افزایش کیفیت پس از برداشت در گل بریدنی رز شد (El-Serafy, 2019). سیلیکون سیستم آنتی اکسیدانی را در گل صدف تومانی بریدنی فعال کرد و عمر پس از برداشت را بهبود بخشید (Song *et al.*, 2022).

اتیلن با افزایش تولید گونه های اکسیژن فعال، تجمع مالون دی آلدهید، تنفس و کاهش سیالیت غشاء، کیفیت پس از برداشت گل های بریدنی را کاهش می دهد (Mittler, 2002, Raid & Jiang, 2012). بازدارنده های بیوسنتز اتیلن مانند سیلیکون، استیل سالیسیلیک اسید و مالیک اسید، با کاهش تولید اتیلن، اثرات پیری را در گل های بریدنی کاهش می دهند (Ansari & Misra,



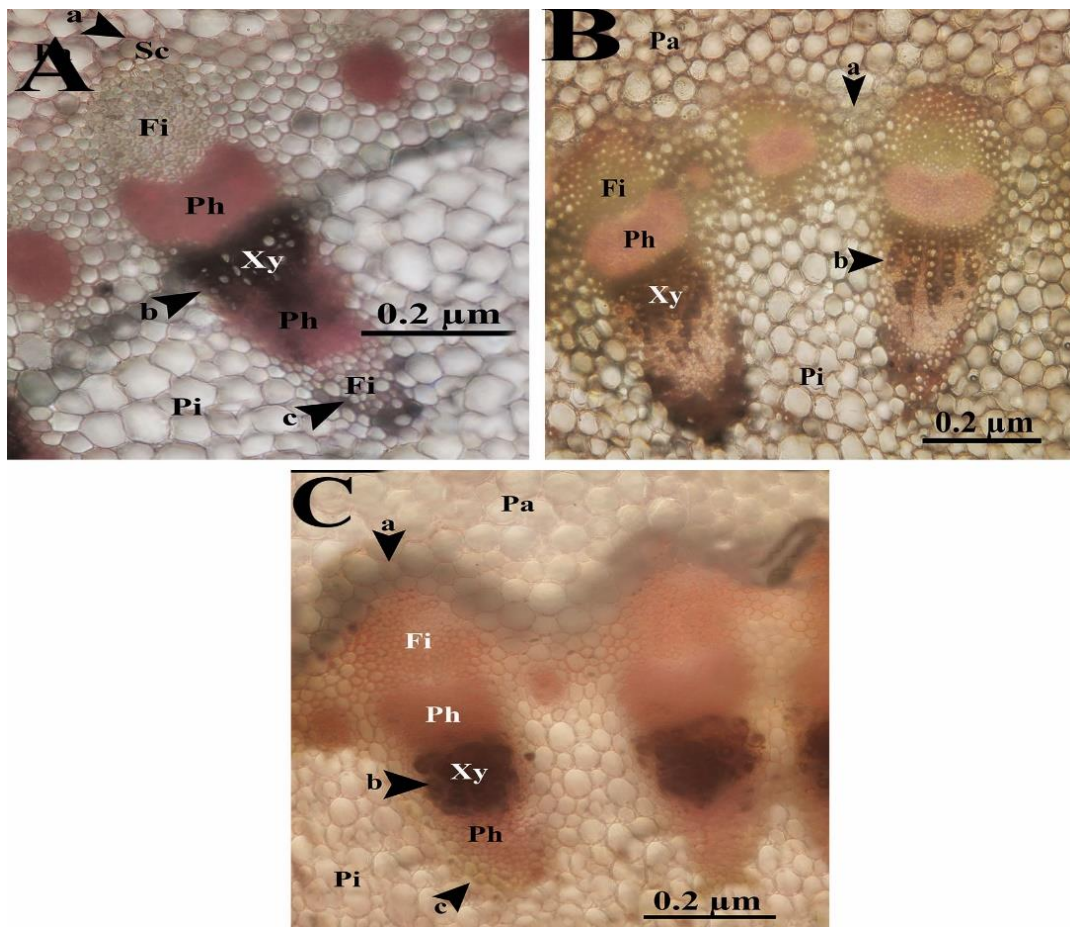
(2007; Karlidag *et al.*, 2009; Kazemi *et al.*, 2011). اگرچه تغییرات اتیلن در این پژوهش ارزیابی نشد، با توجه به نتایج به دست آمده در مورد آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، به نظر می‌رسد که سیلیکون می‌تواند نقشی در کاهش تولید اتیلن نیز داشته باشد. البته این موضوع نیاز به پژوهش‌های کامل‌تر و بررسی تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت به‌ویژه در مورد گل‌های حساس به اتیلن دارد.

