Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 48, No 3, Autumn 2017 (585-599)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.203349.980

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۴۸، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۶ (ص ۵۹۹-۵۸۵)

تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم بر میزان کلسیم، محتوای پاداکسندهٔ کل و برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوهٔ دو رقم توت‌فرنگی

نادر محمودی سوره[۱]، علیرضا فرخزاد[۲*] و حمید حسن‌پور[۲]
۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۶)

چکیده

افزایش کمی و کیفی میوه‌ها و ویژگی‌های تغذیه‌ای آن‌ها، نقش مهمی در بازارپسندی و درآمد باغداران دارد. سیلیکون و کلسیم از جمله عنصرهایی هستند که می‌توانند نقش مؤثری در بهبود کیفیت میوه‌های تولیدی داشته باشند. این پژوهش برای ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی، محتوای پاداکسندهٔ (آنتی‌اکسیدان) کل و میزان کلسیم میوهٔ دو رقم توت‌فرنگی ('کاماروسا' و 'سلوا') انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی با پنج تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، طول میوه، نسبت طول به عرض میوه، وزن تر و خشک میوه و میزان ویتامین ث در رقم کاماروسا بیشتر از رقم سلوا بود. میزان سفتی، TA ، TSS، محتوای فنل و پاداکسندهٔ کل، میزان کلسیم بافت میوه و میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در رقم سلوا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم کاماروسا بود. با کاربرد سیلیکات کلسیم طول میوه، وزن تر و خشک میوه، میزان سفتی، میزان ویتامین ث، TSS، TA، محتوای فنل و پاداکسندهٔ کل، میزان کلسیم میوه و فعالیت آنزیم کاتالاز افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش نشان داد، محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم در بالاترین غلظت مورد استفاده در این آزمایش (۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، بیشترین تأثیر را در بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوهٔ توت‌فرنگی داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم کاتالاز، سلوا، فراسنجه‌های کیفی، کاماروسا، محلول‌پاشی.

Effect of foliar application with calcium silicate on calcium amount, total antioxidant content and some qualitative and quantitative characteristics of two strawberry cultivars

Nader Mahmoudi Soureh[1], Alireza Farokhzad[2*] and Hamid Hassanpour[2]
1, 2. Former M. Sc. Student and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia
(Received: Apr. 4, 2016 - Accepted: Aug. 27, 2016)

ABSTRACT

Increasing of visual quality and nutraceutical properties of fruits plays an important role in fruit marketability and economic incomes of gardeners. Silicon and calcium can play an important role in fruits quality improvement. This study was conducted to evaluate the effect of foliar application with calcium silicate (0, 50, 100 and 200 mg/L) on some fruit quantitative and qualitative characteristics, total antioxidant and calcium content of two strawberry cultivars ('Camarosa' and 'Selva'). The experiment was performed in a factorial based on randomized complete block design with 5 replications. Results showed that fruit length, fruit length to width ratio, fruit fresh and dry weight, vitamin C content in 'Camarosa' fruits were more than 'Selva' fruits, whereas fruit firmness, TA, TSS, total phenolic, antioxidant content, amount of calcium and catalase enzyme activity of 'Selva' fruits were significantly more than the 'Camarosa'. With application of calcium silicate, fruit length, fruit fresh and dry weight, fruit firmness, the amount of vitamin C, TA, TSS, total phenolic, antioxidant, calcium content and catalase enzyme activity were increased. According to the results, foliar application of calcium silicate at 200 mg/L had the highest effect on improvement of quantitative and qualitative traits of strawberry fruits.

Keywords: Camarosa, catalase enzyme, foliar spray, qualitative parameters, selva.

* Corresponding author E-mail: a.farokhzad@urmia.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria ananassa* Duch گیاهی علفی، دائمی و جزء گیاهان نهان‌دانهٔ دولپه‌ای از تیرهٔ گل‌سرخیان است. این محصول به دلیل عطر، طعم و ارزش تغذیه‌ای آن به‌خوبی شناخته شده و جایگاه خود را در رژیم غذایی میلیون‌ها نفر در جهان پیدا کرده است (Tabatabaei *et al*., 2006). در سال‌های اخیر بهبود کیفیت تغذیه‌ای فرآورده‌های تولیدی مانند محتوای پاداکسندگی (آنتی‌اکسیدانی) و ترکیب‌های فنلی به دلیل نقش آن‌ها در سلامتی بشر افزایش یافته است (Francini & Sebastiani, 2013).

سیلیکون از جمله عنصرهایی است که می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه‌های مختلف ایفا کند (Lalithya *et al*., 2013; Hanumanthaiah *et al*., 2015). سیلیکون با رسوب در دیوارهٔ یاخته‌ای موجب افزایش استحکام و تقویت بافت میوه شده و از بروز ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی جلوگیری می‌کند (Putra *et al*., 2010). Daneshmand & Ghasempour Alamdari) (2014) گزارش کردند، محلول‌پاشی سیلیکون با اثرگذاری روی سوخت‌وساز (متابولیسم) و فرآیندهای فیزیولوژیکی، موجب تقویت رشد و نمو گیاه و ایجاد مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود. کاربرد سیلیکون در آلوی شابلون باعث کاهش افت وزن میوه‌ها، افزایش معنی‌دار غلظت فنل‌ها و همچنین افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و فنیل آلانین آمونیالیاز نسبت به تیمار شاهد شده است (Habibi & Abedini, 2015). Wang & Galletta (1998) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، سیلیکون نقش مهمی در گلدهی توت‌فرنگی ایفا می‌کند و شمار میوهٔ توت‌فرنگی تولیدشده در گیاهان رشد یافته با کاربرد سیلیکون بیشتر از گیاهانی بود که سیلیکون دریافت نکرده بودند. تأثیر مثبت تیمار سیلیکون در رشد و عملکرد توت‌فرنگی در شرایط تنش شوری در بررسی‌های Seyyedlar Fatemi (2009) نیز گزارش شده است.

کلسیم نقش اساسی در حفظ ساختار غشاء یاخته‌ای و ثبات و پایداری دیوارهٔ یاخته‌ای دارد (Hernandez *et al*., 2008). در بافت‌هایی که کمبود کلسیم دارند، فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز افزایش یافته و تجزیهٔ دیوارهٔ یاخته‌ای سریع‌تر رخ می‌دهد (Biggs *et al*., 1997). یون‌های کلسیم به‌عنوان پیام‌رسان درون‌یاخته‌ای در انتقال سیگنال‌های ناشی از محرک‌های زیستی (Navazio *et al*., 2007)، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (DeSouza *et al*., 1999)، پایداری غشاء و دیوارهٔ یاخته‌ای (Hernandez *et al*., 2008) و تنظیم فعالیت آنزیمی (Kauss, 1987) در انواع میوه‌ها نقش دارد. جذب کلسیم بیرونی توسط میوه‌های رسیدهٔ توت‌فرنگی موجب اتصال یاخته به یاخته و پایداری دیوارهٔ یاخته‌ای از راه افزایش میزان پکتین‌هایی که به‌صورت یونی به هم پیوند یافته‌اند، می‌شود (Hernandez *et al*., 2006).

Kaluwa *et al*. (2010) با بررسی تأثیر سیلیکات کلسیم روی فراسنجه (پارامتر)های کیفی میوهٔ آووکادو رقم هاس[1] گزارش کردند که تیمار سیلیکات کلسیم باعث بهبود کیفیت میوهٔ آووکادو نسبت به تیمار شاهد شد. تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم روی میزان اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی (تیتراسیون)، مواد جامد محلول، عمر انبارداری و نسبت گوشت به پوست میوه در میوهٔ موز رقم نیپووان[2] نیز گزارش شده است (Hanumanthaiah *et al*., 2015).

افزایش محتوای کلسیم میوه از راه محلول‌پاشی، استحکام و سفتی میوهٔ توت‌فرنگی را افزایش داده و توان ماندگاری بالایی را در میوه ایجاد می‌کند (Hernandez *et al*., 2008). تأثیر مثبت تیمار سیلیکات کلسیم بر ویژگی‌های رشدی، میزان سبزینهٔ (کلروفیل) برگ، نورساخت (فتوسنتز) و عملکرد میوهٔ گرمسیری چیکو یا ساپودیلا با نام علمی Manilikala achras Syn Achras sapata از خانوادهٔ ساپوتاسه[3] در بررسی‌های Lalithya *et al*. (2013) نیز گزارش شده است. تأثیر مثبت محلول‌پاشی منابع مختلف سیلیکون و کلسیم روی بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی انواع

1. Hass
2. Neypoovan
3. Sapotaceae

Archive of SID

www.SID.ir

میوه‌ها توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (Lanauskas & Kvikliene, 2006; Prasad *et al*., 2015; Roshdy, 2014).

