Archive of SID

Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 50, No 3, Autumn 2019 (501-514)
DOI: 10.22059/ijhs.2017.224137.1159

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۸ (ص ۵۱۴-۵۰۱)

تأثیر محلول‌پاشی تاج درخت با سدیم‌سلنات بر غنی‌سازی زیستی سلنیوم و حفظ کیفیت میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' در طول دوره انبارمانی

شیدا محبی[۱]، مصباح بابالار[۲*]، ذبیح‌اله زمانی[۲] و محمد علی عسکری سرچشمه[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۸)

چکیده

در این پژوهش اثر محلول‌پاشی تاج درخت سیب 'استارکینگ دلیشس' با سلنات‌سدیم در ۴ سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) در ۲ نوبت (در دوره بزرگ‌شدن میوه)، بر خصوصیات کمی و کیفی و انبارمانی میوه و همچنین امکان‌پذیری محلول‌پاشی تاج درخت به‌عنوان روش تولید میوه‌های غنی از سلنیوم مورد مطالعه قرار گرفت. میوه‌ها بعد از برداشت در سردخانه در دمای ۱±۱ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد به‌مدت ۶ ماه نگهداری شدند. نمونه‌ها در روز صفر قبل از انباری و در طول دوره نگهداری با فواصل ۱ ماهه از سردخانه خارج شده و به‌منظور ایجاد حالت مشابه در خرده‌فروشی‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و سپس از نظر فاکتورهای مختلف فیزیکوشیمیایی نظیر رنگ سطحی، آنتوسیانین، pH، اسید قابل‌تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین‌ث، میزان تولید اتیلن و تجمع سلنیوم در میوه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی تاج درخت با سلنات‌سدیم منجر به افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌ها و میوه شد. تیمار میوه‌ها با سطوح مختلف سلنیوم تفاوت معنی‌داری در کاهش تولید اتیلن، حفظ سفتی گوشت، pH، اسید قابل‌تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث و رنگ سطحی نسبت به میوه‌های شاهد داشتند. همچنین میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم، بهترین اثر را در حفظ مقدار ویتامین‌ث و آنتوسیانین میوه‌ها نشان داد. در مجموع، محلول‌پاشی تاج درخت در غنی‌سازی‌زیستی سلنیوم در میوه سیب مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی‌داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است.

واژه‌های کلیدی: اتیلن، پس از برداشت، رنگ سطحی میوه و ویتامین ث.

Influence of canopy spraying with sodium selenate on selenium biofortification and fruit quality maintenance of 'Starking Delicious' apple during storage

Sheida Mohebbi[1], Mesbah Babalar[2*], Zabihollah Zamani[2] and Mohammad Ali Askari Sarcheshmeh[3]
1, 2, 3. Former Ph. D. Student, Professor and Associate Professor, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Jan. 2, 2017 - Accepted: May 30, 2017)

ABSTRACT

In this research the effects of canopy sodium selenate spraying at 4 levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mg Se L^{-1}) twice at the period of fruit enlargement on quantitative and qualitative attributes and storage life of 'Starking Delicious' apple fruits, and the viability of canopy spraying as a method of producing Se-enriched fruits, were evaluated. After harvest, the fruits were stored at 1±1°C and 90-95% relative humidity for 6 months. Samples were taken initially and at 1-month intervals during storage and to simulate market conditions they were placed at room temperature for 24 hr, and then physicochemical parameters such as surface color, anthocyanin, pH, titrable acidity, total soluble solids, vitamin C, ethylene production and selenium accumulation in fruits were measured. Results showed that canopy sodium selenate spraying resulted in an increase in Se concentration both in leaves and fruits. Fruit treatment with different levels of Se had significant effect in reduction of ethylene production, maintaining of flesh firmness, pH, titrable acidity, total soluble solids, vitamin C and surface color compared to control fruits. Also, treating of the fruits with 1.5 mg Se showed the best effect in retaining of vitamin C and anthocyanin. Overall, canopy selenium spraying was effective in Se bio-fortification of apple fruit, and subsequently had significant effect in quality retention during cold storage.

Keywords: Ethylene, fruit surface color, postharvest, vitamin c.

* Corresponding author E-mail: mbabalar@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در طول دوره رشد و نمو میوه سیب، عوامل زیادی اثر مستقیم بر کیفیت و رفتار پس از برداشت آن دارند، که از مهمترین آنها می‌توان به ژنوتیپ و تغذیه مواد معدنی اشاره نمود. مدیریت تغذیه برای حداکثر عملکرد و افزایش کیفیت و بهره‌وری ضروری است (Dris *et al*., 1998). تغذیه گیاه با عناصر ریزمغذی و درشت‌مغذی ضروری و غیرضروری اثر قابل‌ملاحظه‌ای بر رشد، نمو، ترکیب و خصوصیات کیفی، و وقوع بیماری‌ها و نابسامانی‌های فیزیولوژی میوه هم روی گیاه و هم در دوره پس از برداشت دارد (Fageria, 2009; Savvas *et al*., 2008). اگرچه منابع متعددی در رابطه با تأثیر عناصر ریزمغذی ضروری وجود دارد اما در رابطه با عناصر ریزمغذی غیرضروری مانند سلنیوم پژوهش اندکی صورت گرفته است (Hu *et al*., 2003; Malorgio *et al*., 2009; Pezzarossa *et al*., 2012; Pezzarossa *et al*., 2014; Rios *et al*., 2010). حتی در برخی موارد در رابطه با طبقه‌بندی سلنیوم به‌عنوان یک عنصر غیرضروری در گیاهان عالی اتفاق نظر وجود ندارد. اگرچه سلنیوم در غلظت‌های بالا برای گیاهان مضر است، اما در غلظت‌های پایین دارای اثر مفیدی است. نقش مفید سلنیوم در گونه‌هایی با قابلیت تجمع مقادیر قابل‌توجه سلنیوم و نیاز بالا به این عنصر جهت رشد طبیعی و در برخی محصولات جهت مقابله با تنش‌های اکسیداتیوی مورد مطالعه قرار گرفته است (Djanaguiraman *et al*., 2005). همچنین گزارش شده است که به‌دلیل خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، سلنیوم در گیاهانی مانند کاهو در مقابل تنش‌های اکسیداتیوی ناشی از اشعه UV دارای نقش حفاظتی بوده و حتی سبب بهبود رشد گیاهان در معرض مقادیر بالای انرژی می‌شود (Xue *et al*., 2001). سلنیوم اثر مثبت بر مقاومت در برابر تنش فتواکسیداسیونی در سیب‌زمینی دارد (Seppanen *et al*., 2003). افزودن سلنات به خاک سبب طولانی‌شدن دوره رشد رویشی در گیاه و تأخیر در شروع پیری میوه‌های گوجه‌فرنگی شد (Pezzarossa *et al*., 1999). مشخص شده است که محلول‌پاشی تاج درختان هلو و گلابی با سدیم‌سلنات بر عمر قفسه‌ای میوه مؤثر بوده و باعث کاهش سرعت نرم‌شدن و رسیدن میوه گردیده است (Pezzarossa *et al*., 2012). همچنین، محلول‌پاشی برگی با سلنیوم باعث افزایش پارامترهای حفاظتی مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، فنول کل و عوامل مهارکننده رادیکال‌های آزاد و متعاقباً کمک به گیاهان جهت کاهش پراکسیداسیون لیپید، افزایش تحمل و بهبود عملکرد و کیفیت میوه پرتقال ناول شد (Elham *et al*., 2013).

