علوم باغبانی ایران
دورۀ ۴۵، شمارۀ ۴، زمستان ۱۳۹۳ (ص ۳۳۴-۳۲۵)

تأثیر محلول‌پاشی برگی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات کیفی میوۀ توت‌فرنگی رقم کاماروسا (*Fragaria x* annanasa *cv.* Camarosa)

فاطمه آقایی‌فرد[۱]، مصباح بابالار[۲*] و احمد احمدی[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و مربی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۳/۲۳)

چکیده

به‌منظور مطالعۀ تأثیر محلول‌پاشی برگی سالیسیلیک اسید بر خصوصیات کیفی میوۀ توت‌فرنگی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (تیمار + زمان برداشت میوه) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طی سال‌های ۱۳۹۰ـ ۱۳۹۱در گلخانۀ گروه علوم مهندسی و علوم باغبانی فضای سبز دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. گیاهان آزمایش‌شده در گلدان‌هایی به ابعاد ۳۰×۳۰ لیتر و از طریق کوکوپیت و پرلیت به نسبت ۱:۱ به‌منزلۀ بستر کاشته شده و سالیسیلیک اسید در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار بر روی بوته‌های توت‌فرنگی هر ماه یک بار مه‌پاشی شد. میوه‌ها پس از رسیدن به چهار گروه تقسیم شدند. دستۀ اول میوه‌های رسیده و با فاصلۀ یک هفته پس از محلول‌پاشی، دستۀ دوم پس از رسیدن و دو هفته پس از محلول‌پاشی و به این ترتیب دسته‌های سوم و چهارم به‌ترتیب سه و چهار هفته پس از رسیدن و دریافت تیمار محلول‌پاشی به آزمایشگاه منتقل شدند. گیاهان توت‌فرنگی در مورد صفات کیفی مانند وزن میوه، درصد رطوبت میوه، درصد مواد جامد محلول، اسیدیتۀ قابل تیتراسیون، pH، ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه بررسی شدند. نتایج نشان دادند که با تأخیر در زمان برداشت میوه، متوسط وزن میوه، درصد رطوبت میوه، اسیدیتۀ قابل تیتراسیون، ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه به طور معناداری کاهش و درصد مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. در بین غلظت‌های مه‌پاشی شدۀ سالیسیلیک اسید، غلظت ۲ میلی‌مولار، بهترین اثر را بر متوسط وزن میوه، درصد رطوبت میوه، درصد مواد جامد محلول، اسیدیتۀ قابل تیتراسیون و ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه داشت. تیمار سالیسیلیک اسید ۴ میلی‌مولار، میوه‌هایی با ویتامین ث بالا ایجاد کرد. در گروه شاهد تمامی صفات اندازه‌گیری شده نامطلوب بود. غلظت ۲ میلی‌مولار با بیشترین صفات مطلوب، بهترین غلظت برای مه‌پاشی بوتۀ توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: **توت‌فرنگی، سالیسیلیک اسید، ظرفیت آنتی‌اکسیدان، فاکتورهای کیفی.**

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria×ananassa* از تیره Rosaceae است و یکی از میوه‌هایی است که به‌دلیل عطر و طعم، شکل زیبا، جذابیت رنگ و ارزش غذایی بالا به‌خصوص ازلحاظ ویتامین ث و مواد معدنی طرفداران زیادی پیدا کرده است. همچنین دورۀ تولید کوتاه این محصول امکان تولید خارج از فصل آن را برای طرفدارانش فراهم کرده است و در طول سال به‌صورت تازه‌خوری قابل عرضه به بازار است. امروزه این کار از طریق کشت‌های گلخانه‌ای و روش‌های کشت بدون