با توجه به تأثیر مثبت عنصرهای سیلیکون و کلسیم در بهبود کیفیت میوه‌ها، در این پژوهش تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم روی ویژگی‌های کمی و کیفی، محتوای پاداکسندهٔ کل و میزان کلسیم بافت میوهٔ دو رقم توت‌فرنگی (رقم‌های کاماروسا و سلوا) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت گلدانی در آذرماه سال ۱۳۹۳ در گلخانهٔ تحقیقاتی سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری ارومیه و آزمایشگاه‌های گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه اجرا شد. نشاءهای دو ساله و یکنواخت توت‌فرنگی (رقم‌های کاماروسا و سلوا) در بستری از پرلیت و کوکوپیت به نسبت حجمی (۱ به ۱) در گلدان‌هایی از جنس یونولیت (ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر و قطر دهانهٔ ۳۵ سانتی‌متر) استقرار یافتند. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تکرار اجرا شد. هر تکرار شامل یک گلدان با چهار بوتهٔ توت‌فرنگی بود. عامل اول شامل رقم (رقم‌های کاماروسا و سلوا)، عامل دوم شامل محلول‌پاشی غلظت‌های سیلیکات کلسیم (Sigma-Aldrich, USA) در چهار سطح (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. محلول‌دهی نشاءها به‌صورت روزانه (در هر بار ۵۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان) با محلول غذایی نصف هوگلند انجام شد. برای جلوگیری از افزایش هدایت الکتریکی (EC) در محیط اطراف ریشه، گلدان‌ها دو هفته یک‌بار توسط آب معمولی شست‌وشو شدند. محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم در دو مرحله با فاصلهٔ ده روز پس از پایان گل انجام شد. میوه‌ها هنگامی‌که دست‌کم ۷۵ درصد سطح‌شان رنگ گرفته بودند، برداشت شدند. در طول مدت آزمایش دمای کمینه و بیشینهٔ گلخانه به‌طور میانگین ۱۵ و ۲۲ درجهٔ سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰- ۶۵ درصد بود و روشنایی مورد نیاز با تابش طبیعی نور آفتاب (۷۰۰- ۱۰۰۰ لوکس) تأمین شد.

ارزیابی صفات

طول، عرض، وزن تر، خشک و سفتی میوه

طول و عرض میوه‌های تیمارشده و شاهد با کولیس دیجیتالی (مدل Z22855) اندازه‌گیری شد. وزن تر میوه‌ها با ترازوی دیجیتالی (مدل Kern) با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، میوه‌ها به قطعه‌های کوچک تقسیم شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس درون آون قرار گرفتند و میزان وزن خشک میوه‌ها به‌صورت درصد بیان شد (Jalili Marandi, 2012). سفتی میوه با استفاده از دستگاه تجزیه و سنجش بافت (مدل TA-XTP1us) اندازه‌گیری شد (Hassanpour *et al*, 2011). بدین منظور در آغاز سرعت جابه‌جایی کاوشگر (پروب) روی ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. آزمون نفوذ فشار با میزان جابه‌جایی ۱۰ میلی‌متر با کاوشگر به قطر ۳ میلی‌متر (P/2) انجام گرفت. میانگین سفتی بافت برحسب نیوتن بیان شد.

اسید آسکوربیک (ویتامین ث)، اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی (TA)، مواد جامد محلول (TSS)

برای اندازه‌گیری محتوای ویتامین ث از روش عیارسنجی با محلول یدید پتاسیم ۰/۰۱ نرمال استفاده شد. ۱۰ میلی‌لیتر آب‌میوه با ۲ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱درصد مخلوط و آن‌گاه این محلول تا زمان تشکیل رسوب خاکستری‌رنگ با محلول یدید پتاسیم ۱درصد عیارسنجی شد (Jalili Marandi, 2012). برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر روی ۱۰ میلی‌لیتر از عصارهٔ میوه اضافه شده و با قرار دادن pH متر درون محلول عمل عیارسنجی توسط سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال انجام گرفت (Hernandez *et al*., 2008). برای اندازه‌گیری TSS میوهٔ توت‌فرنگی چند قطره از آب‌میوه را روی شکست‌سنج (رفراکتومتر) دستی مدل (ATAGO) قرار داده و عدد مربوطه از روی ستون مدرج خوانده شد (Jalili Marandi, 2012).

فنل کل

۳۰ میکرولیتر عصاره را درون لولهٔ آزمایش ریخته و با

Archive of SID

www.SID.ir

اضافه کردن ۹۰ میکرولیتر آب مقطر و ۶۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰درصد و پس از قرار دادن به مدت سه تا پنج دقیقه در دمای اتاق، ۴۸۰ میکرولیتر کربنات سدیم به آن اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت و در دستگاه طیف‌سنج نوری (اسپکتروفتومتر) در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد (Waterhouse *et al*., 2002).

فعالیت پاداکسندگی

ارزیابی فعالیت پاداکسنده به روش DPPH انجام شد. در آغاز ۵۰ میکرولیتر عصارهٔ آماده شده را با ۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و پس از سی دقیقه توسط دستگاه طیف‌سنج نوری در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر خوانده شد و از رابطهٔ زیر میزان فعالیت پاداکسندگی میوه اندازه‌گیری شد (Du *et al*., 2009):

% Inhibition of DPPH =
(Abs control - Abs sample) / Abs control × 100

کلسیم میوه

۱ گرم از هر نمونه میوهٔ وزن شده را درون کروز چینی ریخته و پس از آن در کوره (۵۵۰ درجهٔ سلسیوس) به مدت ۸ تا ۱۲ ساعت گذاشته شد تا نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شوند. سپس میزان ۵ سی‌سی اسیدکلریدریک دو نرمال اضافه کرده و روی بن‌ماری گرما داده شد. سپس در بالن‌های ۵۰ سی‌سی با آب مقطر ولرم به حجم رسانده و برای خواندن در دستگاه جذب اتمی (مدلPerkin Elmer 2380, USA) به نسبت ۱:۵ رقیق کرده و خوانده شد (Sayarri & Rahemi, 2002).

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز

میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه‌گیری سرعت حذف پراکسید هیدروژن بر پایهٔ روشBeers & Sizer (1952) با کمی تغییر صورت گرفت. مخلوط واکنش شامل ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ محتوای ۰/۲ میلی‌لیتر H_2O_2 ۱ درصد و ۰/۳ میلی‌لیتر عصارهٔ آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز به‌صورت کاهش در طی یک دقیقه در طول‌موج ۲۴۰nm محاسبه شد.

نتایج به‌دست‌آمده به کمک نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۲ تجزیهٔ واریانس شده و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. رسم نمودار با استفاده از نرم‌افزار Excel سری ۲۰۰۷ انجام شد.

نتایج و بحث

طول، عرض و نسبت طول به عرض میوه

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، سطوح مختلف رقم و سیلیکات کلسیم تأثیر معنی‌داری بر طول میوه داشت. اثر متقابل دو جانبهٔ تیمارها بر طول میوه معنی‌دار نشد (جدول ۱). مقایسهٔ میانگین تأثیر رقم بر طول میوه نشان داد که طول میوه در رقم کاماروسا (۲۸/۹ میلی‌متر) به‌طور معنی‌داری بالاتر از طول میوه در رقم سلوا (۲۷/۱۳ میلی‌متر) بود. با افزایش غلظت سیلیکات کلسیم، طول میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲).

تأثیر رقم، سیلیکات کلسیم و اثر متقابل دو جانبهٔ تیمارها تأثیر معنی‌داری بر عرض میوه نداشت (جدول ۱). تأثیر رقم بر نسبت طول به عرض میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). نسبت طول به عرض میوه در رقم کاماروسا (۱/۲۳) به‌طور معنی‌داری بالاتر از رقم سلوا (۱/۱۷) بود (جدول ۲).