علاوه بر تأثیر بر متابولیسم و فیزیولوژی محصولات مختلف، افزایش غلظت سلنیوم، خواص مرتبط با سلامت محصول را افزایش می‌دهد. در حقیقت، سلنیوم به‌عنوان جزئی از ترکیب آمینواسید سلنوسیستئین[1]، در چندین آنزیم مانند گلوتاتیون‌پراکسیداز، تیوردوکسین‌ردوکتاز، سلنوپروتئین[2] و سوپراکسید دیسمیوتاز (SOD) وجود دارد (Birringer *et al*., 2002; Ferrarese *et al*., 2012). در انسان، گزارش شده است که سلنیوم در مکانیسم‌های دفاعی و بیوسنتز هورمون در بزرگسالان و نوزادان نقش دارد. سلنیوم به‌طور عمده در تولید هورمون فعال تیروئید، در عملکرد ماهیچه‌ها، در فرآیند تولید مثل و در پاسخ سیستم ایمنی به برخی از عفونت‌ها دخیل است. مدارک و شواهد روزافزونی مبنی بر ضرورت کاربرد سلنیوم بدون تجاوز از آستانه سمی، در تضمین سلامت طولانی‌مدت مانند کاهش خطر سرطان در انسان وجود دارد (Dhur *et al*., 1990; Finley, 2007). مصرف محصولات غنی‌شده با سلنیوم به‌دلیل زیست‌فراهمی بالاتر شکل‌های آلی، می‌تواند روش مناسبی برای مصرف سلنیوم باشد (Pezzarossa *et al*., 2014).

محتوای سلنویم در گیاهان می‌تواند به روش‌های مختلفی افزایش یابد که شامل افزودن سلنیوم به خاک، غوطه‌وری بذور در محلول سلنیوم قبل از کشت، کشت هیدروپونیک و ایروپونیک[3] در محلول غذایی حاوی سلنیوم و محلول‌پاشی گیاه با محلول سلنیوم بوده است (Bittman *et al*., 1997; Hu *et al*., 2003; Kopsell *et al*., 2009; Pezzarossa *et al*., 2012; Zhao & Shewry, 2011). نشان داده شده است که

1. Selenocysteine
2. Selenoprotein
3. Hydroponic and aeroponic cultivation

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌پاشی برگ‌ها و میوه‌ها یا تاج درخت در مقایسه با کاربرد کود سلنیومی در خاک ارجح‌تر بوده و این موضوع به‌دلیل کارایی بیشتر جذب سلنیوم در غیاب اثر ترکیبات باقی‌مانده[1] است (Gupta *et al*., 1988). همچنین محلول‌پاشی برگ‌ها و میوه‌ها باعث مصرف حداقل میزان نمک‌های سلنیومی بوده و ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین روش پذیرفته‌شده برای بهبود محتوای سلنیوم در محصولات است (Djujic *et al*., 2000). محلول‌پاشی برگی سلنیوم در افزایش محتوای سلنیوم در اکثر محصولات مانند شیکوری (Germ *et al*., 2007)، جو و گندم (Gupta *et al*., 1988) و سیب‌زمینی (Poggi *et al*., 2000) مؤثر بوده است. در چای سبز محلول‌پاشی برگی سلنیوم نه‌تنها سبب افزایش محتوای سلنیوم شد بلکه عملکرد گیاه، مقادیر آمینواسیدهای کل و ویتامین ث را نیز افزایش داد (Hu *et al*., 2003). گزارش شده است که محلول‌پاشی برگی سلنیوم در مقایسه با دو روش کوددهی در خاک و تزریق به تنه درخت[2] منجر به افزایش غلظت سلنیوم میوه و نیز افزایش عملکرد و کیفیت میوه عناب[3] شده و این روش می‌تواند برای تولید میوه‌های غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان مفید باشد (Zhao *et al*., 2013). همچنین، گزارش شده است که سلنیوم در به تأخیر افتادن فرآیند پیری در گیاه مؤثر بوده و بنابراین می‌تواند در کاهش میزان ضایعات پس از برداشت از طریق افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی مرتبط با افزایش فعالیت گلوتاتیون‌پراکسیداز مؤثر باشد (Xue *et al*., 2001). مشخص شده است که محلول‌پاشی تاج درختان هلو و گلابی با سدیم‌سلنات بر عمر قفسه‌ای میوه مؤثر بوده و باعث کاهش سرعت نرم‌شدن و رسیدن میوه گردیده است (Pezzarossa *et al*., 2012)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد سیب غنی‌شده با سلنیوم به‌عنوان میوه‌ای با مصرف نسبتاً بالا و قابلیت دسترسی در طول سال در ایران، بتواند کاندید مناسبی در رژیم غذایی روزانه به‌منظور تامین سلنیوم به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مورد نیاز بدن و جلوگیری از صدمات اکسیداسیونی باشد. اهمیت دسترسی مردم به سیب غنی‌شده به‌عنوان یک میوه مهم در سراسر دنیا که پس از مرکبات و موز به لحاظ میزان مصرف در مقام سوم قرار دارد، می‌تواند به‌عنوان استراتژی مستقیم جهت افزایش جذب سلنیوم از رژیم غذایی، دارای اثر سودمندی باشد.

با توجه به پژوهش‌های پیشین در رابطه با اثر سلنیوم در افزایش عملکرد و کیفیت میوه در محصولات میوه‌ای و سایر محصولات باغبانی و این‌که مطالعه تأثیر سلنیوم در میوه سیب، زمینه جدیدی است که پژوهشی در رابطه با آن صورت نگرفته است، هدف از این پژوهش بررسی پتانسیل محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم برای غنی‌سازی زیستی میوه سیب با هدف افزایش میزان سلنیوم دریافتی از رژیم غذایی انسان، و همچنین اثر افزایش میزان سلنیوم بر بهبود کیفیت و انبارمانی میوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ بر درختان ۱۲ ساله سیب ’استارکینگ دلیشس‘ (*Malus* × *domestica* cv. Starking Delicious) پیوند شده بر پایه مالینگ مرتون ۱۰۶، کشت‌شده در فواصل ۳×۱/۵ متر و تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در باغ واقع در منطقه دماوند انجام شد. این درختان به لحاظ قدرت رشدی، عملیات کشاورزی منظم مانند مدیریت شخم‌زنی، آبیاری و کنترل آفات دارای شرایط مشابهی بودند. تیمار سلنات‌سدیم (Na_2SeO_4, Sigma Aldrich) به‌صورت محلول‌پاشی تاج درخت در ۴ سطح غلظتی صفر (به‌عنوان شاهد)، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، در ۲ مرحله طی بزرگ‌شدن میوه (محلول‌پاشی اول؛ ۶۰ روز پس از تمام گل و محلول‌پاشی دوم؛ ۲ هفته پس از محلول‌پاشی اول)، اعمال شد. محلول‌پاشی درختان (۵ لیتر به‌ازای هر درخت) در صبح و در شرایطی که دما زیاد نبود تا هنگام جاری‌شدن رواناب، اعمال گردید. میوه‌های درختان سیب ’استارکینگ دلیشس‘ محلول‌پاشی‌شده با سلنیوم و نیز میوه‌های درختان محلول‌پاشی شده با آب (شاهد) در مرحله بلوغ تجاری بر اساس عرف محل، به‌طور تصادفی از قسمت‌های

1. Residual effects
2. Trunk injecction
3. Pear-jujub

www.SID.ir

Archive of SID

مختلف درختان برداشت، اتیکت‌گذاری و بلافاصله به گروه علوم باغبانی دانشگاه تهران منتقل شدند. میوه‌های یکنواخت از نظر اندازه، رنگ، درجه رسیدگی و عاری‌بودن از بیماری انتخاب شده و جهت از بین‌بردن هر گونه آلودگی یا گرد و غبار از سطح میوه‌های انتخاب شده، به‌خوبی با آب مقطر شسته و برای خشک‌شدن در معرض جریان هوا قرار داده شدند. سپس میوه‌های تیمارشده و شاهد، داخل جعبه‌های مشبک پلاستیکی نگهداری میوه، در دو لایه در هر جعبه قرار داده شده و پس از اتیکت‌گذاری، تا زمان انجام آزمایش در سردخانه (دمای ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد) نگهداری شدند. این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل (زمان انبارمانی و همچنین سطوح مختلف تیمار سلنیوم) کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. میوه‌های موجود در هر تیمار و شاهد در روز صفر قبل از دوره انباری و سپس در هر مرحله از نمونه‌برداری با فواصل ۳۰ روزه (از میوه‌های هر تکرار ۵ عدد) از سردخانه خارج شده و برای ایجاد حالت مشابه در خرده فروشی‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت (Sharma *et al.*, 2013) در شرایط محیطی اتاق (دمای ۱±۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد) قرار گرفته و سپس در آزمایشگاه از نظر صفات کیفی و کمی مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی وضعیت خاک، نمونه‌گیری از نقاط مختلف باغ انجام شد و برای آنالیز به آزمایشگاه میزان سنجش پاسارگاد (کرج) منتقل شد که نتایج آن در جدول ۱ قابل مشاهده است.