مطالعه تشریحی و مقایسه برش عرضی از قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میکرومولار در بزرگنمایی 200x

مقایسه برش عرضی از قسمت بالای ساقه گل ژربرا شاهد و تحت تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار در بزرگنمایی 200x در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود بافت استحکامی اسکلرانشیم (Sc) در ساقه تیمار شده با سیلیس ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار ضخیم‌تر شده و به‌صورت دولایه یاخته‌ای اطراف دستجات آوندی تشکیل شده است در حالی که در ساقه شاهد و تیمار سیلیس ۰/۵ میلی‌مولار، میزان این بافت کمتر دیده می‌شود. همچنین، بافت زایلیم در ساقه گیاهان تیمار شده با سیلیس ضخیم‌تر از یاخته‌های زایلیم گیاهان شاهد است (شکل ۶-C).

بافت اسکرانشیم و آوند چوبی حاوی مقدار زیادی لیگنین در دیواره خود می‌باشند. جلوگیری از بیان ژن سینامیل الکل دهیدروژناز که در مسیر سنتز لیگنین عمل می‌کند، باعث شد ساقه‌های برنج دارای بافت اسکلرانشیم نازک‌تر شدند که استحکام مکانیکی کمتری داشته و به‌سرعت خمیده شدند. بر اساس این پژوهش، پیشنهاد شد که جایگیری لیگنین در یاخته‌های دیواره اسکلرانشیم، برای استحکام مکانیکی بسیار مهم است (Li *et al.*, 2009). در مورد گل میخک نیز تیمار پیش از برداشت سیلیکون و کلسیم، رشد رویشی، ویژگی‌های گلدهی، کیفیت گل، ساختارهای آناتومیک و عمر گلجایی را بهبود بخشیده است (El-Serafy, 2015). افزون بر این، گزارش شده است که سیلیس توسط گیاه برای استحکام دیواره یاخته‌های آوند چوبی استفاده می‌شود که از این طریق باعث افزایش مقاومت در برابر فشار شده و گیاه را نسبت به شرایط خشکی متحمل‌تر می‌سازد (Tofghi, 2001; Alikhani *et al.*, 2021; Datnoff *et al.*, 2001). سیلیکون میزان لیگنین را در ساقه گل دهنده گل صدتومانی افزایش داد که به علت بیان ژن‌های تولیدکننده لیگنین می‌باشد. همچنین، غلظت‌های سیلیکون در ساقه‌های گل دهنده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که در کورتکس و آوند آبکش، بیشتر از مناطق دیگر بود (Zhao *et al.*, 2012).





شکل ۶- تصاویر برش عرضی قسمت بالای ساقه گل ژبررا شاهد و تیمار سیلیس ۰/۵ و ۱ میکرومولار با بزرگنمایی 200x: A: ساقه شاهد، B: ساقه ژبررا تیمار شده با سیلیس ۰/۵ میکرومولار. C: ساقه ژبررا تیمار شده با سیلیس ۱ میکرومولار. (a) ایجاد بافت اسکلرانسیم، (b) افزایش دستجات آوندی چوب در ساقه تیمار شده با سیلیس (c) افزایش بافت‌های نگهدارنده. Pa، بافت پارانشیم پوستی؛ Sc، بافت اسکلرانسیم؛ Fi، بافت فیبر؛ Xy، چوب؛ Ph، دستجات آوند آبکش؛ Pi، بافت مغز.

Figure 6. Cross section from the upper stem of control, 0.5 and 1 μM silicon treated gerbera cut flower at 200X. A: Control stem, B: 0.5 μM silicon treated stem. C: 1 μM silicon-treated stem. Induction of sclerenchyma tissue, b) Increase of vessel tissue in silicon treated stem, c) Increase of supporting tissue, (Pa): Parenchyma tissue, (Sc): Sclerenchyma tissue, (Fi): Fiber tissue, (Ph): Phloem, (Xy): Xylem, (Pi): Pith tissue.

در پژوهش‌های پیشین روی گل ژبررا، گزارش شده است که عوامل گوناگونی در خمیدگی ساقه گل ژبررا دخالت دارند که یکی از عمده‌ترین آن‌ها، کافی نبودن بافت اسکلرانسیم در قسمت بالای ساقه است (Perik *et al.*, 2012). افزون بر این، گزارش شده است که جلوگیری از فعالیت آنزیم PAL، باعث افزایش خمیدگی در ساقه این گل شده است. این نتایج با این نظر که چوبی شدن^۱ ناکافی یاخته‌های ساقه به میزان چشمگیری با خمیدگی ساقه گل ارتباط دارد، مطابقت دارد (Ferrante *et al.*, 2007). همچنین، یافته‌های این پژوهش در ارتباط با نقش سیلیکون در بافت‌های استحکامی در گل ژبررا، با گزارش ادیسی و همکاران (۱۳۹۸) در مورد این گل، مطابقت دارد.