در این پژوهش با وجود نبود معنی‌داری تأثیر رقم و سیلیکات کلسیم بر عرض میوه، بیشترین عرض میوه مربوط به رقم کاماروسا (۲۳/۵ میلی‌متر) و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم بود. Romero-Aranda *et al*. (2006) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، سیلیکون باعث حفظ آب بافت و افزایش تورژسانس یاخته‌ای می‌شود و قابلیت دیواره را در حفظ انبساط یاخته بهبود می‌بخشد. افزایش طول میوه در این پژوهش احتمال دارد به خاطر تأثیر سلیکات کلسیم در افزایش میزان نورساخت، بهبود شرایط تغذیه‌ای و یا تأثیر بر میزان هورمون‌هایی چون جیبرلین باشد (Hwang *et al*., 2007). سیلیکون از راه افزایش جذب برخی عنصرهای غذایی مانند آهن که در ایجاد تبادل بین نظام نوری (فتوسیستم) ۱ و نظام نوری ۲ نقش دارد، باعث افزایش بیشینه کارایی

Archive of SID

www.SID.ir

نظام نوری ۲ می‌شود (Adatia & Besford, 1986). سیلیکون با رسوب در پهنای برگ، باعث افزایش استحکام برگ‌ها و نیز افزایش غلظت سبزینه در واحد سطح برگ شده و از این راه توانایی گیاه برای استفاده مؤثر از نور بالا می‌رود (Chaoui *et al*., 1997; Li *et al*., 2008). غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم نسبت به غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، باعث کاهش میزان طول میوه شد ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). وجود مقادیر زیاد سیلیسیم در دیوارهٔ یاخته‌ای ممکن است باعث استحکام دیواره در مراحل اولیهٔ رشد و طویل شدن یاخته شده و در نتیجه باعث کاهش اندازهٔ یاخته‌ها شود. این کاهش رشد یا در نتیجهٔ بلوغ زودهنگام یاخته‌ها و یا در نتیجهٔ اختلال‌هایی است که ممکن است مقادیر زیاد سیلیکون برای گیاه ایجاد کرده باشد (Yeo *et al*., 1999).

وزن تر و خشک میوه

تجزیهٔ واریانس داده‌ها نشان داد، رقم توت‌فرنگی و سیلیکات کلسیم بر وزن تر میوه معنی‌دار بود (جدول۱). میانگین وزن تر میوه در رقم کاماروسا (۱۰/۴۹ گرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از وزن تر میوه در رقم سلوا (۱۰/۱۳ گرم) بود. با افزایش غلظت سیلیکات کلسیم، وزن تر میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ولی بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). سطوح مختلف سیلیکات کلسیم و اثر متقابل دو جانبهٔ رقم و غلظت سلیکات کلسیم بر درصد وزن خشک میوه معنی‌دار بود (جدول۱). بیشترین وزن خشک میوه مربوط به رقم کاماروسا و غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم و کمترین وزن خشک میوه مربوط به رقم کاماروسا و غلظت ۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم بود (شکل۱).

جدول ۱. تجزیهٔ واریانس تأثیر رقم، سیلیکات کلسیم و اثر متقابل آن‌ها بر برخی صفات مورد ارزیابی در میوهٔ توت‌فرنگی

Table 1. Analysis of variance for the effect of cultivar and calcium silicate and their interaction effects on some evaluated parameters in strawberry fruit

S.O.V	df	MS							
		Fruit length	Fruit width	Length to width ratio	Fruit fresh weight	Fruit dry weight	Firmness	Vitamin C	(TA)
Block	4	3.81^{ns}	9.63^{ns}	0.012^{ns}	0.37^{ns}	1.116^{ns}	0.002^{ns}	0.198^{ns}	0.001^{ns}
Cultivar	1	33.63**	2.22^{ns}	0.028*	1.31*	0.372^{ns}	0.019*	18.781**	0.013**
Calcium silicate	3	13.01*	8.56^{ns}	0.003^{ns}	0.94*	3.653*	0.001^{ns}	3.756**	0.003*
Cultivar × Calcium silicate	3	1.73^{ns}	6.29^{ns}	0.011^{ns}	0.03^{ns}	4.005*	0.003^{ns}	2.151**	0.003*
Error	28	3.43	4.38	0.004	0.28	1.136	0.003	0.328	0.001
CV%	-	6.6	8.96	5.79	7.34	10.83	12.86	5.35	7.57

*، **، ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significanty difference at 5 and 1% probability levels, and non-significantly difference, respectively.

جدول ۲. اثر سادهٔ رقم و سیلیکات کلسیم بر برخی صفات مورد ارزیابی در میوهٔ توت‌فرنگی

Table 2. Simple effects of cultivar and calcium silicate on some evaluated parameters in strawberry fruit

Calcium silicate (mg/l)	Fruit length (mm)	Length to width ratio	Fruit fresh weight (gr)	Firmness (N)	TSS/TA	Antioxidant activity (% DPPH)	Calcium (g/l)	Catalase enzyme (µM H_2O_2/min/1gFw)
0	26.80^{b}	1.20^{a}	9.94^{b}	0.435^{a}	19.53^{a}	37.42^{b}	0.071^{d}	1.33^{b}
50	27.63^{b}	1.22^{a}	10.18^{ab}	0.438^{a}	19.73^{a}	4313^{ab}	0.081^{c}	1.60^{ab}
100	29.50^{a}	1.21^{a}	10.52^{a}	0.452^{a}	18.60^{a}	4196^{ab}	0.091^{b}	1.35^{b}
200	28.25^{ab}	1.17^{a}	10.6^{a}	0.438^{a}	20.07^{a}	4982^{a}	0.099^{a}	1.76^{a}
Cultivar								
‘Camarosa’	28.96^{a}	1.23^{a}	10.49^{a}	0.41^{b}	20.07^{a}	39.86^{b}	0.083^{b}	1.46^{a}
‘Selva’	2713^{b}	1.17^{b}	10.13^{b}	0.46^{a}	18.89^{b}	46.37^{a}	0.088^{a}	1.56^{a}

میانگین‌های با حرف‌های مشترک نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار از نظر آماری در سطح احتمال ۱ یا ۵ درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است (سطح احتمال معنی‌داری هر صفت در جدول تجزیهٔ واریانس برای مقایسهٔ میانگین آن صفت استفاده شد.)

Means with the same letters are not significantly different at the 5 or 1% probability level in Duncan’s Multiple Range Test (significant levels per traits in ANOVA tables were used for Means comparison of the traits.)

Archive of SID

www.SID.ir

Aghighi Ravan *et al.* (2011) در پژوهشی با مقایسهٔ ویژگی‌های کمی و کیفی دو رقم توت‌فرنگی سلوا و کاماروسا ناشی از افزونش به روش کشت بافت و تقسیم بوته نشان دادند، رقم سلوا از لحاظ عملکرد، طول و وزن میوه بر رقم کاماروسا برتری داشت که با نتایج این پژوهش همخوانی ندارد. Khoshkam (2010) نیز در پژوهش خود با بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی و عملکرد برخی رقم‌های توت‌فرنگی در شرایط کشت گلخانه‌ای نشان داد، رقم کاماروسا عملکرد بالاتری نسبت به رقم سلوا داشت. به‌احتمال تفاوت در شرایط تغذیه‌ای و محیطی گلخانه در این پژوهش‌ها دلیل این تفاوت‌ها است. محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم باعث افزایش وزن تر میوهٔ توت‌فرنگی شد و بیشترین وزن تر میوه در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم مشاهده شد. سیلیکات کلسیم به دلیل وجود یون کلسیم باعث افزایش محتوای کلسیم بافت میوهٔ توت‌فرنگی شده و با تأخیر در رسیدن و جلوگیری از نرم شدن میوه، مقاومت بافت میوه را افزایش می‌دهد (Hernandez *et al*., 2006). احتمال دارد یون کلسیم با اتصال به دیوارهٔ یاخته‌ای استحکام آن را افزایش داده و با کاهش فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (Makus & Morris, 1998)، سرعت تنفس و تولید اتیلن را کم می‌کند و با حفظ آماس یاخته و حفاظت از غشاء باعث کاهش از دست‌دهی رطوبت می‌شود (Navjot *et al*., 2010). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده شد در تیمار شاهد (۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم) بیشترین وزن خشک میوه مربوط به رقم سلوا بود و با کاربرد سیلیکات کلسیم میزان وزن خشک میوه در هر دو رقم افزایش یافت. به نظر می‌رسد سیلیکات کلسیم میزان بازدهٔ نورساختی برگ‌ها را با افزایش غلظت سبزینه افزایش داده در نتیجه میزان مادهٔ خشک بافت میوه نیز افزایش می‌یابد (Lalithya *et al*., 2013). اختلاف در میزان وزن تر و خشک میوه‌های توت‌فرنگی می‌تواند به دلیل تأثیر نوع رقم و شرایط محیطی و تغذیه‌ای باشد (Asadi Gharneh *et al*., 2013).