رنگ ظاهری میوه و اندازه‌گیری شاخص آنتوسیانین

رنگ ظاهری میوه با استفاده از رنگ‌سنج مینولتا (مدل CR ۴۰۰، ژاپن) بررسی گردید. از هر تیمار ۱۰ میوه به تصادف انتخاب گردید و قرائت‌ها از دو نقطه مقابل هم در استوای میوه انجام شد و شاخص‌های L^*، a^* و b^* اندازه‌گیری شدند. شاخص L^* یا میزان روشنایی از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، شاخص a^* یا میزان قرمزی از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و شاخص b^* یا میزان زردی از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) می‌باشند (Guiné & Fernandes, 2006). زاویه هیو به‌عنوان شاخصی از درک انسان از رنگ پوست میوه است که زاویه ۰ و یا ۳۶۰ درجه، نمایانگر رنگ قرمز و زاویه‌های ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰، به‌ترتیب نشان‌دهنده رنگ‌های زرد، سبز و آبی می‌باشد که با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$h^{\circ} = tan^{-1}\frac{b^*}{a^*} \qquad (۱$$

جهت اندازه‌گیری میزان جذب آنتوسیانین از ترکیب روش Mohebbi *et al.* (2015) و Dong *et al.* (1995) استفاده شد. ۵ گرم از پوست میوه در ده میلی‌لیتر الکل اتانول همگن‌شده و عصاره توسط دستگاه سانتریفوژ صاف گردید. سپس میزان جذب عصاره توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-160، شیمادزو، ژاپن) در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت گردید. میزان جذب عصاره به عنوان شاخص غلظت آنتوسیانین بیان شد.

اندازه‌گیری pH، درصد اسید قابل تیتراسیون (TA) و مواد جامد محلول کل (TSS) عصاره میوه

تعداد ۳ میوه از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب و آبگیری شده و پس از انجام فیلتراسیون توسط کاغذ صافی، برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل، درصد اسید قابل تیتراسیون و pH مورد استفاده قرار گرفت. مقدار مواد جامد محلول کل (TSS) به‌روش رفراکتومتری (مدل RF-40، والثام[1]، ایالت متحده آمریکا) و به‌صورت درصد بیان شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای پژوهش

Table 1. Some physical and chemical characteristics of the soil from the experimental site

Texture	K ($mgkg^{-1}$)	P ($mgkg^{-1}$)	N (%)	OM (%)	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	TNV%
Sandy Clay Loam	1000	52	0.16	1.87	8	3.36	18

TNV%: Total Neutralising Value= درصد مواد خنثی‌شونده

OM: Organic Matter= مواد آلی

1. Waltham

www.SID.ir

Archive of SID

pH آب میوه با استفاده از یک pHمتر دیجیتالی (آمل 334-B، میلان، ایتالیا) اندازه‌گیری شد. اسید قابل تیتراسیون از طریق تیتراسیون ۱۰ میلی‌لیتر از آب میوه با استفاده از سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH = ۸/۲ انجام شده و نتایج آن با استفاده از رابطه ۲ به‌صورت درصد و بر مبنای غالبیت اسید مالیک بیان شد.

۲) اسید قابل تیتراسیون (% as Malic acid) = (سود مصرفی × نرمالیته سود × وزن اکی والان اسید غالب / حجم نمونه تیترشده × ۱۰۰۰) ×۱۰۰

وزن اکی والان اسید مالیک = ۶۷

اندازه‌گیری سفتی میوه

سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دستی (FDK32، واگنر، آمریکا)، با قطر پیستون ۸ میلی‌متر و در ۲ قسمت استوایی میوه پس از جدا کردن پوست میوه اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری ویتامین ث

میزان ویتامین ث بر حسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید موجود در ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب میوه، با روش تیتراسیون با کمک یدور پتاسیم و معرف نشاسته و با استفاده از ۵ میلی‌لیتر از آب میوه اندازه‌گیری شد. مقدار ویتامین ث با استفاده از فرمول ۳ بر حسب میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه بیان گردید (Mostofi & Asghari Marjanlou, 2010).

۳) ویتامین ث (میلی‌گرم در ۱۰۰گرم آب تازه میوه) = (۰/۸۸ × مقدار محلول ید مصرفی) / ۵

اندازه‌گیری میزان تولید اتیلن

میزان تولید اتیلن میوه با روش به‌کار برده‌شده توسط Soleimani Aghdam *et al.* (2008) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. ۳ عدد میوه از هر تیمار پس از تعیین حجم و وزن، درون ظروف پلاستیکی کاملاً درز بسته با حجم مشخص در شرایط آزمایشگاهی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت، نمونه‌برداری اتیلن با استفاده از ونوجکت و سوزن دوسر مخصوص انجام شد. ۱ میلی‌لیتر از نمونه گاز توسط سرنگ همیلتون از ونوجکت برداشته شد و مقدار اتیلن تولیدشده با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف (شیمادزو مدل ۱۰۲، ژاپن)، اندازه‌گیری شد.

تجمع سلنیوم

غلظت سلنیوم تجمع‌یافته در برگ‌ها و میوه‌های سیب محلول‌پاشی‌شده با سطوح مختلف سلنیوم با روش Zasoski & Burau (1977) اندازه‌گیری شد. نمونه‌های برگ و میوه پس از خشک‌شدن در آون با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و رسیدن به وزن ثابت، آسیاب و از غربال ۱ میلی‌متری عبور داده شد و پس از هضم با اسیدنیتریک و اسیدپرکلریک و کاهش توسط اسید هیدروکلریک با استفاده از اسپکترومتری جرمی ICP در شرکت زرآزما (تهران) آنالیز شد. غلظت سلنیوم بر اساس وزن خشک (میکروگرم در کیلوگرم وزن خشک) بیان شد. ۳ عدد میوه ار هر تکرار به‌عنوان نمونه مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۲۰ عدد برگ از قسمت میانی شاخه‌های یکساله به‌طور تصادفی از هر تکرار انتخاب شد.

طرح آزمایشی و تجزیه آماری

این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. داده‌ها پس از جمع‌آوری، مرتب شده و با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ انجام گرفت.

نتایج و بحث

رنگ ظاهری میوه و اندازه‌گیری شاخص آنتوسیانین

بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص روشنایی (L^*) در روز صفر و همچنین در طول دوره انبارمانی در میوه‌های تحت تیمار سلنیوم و شاهد نشان داد که به لحاظ میزان روشنایی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. به‌طوری‌که از همان روز

www.SID.ir

Archive of SID

صفر (قبل از قراردهی میوه‌ها در انبار سرد) میزان روشنایی میوه‌های تحت تیمار نسبت به شاهد پایین‌تر بود، اگرچه از نظر آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند (جدول ۲). همچنین در طول دوره انبارمانی میزان روشنایی هم در میوه‌های شاهد و هم در میوه‌های محلول‌پاشی شده با سلنیوم افزایش یافت و این افزایش در میوه‌های شاهد در مقایسه با میوه‌های محلول‌پاشی شده با سطوح مختلف سلنیوم بیشتر بود. با افزایش غلظت سلنیوم محلول‌پاشی‌شده، افزایش میزان روشنایی میوه‌ها کمتر بود (جدول ۲). به‌طوری‌که کمترین میزان آن در پایان دوره انباری در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم و بیشترین میزان آن در میوه‌های شاهد مشاهده شد (جدول ۲). افزایش روشنایی یک روند طبیعی در دوره پس از برداشت بسیاری از میوه‌ها محسوب می‌شود (Fernando *et al*., 2007). یکی از عوامل افزایش روشنایی میوه‌ها تجزیه و تخریب رنگدانه‌ها و کاهش محتوای آنتوسیانین در طول دوره انبارمانی است (Pérez & Sanz, 2001). نتایج مشابهی در خصوص افزایش روشنایی در ارقام مختلف میوه سیب تحت شرایط رشدی و تیمارهای مختلف در طول دوره انبارمانی گزارش شده است (Ganai *et al*., 2015).

محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم سطوح آنتوسیانین را در میوه‌های سیب تحت تأثیر قرار داده است (جدول ۳) به‌طوری‌که سطح آنتوسیانین با افزایش غلظت سلنیوم همبستگی مثبت نشان داده و میوه‌های محلول‌پاشی شده از میزان جذب نوری آنتوسیانین بیشتری در مقایسه با شاهد برخوردار بودند (جدول ۲). در پژوهشی دیگر گزارش شده است که از نظر میزان آنتوسیانین در کلم‌قرمز بین غلظت‌های مختلف سلنیوم و شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Mechora *et al*., 2011). نتایج مشابهی در خصوص افزایش میزان آنتوسیانین در برگ‌های ریحان محلول‌پاشی‌شده با سطوح مختلف سلنیوم گزارش شده است (Hawrylak-Nowak, 2008). در چندین پژوهش دیگر نیز گزارش شده است که در مقایسه با شاهد، تیمار سلنیوم به‌طور چشمگیری موجب افزایش محتوای آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدهای نشاهای گندم و سورگوم شد (Abbas, 2013; Chu *et al*., 2010). در گیاهان افزایش سطوح آنتوسیانین و فلاونوئیدها اغلب ناشی از عوامل تنش‌زای مختلف است (Winkel- Shirley, 2002). به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی با سلنیوم مقدار آنتوسیانین را با میزان سنتز و یا تجزیه آن تحت تأثیر قرار می‌دهد. با در نظرگیری فعالیت بیولوژیکی آنتوسیانین‌ها و ترکیبات فنولی گیاهان در انسان و حیوانات، به‌نظر می‌رسد افزایش محتوای این ترکیبات در زیست‌توده گیاه پدیده‌ای مثبت باشد.

جدول ۲. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان درخشندگی، هیو و آنتوسیانین میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Table 2. Effect of canopy selenium spraying on lightness, Hue and antioxidant activity of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

		Storage time (month)						
Character	Se treatment (mg Se L^{-1})	0	1	2	3	4	5	6
Lightness	Control	18.75ijklmn	28.53def	36.12 c	38.45 c	44.60 b	47.64 b	52.77 a
	0.5 Se	15.3mn	15.95lmn	17.6jklmn	21.7hijk	27.1 efg	31.1 ed	37.4c
	1 Se	14.13n	14.83mn	16.9klmn	20.02 ijklm	22.98 ghij	23.55 fghi	33.44cd
	1.5 Se	14.6m n	14.70 cdefg	15.70 lmn	18.75ijklmn	20.95 hijkl	23.55 fghi	28.85def
Hue	Control	23.1e	28.33e	33.65d	38.7 c	42.58 bc	46.4 ab	22.60ef
	0.5 Se	11.13mnopq	11.31mnopq	12.97jklmno	18.8ghi	22.13 fg	22.45 fg	15.5hijklm
	1 Se	7.97opq	9.3nopq	11.67lmnopq	16.7 hijkl	18.2ghij	17.91ghijk	20.63gh
	1.5 Se	7q	7.2pq	10.4mnopq	12.41lmnop	14ijklmn	12.8klmno	230.81FG
Anthocyanin (O.D. 530)	Control	1.35n	1.32n	1.4mn	1.35 n	1.17 o	0.99 p	0.77q
	0.5 Se	1.79cdefgh	1.77defghi	1.83abcdef	1.74 fghij	1.68 ijk	1.61 kl	1.45 m
	1 Se	1.86abcd	1.85abcde	1.88abc	1.79 bcdefg	1.76 efghij	1.7 hijk	1.56 l
	1.5 Se	1.94a	1.9ab	1.93a	1.87 abc	1.81bcdefg	1.73ghijk	1.66 jkl

میانگین‌های دارای حروف مشترک در داده‌های مرتبط با صفت مورد بررسی، از نظر آماری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Values within each data for each character with the same letters are not statistically different at p ≤0.01%, according to Duncan's multiple range test.

www.SID.ir

Archive of SID

میزان زاویه هیو یک روند افزایش را در طی مدت انباری در تمام تیمارها به‌ویژه در نمونه‌های شاهد به‌جز در آخرین نمونه‌گیری نشان داد. همچنین تیمار با سلنیوم موجب کاهش میزان زاویه هیو گردید که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات میزان آنتوسیانین در این آزمایش، با کاهش میزان آنتوسیانین در طول مدت انبارمانی با افزایش میزان هیو مواجه هستیم. میزان آنتوسیانین تا پایان دوره انباری کاهش یافت اما این کاهش در میوه‌های محلول‌پاشی شده با سطوح مختلف سلنیوم در مقایسه با میوه‌های شاهد کمتر بود به‌طوری‌که میوه‌های شاهد بیشترین میزان کاهش را نشان دادند و از کمترین میزان آنتوسیانین برخوردار بودند (جدول ۲). الگوی متفاوت در تغییر رنگ سطحی میوه‌های مختلف به‌دلیل تفاوت در غلظت و نسبت ترکیبات رنگی مختلف است (Zheng *et al*., 2008). فعالیت زیاد آنزیم‌های اکسیداتیو نظیر پلی‌فنول اکسیداز که باعث اکسید شدن فنول‌ها می‌شود منجر به ایجاد تغییرات در رنگ و میزان آنتوسیانین میوه می‌شود (Vamos-Vigyazo, 1981). عامل دیگر در کاهش میزان آنتوسیانین افزایش pH است که باعث تخریب آنتوسیانین می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH در این آزمایش، در طول مدت انبارمانی افزایش pH در میوه‌ها به وقوع پیوسته است که می‌تواند در کاهش میزان آنتوسیانین مؤثر بوده باشد.

میزان pH، درصد اسید قابل تیتراسیون (TA) و مواد جامد محلول کل (TSS) عصاره میوه

میزان pH در طول دوره انبارمانی، هم در میوه‌های شاهد و هم در میوه‌های تحت تیمار سطوح مختلف سلنیوم (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) افزایش یافت اما این افزایش به‌ترتیب برای میوه‌های شاهد و میوه‌های تحت تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر بیشتر از تیمارهای ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بود (شکل ۱) و هر چند اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد بین تیمارهای ۰/۵ و ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر وجود نداشت اما به‌ترتیب تیمار ۱/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم به‌عنوان بهترین تیمارها از نظر حفظ pH بودند. این نتایج با نتایج به‌دست‌آمده از بررسی تأثیر سطوح سلنیوم بر pH میوه‌های پرتقال ناول مطابقت داشت (Elham *et al*., 2013). تنفس و مصرف اسیدهای آلی موجود در میوه دلیل اصلی افزایش میزان pH می‌باشد (Serrano *et al*., 2005).