در این پژوهش بررسی‌های بافت‌شناسی در گل‌های بریدنی ژربرا، افزایش بافت استحکامی اسکلرانشیم (شکل ۶- a) و ضخیم شدن یاخته‌های زایلیم (شکل ۶- b) را در ساقه گل‌های تحت تیمار سیلیس نشان داد. همچنین، افزایش فعالیت آنزیم PAL نیز در گل‌های تیمار شده با سیلیس دیده شد. بنابراین، به نظر می‌رسد که سیلیس با افزایش سنتز لیگنین و در نتیجه افزایش بافت‌های استحکامی در ساقه گیاه، باعث حفاظت ساقه در برابر خم‌شدگی شده، شادابی بیشتر و افزایش عمر گلجایی گل‌ها را در پی داشته است. یافته‌های مربوط به مطالعه بافت‌ها و اثرات مثبت سیلیکون روی آن‌ها، با گزارش‌های پیشین در زمینه گل رز بریدنی (El-Serafy, 2015, 2019) هم‌سو می‌باشد.

نتیجه‌گیری نهایی و پیشنهادها

یافته‌های این پژوهش نشان داد که سیلیکون به‌کاررفته دارای ویژگی آنتی‌اکسیدانی بوده و توانایی افزایش فعالیت دفاعی گیاه را دارا می‌باشد. به نظر می‌رسد، این ماده نقش خود را با حفظ غشاء و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کاهش فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز، افزایش فعالیت آنزیم PAL و در نتیجه افزایش بافت استحکامی بازی می‌نماید. البته، غلظت به‌کاررفته اهمیت زیادی داشته و باید مدنظر قرار گیرد. بررسی روند تغییرات اتیلن در دوره پس از برداشت و نیز مطالعه بیان ژن‌های مربوط به تولید بافت‌های استحکامی و لیگنین برای تکمیل اطلاعات در این زمینه، پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Abbasi, J., Hassanpour Asil, M., Olfati J. A. (2018). Improvement of some growth traits of gerbera flower (*Gerbera jamesonii*) by using mineral nutrition at different stages of plant growth under effect of salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50, 865-878. (In Persian).
- Aghajani, N., Jafarpour, M. (2016). Effects of pre- and postharvest treatments of silicon and rice hull ash on vase life of *Gerbera*. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3, 77-87.
- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell & Environment*, 24, 1337-1344.
- Ansari, M.S., Misra, N. (2007). Miraculous role of salicylic acid in plant and animal system. *American Journal of Plant Physiology*, 2, 52-58.
- Babalar, M., B. Edrisi., Naderi, R. (2016). Evaluation of the mechanical strength of *Gerbera* flower stem in response to silicon and salicylic acid application. *Journal of Ornamental Plants*, 6, 163-171.
- Bayat, H., Aminifard, M.H. (2018). Effects of different preservative solutions on vase life of *Narcissus tazetta* cut flowers. *Journal of Ornamental Plants*, 8, 13-21.
- Bharti, A.K., Khurana, J.P. (1997). Mutant of *Arabidopsis* as tools to understand the regulation of phenylpropanoids pathway and UV-B protection mechanism. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 65, 765-776.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Darras, A. (2021). Overview of the dynamic role of specialty cut flowers in the international cut flower market. *Horticulturae*, 7, 51. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030051>.
- Datnoff, L.E., Synder, G.H., Korndorfer, G.H. (2001). *Silicon in Agriculture* (pp.285-290). Elsevier Sciences.
- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P., Thorpe, T.A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*, 32, 93-101.
- Dole, J.M., & Wilkins, F. H. (2011). *Floriculture, Principles and Species*. (Pp: 356-360). Prentice Hall.