سفتی

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف رقم بر میزان سفتی میوه بود (جدول۱). در این آزمایش رقم سلوا سفتی بیشتری نسبت به رقم کاماروسا داشت (جدول ۲). Cordenonsi *et al.* (2002) با بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی برخی رقم‌های توت‌فرنگی نشان دادند که محتوای آب در رقم‌های متفاوت است و این مسئله نقش مهمی در میزان سفتی بافت میوه در رقم‌های مختلف دارد. سفتی بافت میوهٔ توت‌فرنگی تحت تأثیر میزان پلی اورونوئیدها[1] و همی سلولز[2] بافت میوه بوده (Huber, 1984) و بسته به رقم (Ezadyar *et al*., 2014)، محتوای کلسیم میوه (Wojcik & Lewandowski, 2003)، میزان کاربرد کود نیتروژن (Sistrunk & Morris, 1985)، زمان برداشت (Nunes & Morais, 2002) و میزان فعالیت آنزیم پلی گالاکتروناز (Nogata *et al*., 1993) متفاوت است. در این پژوهش با وجود نبود معنی‌داری تأثیر سیلیکات کلسیم بر میزان سفتی، محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم تا غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان سفتی در میوهٔ توت‌فرنگی شد. سفتی بالا در میوه‌های تیمارشده با سیلیکات کلسیم با شکل‌گیری کراس لینک‌هایی بین گروه کربوکسیل آزاد دیوارهٔ یاخته‌ای و زنجیرهٔ پکتین است که باعث پایداری غشاء یاخته‌ای می‌شود (Manganaris *et al*., 2007). بااین‌حال تأثیر سیلیکات کلسیم در میزان سفتی میوه دو رقم توت‌فرنگی مورد بررسی در این آزمایش، معنی‌دار نبود.

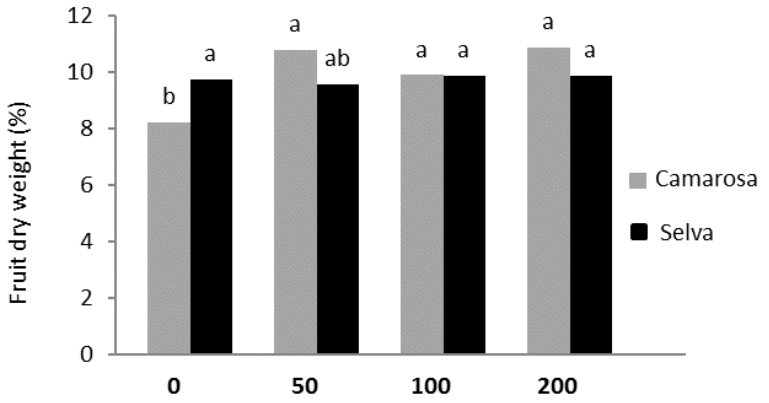
ویتامین ث

تأثیر رقم و سیلیکات کلسیم و اثر متقابل آن‌ها بر میزان ویتامین ث میوه معنی‌دار بود (جدول ۱). در رقم کاماروسا با افزایش غلظت سیلیکات کلسیم میزان ویتامین ث به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. میزان ویتامین ث در رقم سلوا با کاربرد سیلیکات کلسیم افزایش معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

1. Polyuronides
2. Hemicellulose

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. اثر متقابل رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان وزن خشک میوهٔ توت‌فرنگی
(میانگین‌های با حرف‌های مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر پایهٔ آزمون چند دامنه‌ایی دانکن ندارند)
Figure 1. Interaction effects of cultivar and calcium silicate on dry weight in strawberry fruits.
(Means with the same letters are not significantly different at the 5% level in Duncan's Multiple Range Test).

Tulipani *et al.* (2008) کیفیت تغذیه‌ای نه رقم توت‌فرنگی را بررسی کردند و میزان ویتامین ث رقم کاماروسا را حدود ۳۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم میوهٔ تازه به دست آوردند که این میزان نسبت به محتوای ویتامین ث رقم‌هایی مانند آلبا[1] و آدریا[2] بالاتر بود. میزان ویتامین ث در میوهٔ توت‌فرنگی بسته به نوع رقم بین ۳۲/۴ تا ۸۴/۷ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شده است (Hakala *et al.*, 2003). در این بررسی میزان ویتامین ث در میوهٔ رقم کاماروسا بین ۱۰/۳۴ تا ۱۲/۶۴ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر به دست آمد. دلیل این تفاوت می‌تواند به خاطر شرایط متفاوت کشت و تغذیه و یا روش اندازه‌گیری باشد. سیلیکات کلسیم با افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز اکسیداسیون سریع اسید آسکوربیک را به تأخیر می‌اندازد (Kazemi *et al.*, 2011). سیلیکات کلسیم با داشتن عنصر کلسیم و بار مولکولی و اتصال به غشاء باعث پایداری آن می‌شود و با این کار از اتصال رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن به غشاء جلوگیری کرده و به حفظ سلامتی غشاهای زیستی کمک می‌کند و باعث جلوگیری از تجزیهٔ ویتامین ث می‌شود (Spinardi, 2005).

1. Alba
2. Adria

اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی (TA)

نتایج جدول تجزیهٔ واریانس بیانگر معنی‌دار بودن تأثیر رقم، سیلیکات کلسیم و اثر متقابل دو جانبهٔ رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی بود (جدول ۱).

همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت سلیکات کلسیم، اسیدهای قابل عیارسنجی در هر دو رقم افزایش یافت و این افزایش در رقم سلوا به‌طور معنی‌داری بالاتر از رقم کاماروسا بود. جلوگیری از کاهش و یا افزایش اسیدهای آلی میوه‌ها نه تنها در بهبود طعم آب‌میوه تأثیر می‌گذارد، بلکه باعث افزایش ماندگاری و ارزش غذایی آب‌میوه نیز می‌شود (Feliciano *et al.*, 2010). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در رقم کاماروسا میزان اسیدهای آلی در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم افزایش و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت ولی این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

اسیدهای آلی هنگام رسیدن میوه و پیشرفت پیری به دلیل مصرف شدن در تنفس و تبدیل به قندها کاهش می‌یابند و کاهش آن‌ها ارتباط مستقیم با فعالیت‌های سوخت‌وسازی (متابولیکی) دارد. بنابراین هر عاملی که باعث کاهش تنفس و تولید اتیلن شود به‌واسطهٔ کاهش مصرف قندها از کاهش اسیدهای آلی