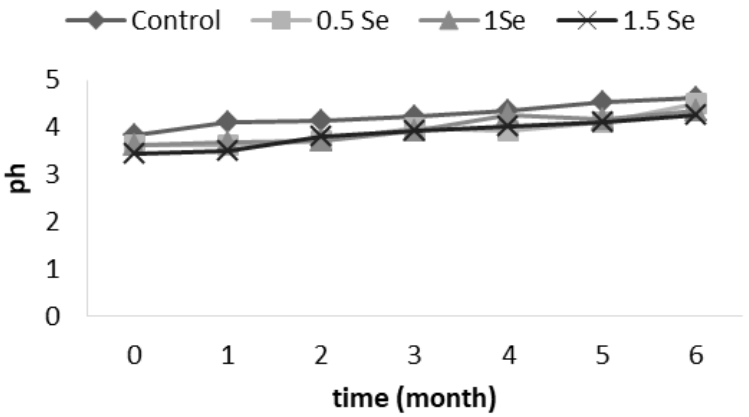
میزان اسید قابل تیتراسیون با توجه به همبستگی منفی با pH عصاره یک روند کاهشی را در طی مدت انبارداری نشان داد. اسیدهای آلی موجود در میوه سیب، در طول مدت نگهداری در انبار در اثر فعالیت تنفسی مصرف شده و کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه تیمار سطوح مختلف سلنیوم با شاهد نشان داد که میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم دارای بیشترین میزان اسید قابل تیتراسیون بودند، که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات تولید اتیلن، این امر احتمالاً ناشی از شدت تنفس کم میوه در دمای پایین و تأثیر کاربرد سلنیوم بر کاهش شدت تنفس در تیمار ذکر شده می‌باشد. این با نتایج حاصل از تأثیر کاربرد سلنیوم در حفظ اسید قابل تیتراسیون در میوه‌های پرتقال ناول مطابقت داشت (Elham *et al*., 2013).

میزان مواد جامد محلول کل در طول دوره انبارمانی در میوه‌های سیب کاهش یافت و این کاهش در میوه‌های شاهد بیشتر از میوه‌های تحت تیمار سلنیوم بود (شکل ۳). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلنیوم با شاهد نیز نشان داد از نظر میزان مواد جامد محلول کل اختلاف معنی‌داری بین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت. هرچند تیمار با سلنیوم ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر از مواد جامد محلول بیشتری برخوردار بود، در طی دوره انبارداری نیز کاهش در میزان مواد جامد محلول در تمام تیمارها اتفاق افتاد، اما بین تیمار سطوح مختلف سلنیوم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری وجود نداشت (شکل ۳). این با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های دیگر در خصوص حفظ مواد جامد محلول کل در میوه‌های گلابی، پرتقال ناول و خرمای تحت تیمار سلنیوم منطبق بود (Pezzarossa *et al*., 2012; Elham *et al*., 2013; Gad El-Kareem *et al*., 2014)، ولی با نتایج پژوهش‌های دیگر که در آنها میزان مواد جامد محلول کل در میوه‌های هلو و گوجه‌فرنگی تحت تیمار

www.SID.ir

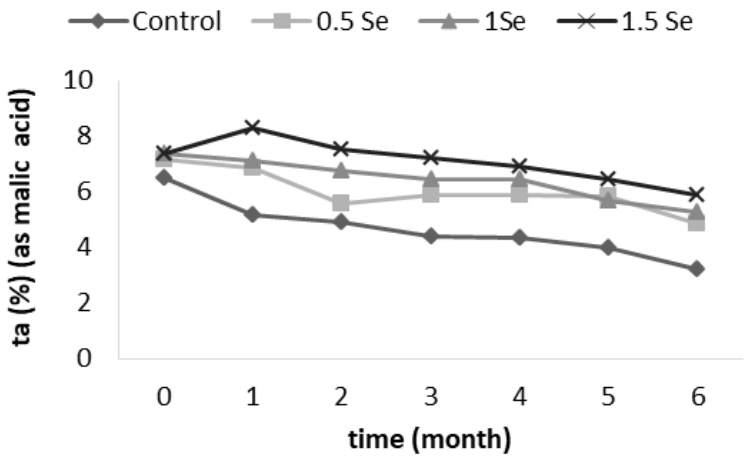
Archive of SID

سطوح مختلف سلنیوم تغییرات معنی‌داری نداشتند، مغایرت داشت (Pezzarossa *et al.*, 2012; Pezzarossa *et al.*, 2014). میزان مواد جامد محلول کل میوه‌ها به‌عنوان یکی از شاخص‌های رسیدگی میوه‌ها مطرح است (Kazemi *et al.*, 2011). نشاسته از ترکیبات ذخیر ای سیب است که طی رشد و نمو میوه تجمع می‌یابد و تجزیه آن هنگام بلوغ میوه، منبع عمده قندهای میوه (ساکارز، گلوکز، فروکتوز و بخش کمی سوربیتول) می باشد که سبب شیرینی میوه می‌شود (Hadian-Deljou & Sarikhani, 2012)؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد روند کاهش در میزان مواد جامد محلول در طول دوره انبارمانی به‌دلیل مصرف قندهای ساده در فرآیند تنفس باشد (شکل ۳). با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری تغییرات تولید اتیلن در این آزمایش به‌نظر می‌رسد که کاربرد سلنیوم با تأثیر بر کاهش میزان تولید اتیلن و کاهش شدت تنفس نقش مهمی را در جلوگیری از مصرف قندها و اسیدها ایفا می‌کند. با وجود اینکه شدت تنفس محصولات باغبانی در دماهای پایین و به‌خصوص با اعمال برخی تیمارهای قبل از برداشت کاهش می‌یابد، کاهش قندها و اسیدها در طول مدت انبارمانی، در اثر مصرف آنها، به‌عنوان سوبسترای اصلی در متابولیسم تنفسی باعث تغییراتی در مقادیر مواد جامد محلول کل، درصد اسید قابل تیتراسیون و pH می‌شود.



شکل ۱. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان pH میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 1. Effect of canopy selenium spraying on pH of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

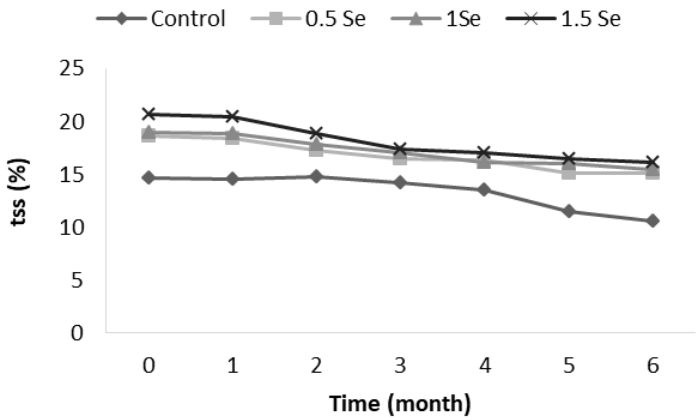


شکل ۲. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان اسید قابل تیتراسیون (TA) میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 2. Effect of canopy selenium spraying on titrable acidity (TA) of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان مواد جامد محلول کل (TSS) میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 3. Effect of canopy selenium spraying on total soluble solidity (TSS) of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

سفتی بافت میوه

سفتی یکی از صفات کیفی مهم در مقبولیت میوه‌ها و سبزی‌های تازه توسط مصرف‌کننده می‌باشد. بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری سفتی در طول آزمایش نشان داد که بین زمان‌های مختلف اندازه‌گیری اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت؛ به‌طوری‌که مقدار آن از ۶/۸۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در روز برداشت به ۴/۱۴ در پایان دوره آزمایش رسید (جدول ۳). همچنین با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلنیوم و شاهد، با افزایش غلظت محلول‌پاشی سلنیوم میزان سفتی میوه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل۴). این نتایج با گزارش دیگر مبنی بر وجود همبستگی مستقیم بین افزایش غلظت سلنیوم کاربردی و افزایش سفتی میوه عناب، مطابقت داشت (Zhao *et al.*, 2013). نرم‌شدن میوه یک تغییر کیفی مهم برای ارزیابی میزان رسیدگی است (Sams, 1999). آنزیم پلی گالاکتوروناز عامل مؤثری در فرآیند رسیدن میوه است که با شکستن پکتین دیواره سلولی باعث نرم‌شدن بافت میوه می‌شود. در میوه‌های هلو و گلابی مشخص شده است که محلول‌پاشی سلنیوم تولید اتیلن را کاهش داده و مانع فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره سلولی و متعاقباً منجر به کاهش میزان تنفس و فعالیت آنزیم‌های مؤثر در رسیدگی، تأخیر در فرآیند رسیدن و کاهش سرعت نرم‌شدن گردیده و به این ترتیب تأثیر مثبتی بر عمر انبارمانی میوه داشته است (Pezzarossa *et al.*, 2012).