- D'cunha, G.B., Satyanarayan, V., Nair, P.M. (1996). Purification of Phenylalanine ammonialyase from *Rhodotorulaglutinis*. *Phytochemistry*, 42, 17-20.
- Edrisi, B., Babalar, M., Naderi, R. (2019). Effect of silicon and salicylic acid on lignin formation and antioxidant enzymes in gerbera flower. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50, 77-89.
- El-Serafy, R.S. (2015). Effect of Silicon and Calcium on Productivity and Flower Quality of Carnation. Ph.D. Thesis. Horticulture Department, Faculty of Agriculture, Tanta University. 235p.
- El-Serafy, R.S. (2019). Silica nanoparticles enhance physio-biochemical characters and postharvest quality of *Rosa hybrida* L. cut flowers. *Journal of Horticultural Research*, 27, 47-54.
- Fazli, M., Ahmadi, N., Babaei A. (2020). Improving the postharvest quality characteristics of cut rose (*Rosa × hybrida* L.) 'Red Alert' in response to light intensity. *Flower and Ornamental Plants*, 4, 74-86.
- Ferrante, A., Albrici, A., Antonacci, S., Serra, G. (2007). Effect of promoter and inhibitors of phenylalanineammonialyase enzyme on stem bending of cut Gerbera flower. *Acta Horticulture*, 755, 471-476.
- Gapinska, M., Skodowska, M., Gabara, B. (2008). Effect of short and long-term salinity on the activities of antioxidative enzymes and lipid peroxidation in tomato roots. *Acta Physiologia Plantarum*, 30, 11-18.
- Guo, Y., Liu, L., Zhao, J., Bi, Y. (2007). Use of silicon oxide and sodium silicate for controlling *Trichotheciumroseum* postharvest rot in Chinese cantaloupe (*Cucumis melo* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 1012-1018.
- Hansen, D. J., Dayanandam, P., Kaufman, P. B., Brotherson, J. D. (1976). Ecological adoptions of salt marsh grass, *Distichlis spicata* (Graminae), and environmental factors affecting its growth and distribution. *American Journal of Botany*, 63, 635-650.
- Heath, R. L., Packer, L. (1969). Photoperoxidation in isolated chloroplast. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archive of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
- Kamenidou, S., Cavins, T. J., Marek, S. (2010). Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. *Horticultural Science*, 123, 390-394.
- Kamiab, F., Shahmorazadeh Fahreji, S., Zamani Bahramabadi, E. (2017). Antimicrobial and physiological effects of silver and silicon nanoparticles on vase life of lisianthus (*Eustoma grandiflora* cv. Echo) flowers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4, 135-144.
- Kar, M., Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase, polyphenol oxidase activities during rice senescence. *Plant Physiology*, 57, 315-319.
- Karlidag, H., Yildirim, E., Muran, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Scientia Agricola*, 66, 180-187.
- Kazemi, M., Zamani, S. & Aran, M. (2011). Effect of some treatment chemical on keeping quality and vase-life of *Gerbera* cut flowers. *American Journal of Plant Physiology*, 6 (2), 99-105.
- Kazemi, M., Asadi, M., Aghdasi, S. (2012a). Postharvest life of cut lisianthus flowers as by silicon, malic acid and acetylsalicylic acid. *Research Journal of Biology*, 25, 85-90
- Kazemi, M., Gholami, M., Bahmanipour, F. (2012b). Effects of silicon and acetylsalicylic acid on antioxidative activity, membrane stability and ACC-oxidase in relation vase life of carnation cut flowers. *Biotechnology*, 2, 87-90.
- Kazemi, M., Gholami, M., Hassanvand, F. (2012c). Effects of silicon on antioxidative defense system and membrane lipid peroxidation in gerbera cut flowers. *Asian Journal of Biochemistry*, 6, 125-187.
- Kumari, P., Shrama, R., Panwar, S., Paul, S., Banyal, N. (2022). Silicon as vital element in flower crop production. *Journal of Plant Nutrition*, <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020820>
- Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G., Christie, P. (2007). Mechanism of silicon-mediated alleviation of abiotic stress in higher plants. a review. *Environmental Pollution*, 147, 422-428.
- Li, X., Yang, Y., Yao, J., Chen, G., Li, X., Zhang, Q., Wu, X. (2009). FLEXIBLE CULM 1 encoding a cinnamyl-alcohol dehydrogenase controls culm mechanical strength in rice. *Plant Molecular Biology*, 69, 685-697.