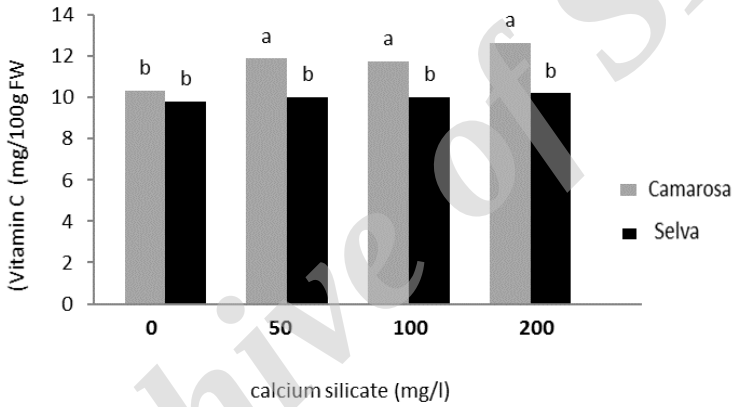
Archive of SID

www.SID.ir

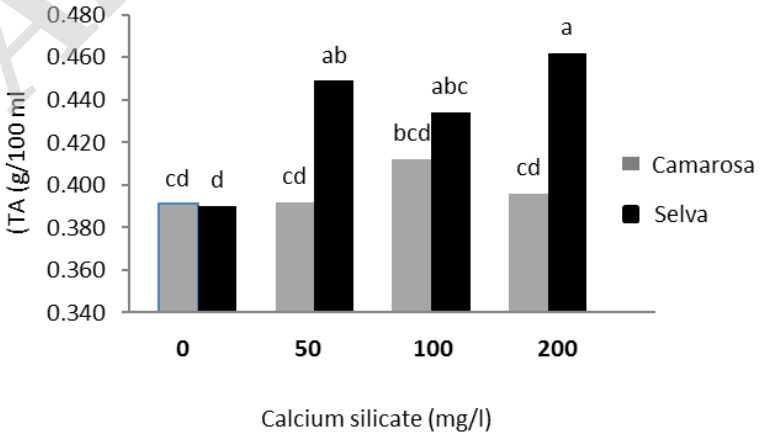
جلوگیری می‌کند (Jalili Marandi, 2012). Hanumanthaiah *et al.* (2015) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، میزان اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی در میوه‌های موز با کاربرد خاکی و محلول‌پاشی سیلیکون کاهش یافت. این کاهش به‌احتمال می‌تواند به دلیل تأثیر سلیکون بر فرآیندهای رسیدن و افزایش مواد جامد محلول باشد (Hanumanthaiah *et al.*, 2015). در این پژوهش مشخص شد، با افزایش غلظت سیلیکات کلسیم، اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی در هر دو رقم افزایش یافت. دلیل این افزایش می‌تواند به خاطر حضور یون کلسیم در تیمار سیلیکات کلسیم باشد. مشخص شده است که کلسیم با کاهش تولید اتیلن و سرعت تنفس باعث پایین آوردن متابولیسم فرآورده و افزایش اسیدیتهٔ قابل عیارسنجی می‌شود (Dris & Niskanen, 1999).

مواد جامد محلول (TSS)

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد که تأثیر سطوح مختلف سیلیکات کلسیم و اثر متقابل دو جانبهٔ تیمارها بر میزان مواد جامد محلول معنی‌دار بود (جدول ۳). غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم باعث افزایش معنی‌دار میزان مواد جامد محلول در رقم سلوا شد. با وجود افزایش مواد جامد محلول در رقم کاماروسا با محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم، بین غلظت‌های مختلف سلیکات کلسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).



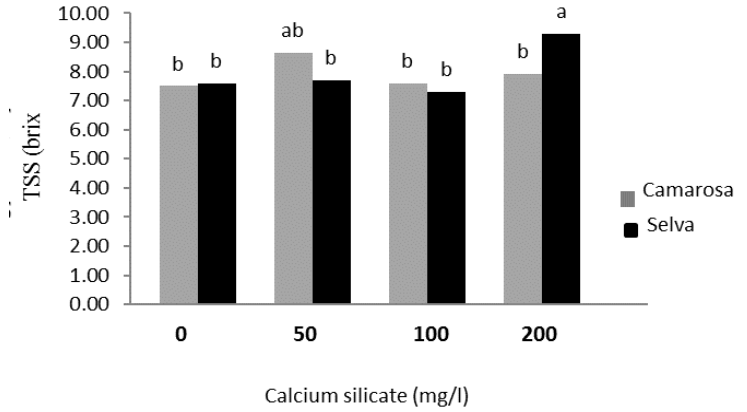
شکل ۲. اثر متقابل رقم و سیلیکات کلسیم بر محتوای ویتامین ث میوهٔ توت‌فرنگی
(حرف‌های غیر همسان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).
Figure 2. Interaction effects of cultivar and calcium silicate on vitamin C content in strawberry fruits.
(Means with the same letters are not significantly different at the 1% level in Duncan's Multiple Range Test).



شکل ۳. اثر متقابل رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان اسیدهای آلی در میوهٔ توت‌فرنگی
(حرف‌های غیر همسان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).
Figure 3. Interaction effects of cultivar and calcium silicate on TA in strawberry fruits.
(Means with the same letters are not significantly different at the 5% level in Duncan's Multiple Range Test).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. اثر متقابل رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان مواد جامد محلول میوهٔ توت‌فرنگی

(حرف‌های غیر همسان نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد با آزمون چند دامنه‌ای دانکن است).

Figure 4. Interaction effects of cultivar and calcium silicate on TSS in strawberry fruits.

(Means with the same letters are not significantly different at the 1% level in Duncan's Multiple Range Test).

علت افزایش TSS، افزایش فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتاز است که آنزیمی کلیدی در زیست‌ساخت (بیوسنتز) ساکاروز (SPS) است. این آنزیم در طی فرآیند رسیدن، توسط هورمون اتیلن فعال می‌شود (Tavarini *et al*., 2008). سیلیکون با رسوب در پهنک‌برگ‌ها، غلظت سبزینه در واحد سطح برگ را افزایش می‌دهد (Epstein, 1999). نتایج نشان داده است، سلیکون سامانهٔ پاداکسندگی گیاه را فعال کرده و از تخریب ساختار کلروپلاست‌ها جلوگیری می‌کند (Liang *et al*., 2007). سیلیکون با افزایش سبزینهٔ برگ، افزایش سوخت‌وساز آب، افزایش نفوذپذیری غشاء و جذب و مصرف مواد کانی، نورساخت را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش وزن میوه و همچنین مواد جامد محلول می‌شود (Lalithya *et al*., 2013). همچنین گزارش شده که سیلیکون در تنظیم انتقال قند از محل تولید و یا برگ به محل مصرف یا میوه مؤثر است (Lee *et al*., 2000). بالا بودن مواد جامد محلول در میوه‌های تیمارشده با کلسیم، احتمال دارد به علت ایجاد یک لایهٔ نازک روی سطح میوه است که باعث کاهش سرعت تنفس میوه و جلوگیری از فرآیند تجزیه و شکستن کربوهیدرات‌ها شود و این حالت باعث حفظ مواد جامد محلول میوه‌ها خواهد شد (Shokrollah Fam *et al*., 2012). در واقع به نظر می‌رسد یون کلسیم با اتصال به این مولکول‌ها از سرعت تجزیهٔ آن‌ها می‌کاهد (Shokrollah Fam *et al*., 2012). در این پژوهش مشخص شد، واکنش دو رقم به تیمار سیلیکات کلسیم در برخی صفات مانند میزان مواد جامد محلول، ویتامین ث و فنل کل متفاوت بود. علت این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت رقم‌ها در جذب آب و مواد کانی، محتوای عنصرهای موجود در میوه و دیگر ویژگی‌های بیوشیمیایی متفاوت در رقم‌های مختلف باشد. واکنش متفاوت رقم‌های (معنی‌داری و بدون معنی‌داری) به تیمارهای شیمیایی نه تنها در توت‌فرنگی، در دیگر میوه‌ها (رقم‌های آلو) نیز گزارش شده است (Plich & Wojcik, 2002).

جدول ۳. تجزیهٔ واریانس تأثیر رقم، سیلیکات کلسیم و اثر متقابل آن‌ها بر برخی صفات مورد ارزیابی در میوهٔ توت‌فرنگی

Table 3. Analysis of variance for the effect of cultivar and calcium silicate and their interaction effects on some evaluated parameters in strawberry fruit

S.O.V	df	MS					
		TSS	TSS/TA	Total phenol	Antioxidant	Calcium	Catalase enzymes
Block	4	1.010^{ns}	5.807^{ns}	1661.4^{ns}	6.92^{ns}	0.002^{**}	0.238^{ns}
Cultivar	1	0.042^{ns}	27.528^{ns}	16912.65^{**}	417.42^{**}	0.0002^{*}	0.111^{ns}
Calcium silicate	3	2.935^{**}	11.680^{ns}	2032.14^{ns}	262.20^{**}	0.001^{**}	0.420^{*}
Cultivar × Calcium silicate	3	2.438^{**}	15.563^{ns}	3041.31^{*}	33.12^{ns}	0.00001^{ns}	0.295^{ns}
Error	28	0.519	7.293	1117.9	37.76	0.00003	0.125
CV (%)	-	9.07	14.03	13.19	14.26	6.65	23.36

*، **، ns: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱درصد و نبود اختلاف معنی‌دار.

*, **, ns: Significanty difference at 5 and 1% probability levels, and non-significantly difference, respectively.