مقدار ویتامین ث

ویتامین ث در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها کاهش یافت (شکل ۵). این با نتایج محققین دیگر که اعلام کردند میزان ویتامین ث در میوه‌ها طی مدت زمان انبارمانی کاهش می‌یابد، مطابقت دارد (Lee & Kader, 2000). به‌نظر می‌رسد عامل مؤثر دیگر افزایش اسیدیته یا pH است که باعث تخریب ویتامین ث می‌شود که با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری pH در این آزمایش و افزایش آن در طول مدت انبارمانی قابل‌توجیه است. همچنین مقایسه تیمار سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم دارای بیشترین میزان ویتامین ث بودند، به طوری‌که بین میزان ویتامین ث و غلظت سلنیوم کاربردی همبستگی مثبت وجود داشت (شکل ۵). این با نتایج Hu *et al.* (2003) در خصوص اثر محلول‌پاشی برگی سلنیوم در چای سبز بر افزایش ویتامین ث، منطبق بود، ولی با نتایج Elham *et al.* (2013) که بیان کرده بودند افزایش غلظت سلنیوم تأثیر معنی‌داری بر حفظ محتوای ویتامین ث میوه‌های پرتقال ناول نداشت، مغایرت داشت. به‌نظر می‌رسد سلنیوم از طریق خواص آنتی‌اکسیدانی خود و یا از طریق فعال‌کردن مکانیسم‌هایی موجب کاهش فعالیت اکسیداسیونی و متعاقباً حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند ویتامین ث شده است.

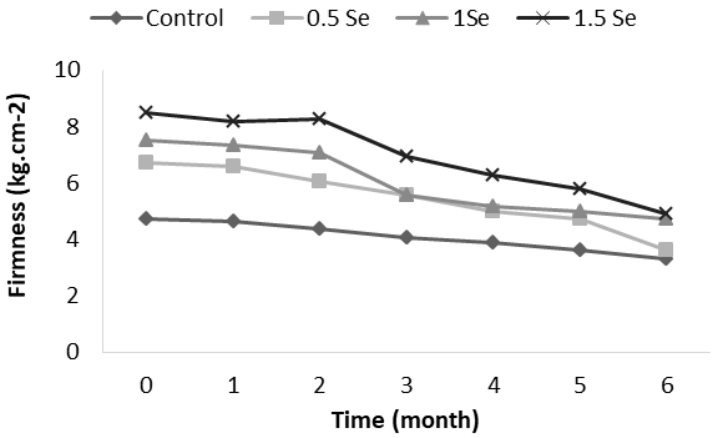
میزان تولید اتیلن

بررسی نتایج حاصل از میزان تولید اتیلن در طول دوره

www.SID.ir

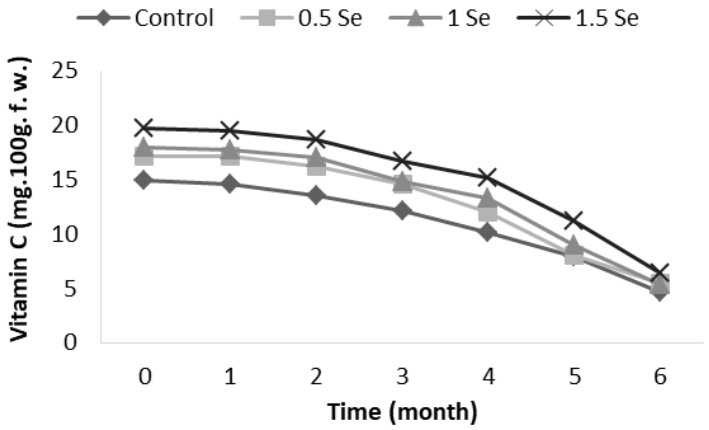
Archive of SID

انبارمانی نشان داد که میزان تولید اتیلن در طی این مدت روند افزایشی داشته است اگرچه در ۴ اندازه‌گیری آخر تفاوت معنی‌داری نشان نداده‌اند (شکل ۶).



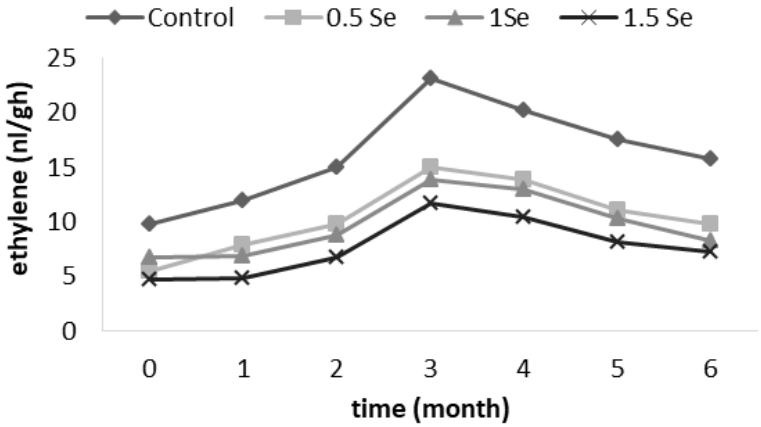
شکل ۴. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر سفتی میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 4. Effect of canopy selenium spraying on firmness of 'Starking Delicious' apple fruit during storage



شکل ۵. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان ویتامین ث میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 5. Effect of canopy selenium spraying on vitamin C content of 'Starking Delicious' apple fruit during storage



شکل ۶. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر میزان تولید اتیلن میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' طی مدت زمان انبارمانی

Figure 6. Effect of canopy selenium spraying on ethylene production of 'Starking Delicious' apple fruit during storage

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمار سطوح مختلف سلنیوم نشان داد که محلول‌پاشی با سلنیوم در هر سه غلظت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر منجر به کاهش معنی‌دار میزان تولید اتیلن در مقایسه با شاهد شد اما با یکدیگر تفاوت معنی‌داری نداشتند به‌علاوه، هم در روز برداشت و هم در دوره انبارمانی تیمار با سلنیوم موجب تفاوت معنی‌دار تولید اتیلن در مقایسه با شاهد شد (شکل ۶). در فرآیند رسیدن میوه‌های فرازگرا مانند سیب، تولید اتیلن، فرآیندهای متعدد وابسته به تولید اتیلن (مانند نرم‌شدن میوه) را القا می‌کند. به‌نظر می‌رسد که تجمع سلنیوم در میوه احتمالاً باعث کاهش بیوسنتز اتیلن شده است. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های پیشین در خصوص فرآیند رسیدن نشان داده است که سلنیوم از طریق کاهش میزان تولید اتیلن در تأخیر رسیدن و پیری میوه گوجه‌فرنگی و پیری کاهو و شیکوری مؤثر است (Malorgio *et al*., 2009; Pezzarossa *et al*., 2014). در گونه‌های مدل آرابیدوپسیس، رشد در محیط کشت حاوی سلنیوم با غلظت ۳/۲ میلی‌گرم در لیتر تأثیر منفی بر نمو گیاه نشان داد، همچنین در بخش هوایی و ریشه‌ها منجر به افزایش بیان[1] ژن‌های مختلف دخیل در تنظیم پیام‌دهی و سنتز اتیلن شد (Van Hoewyka *et al*., 2008). احتمال می‌رود که سطوح بالای سلنیوم که تأثیر منفی بر رشد گیاه داشته‌اند، باعث تحریک و القای واکنش‌های مقابله با شرایط تنش‌زا که در آن اتیلن (و سایر هورمون‌ها یا مولکول‌های پیام‌دهی) دخیل هستند، به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل نموده باشد (Hasanuzzaman *et al*., 2010). در شرایط کشت هیدروپونیک، سلنیوم در سطوح پایین (۱ میلی‌گرم در لیتر) ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق مداخله در بیوسنتز اتیلن باعث ایجاد اثرات آنتی‌اکسیدانی و ضدپیری و کاهش ضایعات پس از برداشت در کاهو (Xue *et al*., 2001) و گوجه‌فرنگی (Pezzarossa *et al*., 2014) شود. با توجه به نتایج حاصل از تغییرات آنتوسیانین، مواد جامد محلول کل، میزان اسیدها، pH و میزان تولید اتیلن در طول دوره ۶ ماه انبارداری، اثرات سلنیوم بر تأخیر در فرآیند رسیدن و ضدپیری مشهود است. در حقیقت، در میوه‌های حاوی سلنیوم کاهش سرعت تجزیه و تخریب آنتوسیانین، کاهش میزان تولید اتیلن، حفظ TSS، TA و pH مؤید این مسئله است که فرآیندهای مرتبط با رسیدن و پیری با اثرات مثبت بالقوه به لحاظ عمر انباری و قفسه‌ای، تحت تأثیر این عنصر ریزمغذی قرار گرفته‌اند.