- Manning, J.C., Simka, B., Boatwright J.C., Magee, A.R. (2016). Revised taxonomy of *Gerbera* sect. *Gerbera* (Asteraceae: Mutisieae). *South African Journal of Botany*, 104, 142–157.
- Meir, S., Philosoph-Hadas, S. (2021). Postharvest physiology of ornamentals: processes and their regulation. *Agronomy*, 11, 2387. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122387>
- Mirzaei Esgandian, N., Z. Jabbarzadeh & Rasouli-Sadaghiani, Mir H. (2019). Investigation of some morphological and biochemical characteristics and vase life of *Gerbera jamesonii* cv. Dune cut flower using humic acid and nano calcium chelate. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 20, 157-170. (In Persian).
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Sciences*, 7, 405-410.
- Nair, S.A., Singh, V., Sharma T.V. (2003). Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. *Journal of Tropical Agriculture*, 41, 56-58.
- Nakano, Y., Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22, 867–880.
- Ohe, M., Rapolu, M., Mieda, T., Miyagawa, Y., Yabuta, Y., Yoshimura, K., Shigeoka, S. (2005). Decline in leaf photooxidative stress tolerance with age in tobacco. *Plant Sciences*, 168, 1487-1493.
- Perik, R.J., Raze, D., Harkema, H., Zhong, Y., Van Door, W.G. (2012). Bending in cut *Gerbera jamesonii* flower related 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.
- Plewa, M. J., Smith, S. R., Wanger, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. *Mutation Research*, 247, 57-64.
- Reid, M.S., Jiang, C.Z. (2012). Postharvest Biology and Technology of Cut Flowers and Potted Plants. *Horticultural Reviews*, 40, 1-54.
- Reezi, S., Babalar, M., Kalantari, S. (2009). Silicon alleviates salt stress, decreases MDA content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa × hybrida*) cv. Hot Lady. *African Journal of Biotechnology*, 8, 1502-1508.
- Sadeghi Feragheh, J., H. Farahmand, F. Nasibi., Hosseini Torbati, F.A. (2016). Effect of exogenous nitric oxide application on physiological and antioxidant responses and scape bending reduction in *Gerbera* cut flower. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 17,193-208. (In Persian).
- Song, J., Y. Li, J. Hu, J. Lee., Jeong, B. R. (2021). Pre- and/or postharvest silicon application prolongs the vase life and enhances the quality of cut peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers. *Plants*, 10, 1742. <https://doi.org/10.3390/plants10081742>
- Song, J., Yang, J., Jeong, B. R. (2022). Synergistic effects of silicon and preservative solution on promoting postharvest performance of cut flower of peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13211; <https://doi.org/10.3390/ijms232113211>
- Tofighi Alikhani., S.J. Tabatabaei, A.M. Torkashvand., Talei, D. (2021). Silica nanoparticles and calcium on the histological characteristics and stem bending in gerbera cut flower. *Ornamental Horticulture*, 27, 334-343.
- Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., Yoshimura, K. (2002). Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1305-1319.
- Witt, Y., Harkema, H., Van Door, W. (2014). Effect of antimicrobial compounds on cut gerbera flowers: Poor relation between stem bending and numbers of bacteria in the vase water. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 78-83.
- Zhao, D., X. Yang, S. Wu, H. He, Q. Tan, X. Chen., Shi, L. (2020). First report of *Fusarium proliferatum* causing root rot of *Gerbera* in China. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127, 279–282.
- Zhao, D., Hao, Z., Tao, J., Han, Ch. (2013). Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). *Scientia Horticulturae*, 151, 165-172.





Effects of silicon on antioxidant activity and the decrease of bending in cut gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) flowers

Javad Sadeghi Feragheh¹, Homayoun Farahmand^{1,2}, Fatemeh Nasibi³, Roohollah Abdolshahi⁴

1. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman
2. Department of Horticultural Science, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz
3. Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

✉ hfarahmand@uk.ac.ir, h.farahmand@shirazu.ac.ir

Received: 2022/09/18, Revised: 2023/01/01, Accepted: 2023/01/17

Abstract

The cut flower industry is economically important across the world. Gerbera (*Gerbera jamesonii* Bolus) is one of the most popular cut flowers in Iran and worldwide and the improvement of its postharvest life is very important. Stem bending during the early stage of vase life is a critical problem in many cultivars of this flower. In this research, silicon as an antioxidant compound was used at 500 and 1000 micromolar concentrations, and the effects on some oxidative characteristics, antioxidant enzyme activity, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), and polyphenol oxidase activity in three colors (Rosalin, Stanza, and Apollo) of cut gerbera flower were investigated. Histological studies also were performed by hand sections and light microscopy. Silicon application prolonged the vase life in all three cultivars of gerbera. The lowest vase life (6 days) was measured in the control treatment and the highest vase life (17.33 days) was gained in Rosalin using 1000 μ M silicon. Meanwhile, a significant increase in the activity of antioxidant enzymes and PAL was detected, while polyphenol oxidase (PPO) activity and lipid peroxidation were significantly decreased. It seems that silicon improved the quality of gerbera cut flowers by scavenging free radical oxygen, preserving cell membrane integrity, decreasing PPO activity, and increasing the vascular and supporting tissue.

Keywords: Gerbera, Postharvest quality, Vase life.