Archive of SID

www.SID.ir

نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل عیارسنجی یا ضریب رسیدگی (TSS/TA)

با وجود معنی‌دار نبودن تأثیر رقم و سیلیکات کلسیم و اثر متقابل آن‌ها بر نسبت TSS/TA، بیشترین میزان این نسبت مربوط به رقم کاماروسا بود. کاربرد ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم باعث افزایش این نسبت شد، ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل عیارسنجی می‌تواند در نتیجه کاهش اسیدهای آلی به دلیل استفاده این ترکیب‌ها به‌عنوان مواد اولیهٔ سوخت‌وساز طی فرآیند تنفس (Jalili Marandi, 2012) و یا افزایش مواد جامد محلول ناشی از تأثیر سلیکون بر میزان نورساخت باشد (Agarie *et al.*, 1996). بااین‌حال در این پژوهش تأثیر غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم بر نسبت TSS/TA معنی‌دار نبود. علت این امر می‌تواند به خاطر اثر مثبت و افزایشی سیلیکات کلسیم بر میزان اسیدهای آلی و مواد جامد محلول در این پژوهش باشد.

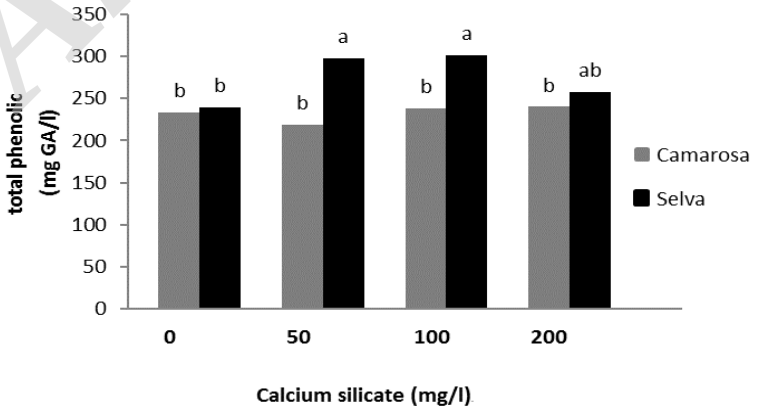
محتوای فنل کل

تأثیر رقم و اثر متقابل دو جانبهٔ تیمارها بر محتوای فنل کل میوه معنی‌دار بود (جدول ۳). در رقم سلوا با تیمار سیلیکات کلسیم، محتوای فنل کل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در رقم کاماروسا با وجود تأثیر مثبت سیلیکات کلسیم بر افزایش محتوای فنل کل، تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف سیلیکات کلسیم مشاهده نشد (شکل ۵).

Thomas-Barbaran *et al.* (2001) در نتایج بررسی‌های خود روند یکسانی در محتوای فنل کل رقم‌های مختلف هلو، آلو و شلیل در فرآیند رسیدگی مشاهده نکردند. نتایج این تحقیق نشان داد، سیلیکات کلسیم باعث افزایش محتوای فنل کل میوه به‌ویژه در رقم سلوا شد. در میوه‌های آووکادو تیمارشده با سیلیکون افزایش غلظت فنل‌ها مشاهده شد (Tesfay *et al.*, 2010). کاربرد سیلیکون در آلوی شابلون با افزایش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز باعث افزایش غلظت فنل‌ها در میوه شد (Habibi & Abedini, 2015).

محتوای پاداکسندهٔ کل

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد، تأثیر رقم و سیلیکات کلسیم بر محتوای پاداکسندهٔ کل میوه معنی‌دار بود (جدول ۳). پاداکسنده‌ها با دادن الکترون به رادیکال‌های آزاد اکسیده شده و توان اکسیدکنندگی و ایجاد آسیب و زیان توسط رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند (Asghari & Ahadi, 2012). در این پژوهش رقم کاماروسا نسبت به رقم سلوا محتوای پاداکسندهٔ کل کمتری داشت (جدول ۲). ظرفیت پاداکسندگی توت‌فرنگی تحت تأثیر میزان ویتامین ث، فلاونوئیدها و ترکیب‌های فنلی است (Ferreyra *et al.*, 2007).



شکل ۵. اثر متقابل رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان فنل کل میوهٔ توت‌فرنگی

(حرف‌های غیر همسان نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد در بین میانگین‌ها در آزمون دانکن هستند)

Figure 5. Interaction effects of cultivar and calcium silicate on total phenolic in strawberry fruits.
(Means with the same letters are not significantly different at the 1% level in Duncan's Multiple Range Test).

Archive of SID

www.SID.ir

ظرفیت پاداکسندگی می‌تواند با رقم، اندازه و نوع بافت میوه نیز ارتباط داشته باشد (Anokpornm *et al*., 2008). همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شد، رقم سلوا محتوای فنل کل بیشتری نسبت به رقم کاماروسا داشت و می‌توان بیشتر بودن ظرفیت پاداکسندگی کل رقم سلوا را به بیشتر بودن محتوای فنل کل آن ارتباط داد (Lata, 2008). در این پژوهش کاربرد سیلیکات کلسیم باعث افزایش محتوای پاداکسندهٔ کل میوهٔ توت‌فرنگی شد (جدول ۲). سیلیکون با تأثیر بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و افزایش فنل‌ها، باعث افزایش توان سامانهٔ پاداکسندگی و کیفیت میوه‌های آلو شد (Habibi & Abedini, 2015). ترکیب‌های فنلی در سامانهٔ پاداکسندگی گیاهان دخیل هستند. این ترکیب‌های فیتوشیمیایی با تغییر در بیان ژن‌ها و فعالیت پروتئین‌ها بر فعالیت آنزیم‌های سامانهٔ پاداکسندگی اثرگذار هستند (Vattem *et al*., 2005).

میزان کلسیم میوه

تأثیر رقم و سیلیکات کلسیم بر میزان کلسیم بافت میوه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان کلسیم میوه مربوط به رقم سلوا و کمترین میزان مربوط به رقم کاماروسا بود (جدول ۲). همخوانی نتایج میزان کلسیم میوه و سفتی بافت رقم سلوا، بیشتر بودن میزان کلسیم و تأثیر مثبت آن را در بهبود سفتی بافت میوهٔ رقم سلوا تأیید می‌کند. در این پژوهش میزان کلسیم بافت میوه با کاربرد محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین میزان کلسیم میوه مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم و کمترین میزان کلسیم میوه مربوط به غلظت ۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم بود (جدول ۲). به دلیل وجود کلسیم در سیلیکات کلسیم، تأثیر مثبت آن بر میزان کلسیم میوه قابل توجیه است. Goudarzi (2008) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرد، با افزایش غلظت نمک‌های کلسیم میزان اسیدیته، کلسیم بافت و سفتی بافت میوهٔ توت‌فرنگی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. انتقال کند کلسیم جذب‌شده به میوه‌ها به دلیل تعرق پایین آن‌ها و همچنین محدود بودن ظرفیت گیاه برای تنظیم درونی کلسیم، دلیل پایین بودن محتوای کلسیم میوه‌ها است (Taylor & Locascio, 2004). تیمار خارجی نمک‌های کلسیمی، محتوای کلسیم بافت میوه را افزایش داده و باعث استحکام بافت میوه می شود. کلسیم با اتصال به دیوارهٔ یاخته‌ای و افزایش استحکام آن و کاهش فعالیت درون و برون یاخته‌ای آنزیم پلی گالاکتروناز، از کاهش سفتی میوه‌ها جلوگیری می‌کند (Saftner *et al*., 1998). Pivast *et al*. (2008) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند، تیمار سیلیکون باعث افزایش جذب کلسیم توسط گیاه می‌شود. سازوکار فیزیولوژیکی تأثیر سیلیکون روی جذب و انتقال کلسیم به‌وسیلهٔ گیاه به‌کلی روشن نیست. تفاوت در مدل‌های دیوارهٔ سلولزی در نتیجه ته‌نشینی سیلیکون ممکن است پراکنش محل‌های آنیونی که کلسیم را جذب می‌کنند، افزایش دهد در نتیجه به نظر می‌رسد که باید محتوای کلسیم در بافت گیاهی افزایش یابد (Ghoulam *et al*., 2002).

آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان داد، سطوح مختلف سیلیکات کلسیم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان فعالیت آنزیم مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم و کمترین میزان آن مربوط به غلظت ۰ میلی‌گرم در لیتر بود. بین غلظت‌های ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم با شاهد تفاوت معنی‌داری از لحاظ فعالیت آنزیم کاتالاز مشاهده نشد (جدول ۲). آنزیم کاتالاز یک آنزیم پاداکسندگی مهم برای فعال شدن بسیاری از پاسخ‌های دفاعی در برابر تنش‌ها بوده و خاصیت سم‌زدایی دارد که همراه با آنزیم‌های دیگر فعالیت حذف‌کنندگی رادیکال‌های آزاد را انجام می‌دهد (Hernandez *et al*., 2006). محلول‌پاشی ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم باعث افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو رقم توت‌فرنگی شد. تأثیر مثبت تیمار سیلیکون در افزایش فعالیت آنزیم‌های پاداکسندگی از جمله کاتالاز توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (Zhu *et al*.,

Archive of SID

www.SID.ir

2004; Gunes *et al*., 2007). با وجود نبود معنی‌داری تأثیر رقم بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به رقم سلوا بود. آنزیم کاتالاز به‌عنوان یک سامانهٔ پاداکسندگی آنزیمی، باعث تجزیهٔ پراکسید هیدروژن به آب و اکسیژن می‌شود و به‌طور عمده در سیتوزول، میتوکندری و پراکسی‌زوم‌ها یافت می‌شود و از اکسایش (اکسیداسیون) لیپیدها، تخریب سبزینه و آسیب‌های دیوارهٔ یاخته‌ای جلوگیری می‌کند (Jithesh *et al*., 2006). فعالیت پاداکسندگی می‌تواند با نوع رقم، اندازه و نوع بافت میوه ارتباط داشته باشد (Anokpornm *et al*., 2008). در این پژوهش بیشترین فعالیت پاداکسندگی در رقم سلوا مشاهده شد که می‌تواند فعالیت بالای آنزیم کاتالاز در این رقم را توجیه کند. تفاوت در فعالیت پاداکسندگی رقم‌های مختلف، در دیگر محصولات نیز توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Rodrigues *et al*., 2011; Jelodarian *et al*., 2012).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد، محلول‌پاشی سیلیکات کلسیم باعث بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی شد. در بیشتر صفات مورد ارزیابی غیر از محتوای فنل کل، تیمار سیلیکات کلسیم در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیر بالاتری نسبت به تیمار ۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سیلیکات کلسیم داشت. با وجود شرایط یکنواخت کاشت، داشت و برداشت، واکنش دو رقم کاماروسا و سلوا توت‌فرنگی به تیمار سیلیکات کلسیم به‌کلی همسان نبود به‌طوری‌که رقم سلوا واکنش مثبت و بهتری را نسبت به تیمار سیلیکات کلسیم نشان داد.

REFERENCES

1. Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kubota, F. & Kaufman, P. B. (1996). Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza Sativa* L.): *Testing the window hypothesis*. *Journal of Experimental Botany*, 47(299), 655-660.
2. Aghighi Ravan, F., Taghavi, T. & Esnaashari, M. (2011). Qualitative and quantitative comparison of two varieties of strawberries (Selva and Camarosa) obtained from plant tissue culture and propagation by division method. In: Proceeding of *7th* Iranian Horticultural Science Congress, 5-8 Sep., Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Anokpornm, P. O., Puwastien, P., Nitithamyong, A. & Sirichakwal, P. (2008). Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 241-248.
4. Asadi Gharneh, H., Arzani, K., Shojaeian, A. A., Ghol parvar, A. R. & Sabbagh Nia, N. (2014). The genetic diversity of some cultivars using morphological characteristics. *Plant production (Journal of Agricultural Sciences)*, 37, 93-106. (In Farsi).
5. Asghari, M. R. & Ahadi, L. (2012). Post-harvest application effect of salicylic acid and *aloe vera* gel on qualitative characteristics and antioxidant activity of Gizel Uzum grape cultivar. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology)*, 27, 342-343. (in Farsi)
6. Beers, J. & Sizer, I. W. (1952). A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. *Journal of Food Chemistry*, 95, 133-140.
7. Biggs, A. R., El-Kholi, M. M., El-Neshawy, S. & Nickerson, R. (1997). Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. *Plant disease*, 82, 399-403.
8. Kauss, H. (1987). Some aspects of calcium dependent regulation in plant metabolism. *Annual Review of Plant Physiology*, 38(1), 47-71.
9. Cordenonsi, M. Montagner, M., Adorno, M., Zacchigna, L., Martello, G. & Mamidi, A. (2002). Integration of TGF-ß and Ras/MAPK signaling through p53 phosphorylation. *Science*, 315, 840-843.
10. Daneshmand, A. & Ghasempour Alamdari, M. (2014). The effect of different amounts of nitrogen and potassium silicate sprays on agronomic traits and yield of Tarom rice variety. *Journal of Crop Production Research*, 6, 118-107.
11. De Souza, A. L., Fernandes, B. M. I. & Quintao Scalon, S. (1999). Post-harvest application of CaCl2 in strawberry fruits: Evaluation of fruit quality and post-harvest life. *Science*, 23(4), 841-848.
12. Dris, R. & Niskanen, R. (1999). Calcium chloride sprays decrease physiological disorders following long-term cold storage of apple. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54, 159-171.
13. Du, G., Li, M., Ma, F. & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113, 557-562.

Archive of SID

www.SID.ir

14. Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual review of plant biology*, 50(1), 641-664.
15. Ezadyar, S. A., Sadeghi, H. & Bahmanyar, M. A. (2014). Medium and chilling effect on the qualitative and quantitative characteristics of three varieties of strawberries. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 45(2), 217-223. (in Farsi)
16. Feliciano, R. P., Antunes, C., Ramos, A., Serra, A. T., Figueira, M. E., Duarte, C. M. & Bronze, M. R. (2010). Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1–Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods*, 2(1), 35-45.
17. Ferreyra, M. R., Vina, S. Z., Mugridge, A. & Chaves, A. (2007). Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva. *Scientia Horticulturae*, 112, 27-32.
18. Francini, A. & Sebastiani, L. (2013). Phenolic compounds in apple (*Malus x domestica* Borkh.): compounds characterization and stability during postharvest and after processing. *Antioxidants*, 2(3), 181-193.
19. Ghoulam, C., Foursy, A. & Fares, K. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and prolin accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47, 39-50.
20. Goudarzi, F. (2008). The effect of calcium post-harvest application on the quality and shelf life of strawberries. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 46, 231-240. (in Farsi)
21. Gunes, A., Inal, A. & Bagic, E. G. (2007). Silicon mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative steress in spinach and tomato grown in sodic – B toxic soil. *Plant Soil*, 290, 103-114.
22. Habibi, G. H. & Abedini, M. (2015). The effect of silicon on the amount of phenolic, antioxidant system and phenylalanine ammonia lyase enzyme in stored shablon plum fruits. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 5, 93-100. (in Farsi)
23. Hakala, M., Lapveteläinen, A., Huopalahti, R., Kallio, H. & Tahvonen, R. (2003). Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *Journal of Food composition and analysis*, 16(1), 67-80.
24. Hanumanthaiah, M. R., Kulapatihipparagi, R. C., Renuka, D. M., Kiran Kumar, K. & Santhosha, K. V. (2015). Effect of soil and foliar application of silicon on fruit quality parameters of banana cv. Neypoovan under Hill zone. *Plant Archives*, 15, 221-224.
25. Hassanpour, A., Madras Motlagh, A., Esmaeili, M. & Rahmani Didar, A. (2011). Changes in the mechanical properties of the seedless grapes during ripening. *Journal of food research*, 21 (3), 354-344.
26. Hernandez, P., Almenar, E., Ocio, M. J. & Gavara, R. (2006). Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 247- 253.
27. Hernandez, P., Almenar, E., Valle, V. D., Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110, 428-35.
28. Hwang, S. J., Hamayun, M., Kim, H. Y., Na, C. I., Kim, K. U., Shin, D. H., Kim, S. Y. & Lee, I. J. (2007). Effect of nitrogen and silicon nutrition on bioactive gibberellin and growth of rice under field conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 10(4), 281-286.
29. Huber, D. J. (1984). Strawberry fruit softening: the potential roles of polyuronides and hemicelluloses. *Journal of Food Science*, 49(5), 1310-1315.
30. Jalili Marandi, R. (2012). Post-harvest physiology (Handling and storage of fruit, vegetable, ornamental and medicinal plants). *Publications (SID)*, p. 593. (in Farsi)
31. Jelodarian, S., Haghir Ebrahimabadi, A., Khalighi, A. & Batooli, H. (2012). Evaluation of antioxidant activity of Malus domestica fruit extract from Kashan area. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 2, 139-145.
32. Jithesh, M. N., Prashanteh, S. R., Sivaprakash, K. R. & Ajayk, P. (2006). Antioxidative response mechanisms in halophytes their role in stress defence: *Journal of Genetics*, 85(3), 237-250.
33. Kaluwa, K., Bertling, I., Bower, J. P. & Tesfay, S. Z. (2010). Silicon application effects on 'Hass' avocado fruit physiology. *Horticultural Science*, 33, 44-47.
34. Kazemi, M., Aran, M. & Zamani, S. (2011). Effect of calcium chloride and salicylic acid treatments on quality characteristics of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward) during storage. *American Journal of Plant Physiology*, 6(3), 183-189.
35. Khoshkam, S. (2011). Evaluation of yield, quality and quantity characteristics of Strawberry Cultivar under greenhouse conditions in Jiroft and Kahnoj rejoin. In: Proceedings of *5th* national conference on new ideas in agriculture, 16-17 Feb., Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Khorasgan, Iran.
36. Lalithya, K. A., Hipparagi, K., Thippeshappa, G. N. & Vishnuvar, D. (2013). Effect of silicon and micronutrients on growth and yield attributes of sapota cv. Kalipatti under hill zone. *Crop Research*, 46, 146-149.