تجمع سلنیوم

در رابطه با مسئله مربوط به تغذیه و سلامتی در مصرف سیب‌های غنی‌شده با سلنیوم، مقدار مجاز سلنیوم در رژیم غذایی (RDA)[2]؛ تا ۵۵ میکروگرم در روز برای افراد بزرگسال عنوان شده است. اگرچه انجمن تغذیه در کشورهای آلمان، اتریش و سوئیس مصرف روزانه ۳۰ تا ۷۰ میکروگرم سلنیوم را برای زنان و مردان بزرگسال توصیه می‌کند. دوز قابل‌تحمل[3] سلنیوم برای افراد بزرگسال ۴۰۰ میکروگرم در روز گزارش شده است (Pezzarossa *et al*., 2014). در اکثر کشورهای عضو اتحادیه اروپا سطوح سلنیوم در رژیم غذایی پایین‌تر از دستورالعمل RDA است (Malorgio *et al*., 2009). با توجه به متوسط وزن تازه یک سیب تیمار شده (۲۰۰ گرم متناظر با ۳۶ گرم وزن خشک) و میانگین غلظت سلنیوم میوه (۹۱، ۱۸۰ و ۲۷۵ میکروگرم در کیلوگرم وزن خشک به‌ترتیب در تیمارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم)، محتوای سلنیوم در هر میوه تیمار شده با سطوح ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر به‌ترتیب برابر با حدود ۳/۳، ۶/۵ و ۱۰ میکروگرم سلنیوم بود (جدول ۵). نتایج نشان می‌دهد که مصرف منظم روزانه میوه‌های سیب تیمار شده با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم نه‌تنها باعث ایجاد سمیت نشده بلکه می‌تواند به‌عنوان مکمل سلنیوم برای تغذیه انسان در نظر گرفته شود. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم روش مفیدی برای تولید میوه‌های سیب غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان باشد. اگرچه، سطوح سلنیوم به میزان جذب این ماده مغذی از سایر منابع غذایی نیز وابسته است (Pezzarossa *et al*., 2014). با این وجود

1. Up-regulation

2. The Recommended Dietary Allowance
3. Tolerable

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌پاشی تاج درخت سیب با هر ۳ سطح سلنیوم مورد آزمون در این پژوهش به‌دلیل تجمع مقادیر پایین سلنیوم در میوه‌ها، حتی در صورت مصرف تعداد بیشتری از میوه‌های سیب تیمارشده با این سطوح، باعث ایجاد خطر سمیت نمی‌شود. گرچه بهبود سلامت انسان از طریق افزایش مصرف مواد غذایی غنی از سلنیوم نیازمند درک کامل و تلفیق کشاورزی و شیمی تغذیه سلنیوم می‌باشد (Pezzarossa *et al*., 2014).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که محلول‌پاشی تاج درخت با سلنات‌سدیم در افزایش غلظت سلنیوم در برگ‌ها و میوه مؤثر بوده است. تیمار میوه‌ها با سطوح مختلف سلنیوم تفاوت معنی‌داری در کاهش تولید اتیلن، حفظ سفتی گوشت، pH، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول کل، ویتامین ث و رنگ سطحی نسبت به میوه‌های شاهد داشتند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که در بین تمام تیمارها، میوه‌های تحت تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر سلنیوم بهترین اثر را در حفظ مقدار ویتامین ث و آنتوسیانین میوه‌ها نشان داد. در مجموع، روش محلول‌پاشی تاج درخت سیب با سلنیوم برای تولید میوه‌های غنی از سلنیوم با محتوای مطلوب این عنصر برای سلامت انسان مؤثر بوده و متعاقباً تأثیر معنی‌داری در حفظ کیفیت میوه در طول انبار سرد داشته است.

جدول ۵. اثر محلول‌پاشی تاج درخت با سلنیوم بر غلظت سلنیوم (میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) در برگ و میوه سیب 'استارکینگ دلیشس' در زمان برداشت

Table 5. Effect of canopy selenium spraying on Se concentration (µg kg^{-1} dry weight) in leaf and fruit of 'Starking delicious' apple at harvest

Se concentration (µg Se kg^{-1} DW)		
Se treatment (mg Se L^{-1})	Leaf	Fruit
Control	15 d	0.1d
0.5 Se	120 c	91 c
1 Se	210 b	180 b
1.5 Se	360 a	275 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، از نظر آماری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Values within each column with the same letters are not statistically different at p≤%1, according to Duncan's multiple range test.

REFERENCES

1. Abbas, M. S. (2013). Low levels of selenium application attenuate low temperature stress in sorghum [*sorghum bicolor* (l.) Moench.] seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 45(5), 1597-1604.
2. Birringer, M., Pilawa, S. & Flohč, L. (2002). Trends in selenium biochemistry. *Natural Product Reports*, 19, 693-718.
3. Bittman, S., Buckley, W. T., Zaychuk, K. & Brown, E. A. P. (1997). Seed coating for enhancing the level of Se in crops. Patent US 6058649.
4. Chu, X., Yao, Z. & Zhang (2010). Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. *Biological Trace Element Research*, 136, 355-363.
5. Dhur, A., Galan, P. & Hercberg, S. (1990). Relationship between selenium, immunity and resistance against infection. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 96, 271-280.
6. Djujic, I. S., Jozanov-Stankov, O. N., Milovac, M., Jankovic, V. & Djermanovic, V. (2000). Bioavailability and possible benefits of wheat intake naturally enriched with selenium and its products. *Biological Trace Element Research*, 77, 273-285.
7. Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A. & Bangarusamy, U. (2005). Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 85, 77-86.
8. Dong, Y. H., Mitra, D. & Kootstra1, A. (1995). Postharvest Stimulation of Skin Color in Royal Gala Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120 (1), 95-100.
9. Dris, R., Nikanen, R. & Fallahi, E. (1998). Nitrogen and calcium nutrition and fruit quality of commercial apple cultivars grown in Finland, *Journal of Plant Nutrition*, 21, 2389-2402.
10. Elham, Z., Motty, A. E. & Orabi, S. A. (2013). The beneficial effects of using zinc, yeast and selenium on yield, fruit quality and antioxidant defense systems in navel orange trees grown under newly reclaimed sandy soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(10), 6487-6497.
11. Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, Francis & Taylor Group, Boca Raton.
12. Ferrarese, M., Sourestani, M. M., Quattrini, E., Schiavi, M. & Ferrante, A. (2012). Biofortification of spinach plants applying selenium in the nutrient solution of floating system. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 76, 127-136.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Finley, J. W. (2007). Increased intakes of selenium-enriched foods may benefit human health. *The Journal of Science of Food and Agriculture*, 87, 1620-1629.
14. Gad El-Kareem, M. R., Abdel Aal, A. M. K. & Mohamed, A. Y. (2014). The synergistic effects of using silicon and selenium on fruiting of Zaghloul date palm (*Phoenix dectylifera* L.). *International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering*, 8 (3), 247-250.
15. Ganai, S A., Ahsan, H., Wani, I. A., Lone, A. A., Mir, S. A. & Wani, S. M. (2015). Colour changes during storage of apple cv. Red delicious- influence of harvest dates, precooling, calcium chloride and waxing. *International Food Research Journal*, 22(1), 196-201.
16. Germ, M., Stibilj, V., Osvald, J. & Kreft, I. (2007). Effect of selenium foliar applications on chicory (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 55, 795-798.
17. Guiné, R. P. F. & Fernandes, R.M.C. (2006). Analysis of the drying kinetics of chestnuts. *Journal of Food Engineering*, 76, 460-467.
18. Gupta, U. C., Winter, K. A. & McRae, K. B. (1988). Selenium application of crops through foliar applications. *Canadian Journal of Soil Science*, 68, 519-526.
19. Hadian-Deljou, M. & Sarikhani, H. (2012). Effect of salicylic acid on maintaining post-harvest quality of apple cv. 'Golabe-Kohanz'. *Journal of Crops Improvement*, 14(2), 71-82. (in Farsi)
20. Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A. & Fujita, M. (2010). Selenium in higher plants: Physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Science*, 5, 354-375.
21. Hawrylak-Nowak, B. (2008). Changes in anthocyanin content as indicator of maize sensitivity to selenium. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 1232-1242.
22. Hawrylak-Nowak, B. (2008). Enhanced selenium content in sweet basil (*ocimum basilicum* L.) by foliar fertilization *Vegetable Crops Research Bulletin*, 69, 63-72.
23. Hu, Q., Xu, J. & Pang, G. (2003). Effects of selenium on the yield and quality of green tea leaves harvested in early spring. *Journal of Agricultural Food & Chemistry*, 51 (11), 3379-3381.
24. Kazemi, M., Aran, M. & Zamani, S. (2011). Effect of salicylic acid treatments on quality characteristics of apple fruits during storage. *American Journal of Plant Physiology*, 6(2), 113-119.
25. Kopsell, D. A., Sams, C. E., Barickman, T. C. & Deyton, D. E. (2009). Selenization of basil and cilantro through foliar applications of selenate-selenium and selenite-selenium. *HortScience*, 44 (2), 438-442.
26. Lee, S. K. & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207-220.
27. Malorgio, F., Diaz, K., Ferrante, A., Mensuali, A. & Pezzarossa, B. (2009). Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in floating system. *Journal of Agricultural Food & Chemistry*, 89(13), 2243-2251.
28. Mechora Š. Stibilj, V., Tjaša Radešček, T., Gaberščik, A. & Germ, M. (2011). Impact of Se (VI) fertilization on Se concentration in different parts of red cabbage plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(2), 357-361.
29. Mohebbi, S., Mostofi, Y., Zmani, Z. & Najafi, F. (2015). Influence of Modified Atmosphere Packaging on Storability and Postharvest Quality of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Fruits. *Notulae Scientia Biologicae*, 7(1), 116-122.
30. Mostofi, Y. & Asghari Marjanlou, A. (2010). The Effect of UV-C Radiation on Gray Mold Decay Control and Postharvest Quality of Strawberry (cv. Selva). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 41(1), 39-46. (in Farsi)
31. Pérez, A. G. & Sanz, C. (2001). Effect of high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 2370-2375.
32. Pezzarossa, B., Malorgio, F. & Tonutti, P. (1999). Effects of selenium uptake by tomato plants on senescence, fruit ripening and ethylene evolution. In: A. K., Kanellis, C., Chang, H., Klee, A. B., Bleecker, J. C., Pech, & D., Grierso, (Eds.), *Biology and Biotechnology of the Plant Hormone Ethylene.* (pp. 275-276.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
33. Pezzarossa, B., Remorini, D., Gentile, M. L. & Massai, R. (2012). Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 781-786.
34. Pezzarossa, B., Rosellini, I., Borghesi, E., Tonutti, P. & Malorgio, F. (2014). Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 165, 106-110
35. Poggi, V., Arcioni, A., Filippini, P. & Pifferi, P. G. (2000). Foliar application of selenite to potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a ligand agent on selenium content of tubers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4749-4751.
36. Rios, J. J., Rosales, M. A., Blasco, B., Cervilla, L. M., Romero, L. & Ruiz, J. M. (2010). Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 90 (11), 1914-1919.

www.SID.ir

Archive of SID

37. Sams, C. E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 249-254.
38. Savvas, D., Ntatsi, G. & Passam, H. C. (2008). Plant nutrition and physiological disorders in greenhouse grown tomato, pepper and eggplant. *European Journal of Plant Science & Biotechnology*, 2 (Special issue 1), 46-61.
39. Seppanen, M., Turakainen, M. & Hartikainen, H. (2003). Selenium effects on oxidative stress in potato. *Plant Science*, 165, 311-319.
40. Sharma, R. R., Singh, D. & Pal, R. K. (2013). Synergistic influence of pre-harvest calcium sprays and postharvest hot water treatment on fruit firmness, decay, bitter pit incidence and postharvest quality of 'Royal Delicious' apples (*Malus x domestica* Borkh). *American Journal of Plant Science*, 4, 153-159.
41. Soleimani Aghdam, M., Mostofi, Y., Motallebi Azar, A. R., Fattahi Moghaddam, J. & Gasem Nejad, M. (2008). Prolonging of shelf life of kiwifruit through (*Actinidia chinensis* cv. Hayward) methyl salicylate vapor treatment. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40, 77-84. (in Farsi)
42. Srivastava, M. K. & Dwivedi, U. N. (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158, 87-96.
43. Ruby, R., Brahmachari V. S. & Rani, R. (2001). Effect of foliar application of calcium, zinc and boron on cracking and physicochemical composition of litchi. *The Orissa Journal of Horticulture*, 29, 50-54.
44. Terry, N., Zayed, A. M., de Souza, M. P. & Tarun, A. S. (2000). Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 403-404.
45. Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *CRC Critical Review in Food Science and Nutrition*, 15, 49-127.
46. Van Hoewyka, D., Takahashi, H., Inoue, E., Hess, A., Tamaoki, M. & Pilon-Smits, E.A.H. (2008). Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in arabidopsis. *Plant Physiology*, 132, 236-253.
47. Wells, M. L. & Conner P. J. (2008). Effects of foliar-applied boron on fruit retention, fruit quality, and tissue boron concentration of pecan. *HortScience*, 43(3), 696-699.
48. Wild, S. A., Corey, R. B., Layer J. G. & Voigt, G. K. (1985). *Soil and Plant Analysis for Tree Culture* (3rd ed.). (pp. 89-100.) Oxford IBLT Publishing Co., New Delhi.
49. Westwood, M. N., Kadivar, N. & Bjornsted, H. O. (1968). Differences in growth, chemical content, and fruit set among four sports of Delicious apple. *Journal of Fruit Varieties and Horticultural Digest*, 22, 72-74.
50. Winkel-Shirley, B. (2002). Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current Opinion in Plant Biology*, 5, 218-223.
51. Xue, T., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 55-61.
52. Zasoski, R. J. & Burau, R. G. (1977). A rapid nitric perchloric acid digestion method for multi-elements tissue analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8 (5), 425-436.
53. Zhao, F. J. & Shewry, P. R. (2011). Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. *Food Policy*, 36, 94-101.
54. Zhao, Y., Wu, P., Wang, Y. & Feng, H. (2013). Different approaches for selenium biofortification of pear-jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Lizao) and associated effects on fruit quality. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11(2), 529-534.
55. Zheng, Y., Yang, Z. & Chen, X. (2008). Effect of high oxygen atmospheres on fruit decay and quality in Chinese bayberries, strawberries and blueberries. *Journal of Food Control*, 19, 470-474.

www.SID.ir