Archive of SID

www.SID.ir

37. Lanauskas, J. & Kvikliene, N. (2006). Effect of calcium foliar application on some fruit quality characteristics of 'Sinap Orlovskij'apple. *Agronomy Research*, 4(1), 31-36.
38. Lata, B. (2008). Apple peels antioxidant status in relation to genotype, storage type and time. *Scientia Horticulturae*, 117, 45-52.
39. Lee, J., Jong, P. & Kyeong, S. U. (2000). Effect of potassium silicate on growth, photosynthesis, and inorganic ion absorption in cucumber hydroponics. *Journal Korean Society for Horticultural Science*, 41(5), 480-484.
40. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y. G. & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. *Environmental pollution*, *147*(2), 422-428.
41. Makus, D.J. and Morris, J.R. (1998). Preharvest calcium applications have little effect on mineral distribution in ripe strawberry fruit. *HortScience*, 33(1), 64-66.
42. Manganaris, G. A., Vasilakakis, M., Diamantidis, G. & Mignani, I. (2007). The effect of postharvest calcium application on tissue calcium concentration, quality attributes incidence of flesh browning and cell wall physicochemical aspects of peach fruits. *Journal of Food Chemistry*, 100, 1385-1392.
43. Navazio, L., Moscatiello, R., Genre, A., Novero, M., Baldan, B., Bonfante, P. & Mariani, P. (2007). A diffusible signal from arbuscular mycorrhizal fungi elicits a transient cytosolic calcium elevation in host plant cells. *Plant Physiology*, 144, 673-681.
44. Navjot, G., Sukhjit Kaur, J. & Parmpal Singh, G. (2010). Effect of calcium on cold storage and post-storage quality of peach. *Journal of Food Science Technology*, 22 (6), 2225-2229.
45. Nogata, Y., Ohta, H. & Voragen, A. G. J. (1993). Polygalacturonase in strawberry fruit. *Phytochemistry*, 34(3), 617-620.
46. Nunes, M. C. N., Morais, A. M. M. B., Brecht, J. K. & Sargent, S. A. (2002). Fruit maturity and storage temperature influence response of strawberries to controlled atmospheres. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(5), 836-842.
47. Peivast, G.H., Zarea, M. R. & Samizadeh, H. (2008). Interaction of silicon and salinity on lettuce growth under culture conditions in the thin layer of nutrient solution. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22, 79-88. (in Farsi)
48. Plich, H. & Wojcik, P. (2002). The effect of calcium and boron foliar application on postharvest plum fruit quality. *Acta Horticulturae*, 594, 445-51.
49. Prasad, B., Dimri, D. C. & Bora, L. (2015). Effect of pre-harvest foliar spray of calcium and potassium on fruit quality of Pear cv. Pathernakh. *Scientific Research and Essays*, 10(11), 376-380.
50. Putra, E. T. S., Zakaria, W., Abdullah, N. A. H. & Saleh, G. (2010). Weak neck of *Musa* sp. cv. Rasthali: A review on its genetic, crop nutrition and post-harvest. *Journal of Agronomy*, 9, 45-51.
51. Rodrigues, E., Poerner, N., Rockenbach, I. I., Gonzaga, L. V., Mendes, C. R., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. *Food Science and Technology (Campinas)*, 31(4), 911-917.
52. Roshdy, K. H. A. (2014). Effect of spraying silicon and seaweed extract on growth and fruiting of Grandnine banana. *Egypt Journal of Agricultural Research*, 92(3), 979-991.
53. Romero-Aranda, M. R., Jurado, O. & Cuartero, J. (2006). Alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Plant Physiology*, 163, 847-855.
54. Saftner, R. A., Conway, W. S. & Sams, C. E. (1998). Effects of postharvest calcium and fruit coating treatments on postharvest life, quality maintenance, and fruit-surface injury ingolden delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(2), 294-298.
55. Sayarri, M. & Rahemi, M. (2002). The heating calcium chloride and potassium permanganate on storage life and fruit firmness of Golden Delicious apples. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 6, 67-76. (in Farsi)
56. Seyyedlar Fatemi, L., Tabatabai, S. J. & Fallahi, A. (2009). Effect of silicon on growth and yield of strawberry under salt stress conditions. *Journal of Horticultural Science* (*Agricultural Science and Technology*), 23, 95-88. (in Farsi)
57. Shokrollah Fam, S., Hajji lu, G., Zarea, F., Tabatabai, S. G. & Hassani, R. (2012). The effect of calcium chloride and salicylic acid on the qualitative characteristics and shelf life of Ghatreh Tala plum cultivar. *Journal of Food Technology*, 22, 75-85. (in Farsi)
58. Sistrunk, W. A. & Morris, J. R. (1985). Strawberry quality: influence of cultural and environmental factors. In *Evaluation of quality of fruits and vegetables* (pp. 217-256). Springer US.
59. Spinardi, A. M. (2005). Effect of harvest data and storage on antioxidant systems in pears. *Journal of Acta Horticulturae*, 682, 88-97.
60. Tabatabaei, S. J., Fatemi, L. S. & Fallahi, E. (2006). Effect of ammonium: nitrate ratio on yield, calcium concentration, and photosynthesis rate in strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 29(7), 1273-1285.

Archive of SID

www.SID.ir

61. Tavarini, S., Innocenti, E. D., Remorini, D., Massai, R. & Guidi, L. (2008). Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, 107, 282-288.
62. Taylor, M. D. & Locascio, S. J. (2004). Blossom-end rot: A calcium deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 27(1), 123-139.
63. Tesfay, S. Z., Bertling, I. & Bower, J. P. (2011). Effects of postharvest potassium silicate application on phenolics and other antioxidant systems aligned to avocado fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*, 60(2), 92-99.
64. Thomas-Barbaran, F. A., Gil, M. I., Cremin, P., Waterhoiuse, A. L., Hess-Pierce, B. & Kader, A. A. (2001). HPLC–DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines peaches, and plum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4748-4760.
65. Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, M. J., Vos, C. H. D., Capanoglu, E., Bovy, A. G. & Battino, M. (2008). Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 696-704.
66. Wang, S. Y. & Galletta, G. J. (1998). Foliar application and Potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(1), 157-167.
67. Vattem, D. A., Ghaedian, R. & Shetty, K. (2005). Enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 14(2), 120-130.
68. Waterhouse, A. L. (2002). Determination of total phenolics. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry New York units*, 3, 18-19.
69. Wojcik, P. and Lewandowski, M. (2003). Effect of calcium and boron sprays on yield and quality of "Elsanta" strawberry. *Journal of plant nutrition*, 26(3), 671-682.
70. Wrolsted, Y., Koyama, N. & Tamura, H. (2008). Color and anthocyanin composition of strawberry fruits: changes during fruit development and differences among cultivars, with special reference to the occurrence of pelargonidin 3-malonylg lucosid. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71, 355-361.
71. Yeo, A. R., Flowers, S. A., Rao, G., Welfare, K., Senanayake, N. & Flowers, T. J. (1999). Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant Cell Environment*, 22, 559-565.
72. 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, 527-533.

Archive of SID

www.SID.ir