* تلفن: ۰۹۱۲۱۶۹۸۲۶۳
Email: mbabalar@ut.ac.ir

خاک در درون گلخانه‌ها اهمیت ویژه‌ای یافته است. در کشت بدون خاک کنترل تغذیه‌ای گیاه امکان‌پذیرتر است (Morgan, 2003). حفاظت از محیط زیست از مسائل اساسی برای جامعهٔ بشری در قرن ۲۱ است، آلودگی محیط زیست در مرحلهٔ پیشرفت کنونی جامعهٔ بشری یکی از مشکلاتی است که سبب نگرانی فزاینده شده است، از طرفی امروزه خطرات استفادهٔ نامناسب از مواد شیمیایی در نگهداری پس از برداشت به‌خوبی شناخته شده است (Vicente *et al*., 2003) و خریداران نیز مایل به استفاده از محصولات عاری از مواد شیمیایی‌اند و تقاضا برای محصولات ارگانیک به‌سرعت بالا می‌رود، درنتیجه اهمیت پژوهش در مورد کاربرد مواد شیمیایی بی‌خطر روشن می‌شود (El Ghouth *et al*., 1991). همچنین به‌منظور تولید توت‌فرنگی با کیفیت خوب و عمر ماندگاری بالا و بدون استفاده از مواد شیمیایی باید روش‌های کوددهی و تغذیه‌ای مورد توجه قرار گیرند. (Amborabe *et al*., 2002). ازجمله تیمارهای معمول برای تولید توت‌فرنگی ارگانیک و داشتن میوه‌هایی با کیفیت بالا و مقاوم در برابر بیماری‌ها و ارزیابی چگونگی اثر این تیمارها بر صفات رویشی و زایشی توت‌فرنگی استفاده از مه‌افشانی سالیسیلیک اسید است که در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. اسید سالیسیلیک یکی از ترکیباتی است که اثر بسیار جالب و امیدوارکننده‌ای را در تولید و نگهداری محصولات کشاورزی و باغی نشان داده است. به این ترتیب نه‌تنها به‌منزلهٔ عامل کلیدی سبب تشویق ایجاد مقاومت در گیاه در مقابل تنش‌های مختلف و عوامل بیماری‌زا می‌شود، بلکه در افزایش آنتی‌اکسیدان‌های کل محصول، کاهش تولید اتیلن و اثر قارچ‌کشی مستقیم با کاربرد آن، از نظر فیزیولوژیکی اثرگذار است و می‌تواند حیات‌بخش باشد (Dat *et al*., 1998). مه‌پاشی سالیسیلیک اسید طی دورهٔ رویشی سبب افزایش مقاومت به پاتوژن‌ها در میوه‌های بالغ گلابی می‌شود (Jiankang *et al*., 2006). همچنین محلول‌پاشی و محلول‌دهی سالیسیلیک اسید بر توت‌فرنگی رقم سلوا در مرحلهٔ رویشی (قبل از گلدهی) و مرحلهٔ رشد میوه سبب کاهش تولید اتیلن و کاهش فساد سطحی می‌شود (Asghari, 2006). این پژوهش با هدف تولید و پرورش توت‌فرنگی با کیفیت بالا و ارگانیک با استفاده از سالیسیلیک اسید انجام گرفت تا امکان جایگزینی آن با مواد شیمیایی مصنوعی و کودهای شیمیایی بررسی شود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام آزمایش، ابتدا تعدادی نشای توت‌فرنگی رقم کاماروسا که حاصل جداسازی گیاهان دختری از بوتهٔ مادری از یکی از مزارع توت‌فرنگی شهرستان هشتگرد بود تهیه شدند. پس از دو هفته نگهداری در انبار سرد برای تأمین نیاز سرمایی، از بین آن‌ها حدود ۳۶ گیاه مشابه (از لحاظ قطر طوقه) انتخاب و در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۸ در گلخانه‌های پژوهشی گروه علوم باغبانی واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران کشت شدند. بستر کاشت با مخلوطی به نسبت ۵۰ درصد کوکوپیت و ۵۰ درصد پرلایت تهیه شد. در این طرح چهار سطح سالیسیلیک اسید (۰، ۱،۲ و ۴ میلی‌مولار) استفاده شد و از تاریخ ۱ اسفند ۱۳۹۰ تا ۱ خرداد ۱۳۹۱ بر روی بوته‌های توت‌فرنگی هر ماه یک‌بار مه‌پاشی شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل (تیمار سالیسیلیک اسید + زمان برداشت میوه) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. میوه‌ها پس از رسیدن از تاریخ ۷ اسفند ۱۳۹۰ تا تاریخ ۷ خرداد ۱۳۹۱ هر هفته یک‌بار برداشت و به‌منظور بررسی صفات کمّی و کیفی بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. میوه‌ها پس از رسیدن به چهار گروه تقسیم شدند. دستهٔ اول میوه‌ها پس از رسیدن و با فاصلهٔ یک هفته پس از محلول‌پاشی، دستهٔ دوم پس از رسیدن و دو هفته پس از محلول‌پاشی و به این ترتیب دستهٔ سوم و چهارم به‌ترتیب سه و چهار هفته پس از رسیدن و دریافت تیمار محلول‌پاشی به آزمایشگاه منتقل شدند. گیاهان مطالعه‌شده هر هفته دو مرتبه توسط یک محلول غذایی استاندارد (Babalar *et al*., 2010) آبیاری شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسهٔ میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفته است.

اندازه‌گیری وزن میوه و درصد رطوبت میوه

وزن تر میوه‌های هر تیمار با سه تکرار، پس از پایان

هفته‌های اول، دوم، سوم و چهارم پس از محلول‌پاشی با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ اندازه‌گیری شدند و میانگین اعداد به‌دست‌آمده به‌منظور وزن کلی میوه‌های هر تیمار در نظر گرفته شد و سپس از هر تیمار بین ۱۰-۲۰ گرم میوه برای اندازه‌گیری وزن خشک به قطعات کوچک تقسیم کردند و در پاکت‌های کاغذی به مدت ۷۲ ساعت در آون ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند و دو مرتبه وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد (Eraslan *et al.*, 2007). درصد رطوبت میوه‌ها با استفاده از فرمول زیر به دست آمد:

$$\text{درصد رطوبت} = \frac{\text{وزن خشک - وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

جدول ۱. محلول غذایی مشابه عصارهٔ یک خاک مناسب (Babalar *et al.*, 2010)

عناصر پر مصرف					
میلی اکی‌والان در لیتر	نیترات	فسفات	سولفات	کلر	کل
پتاسیم	۱/۵	۰/۳,۰/۴			۲/۲
سدیم				۰/۱	۰/۱
کلسیم	۳/۱				۳/۱
منیزیم			۰/۷۵		۰/۷۵
آمونیوم	۱/۵				۱/۵
هیدروژن		۰/۱۵,۰/۸			۰/۹۵
کل	۶/۱	۱/۶۵	۰/۷۵	۰/۱	۸/۶
عناصر کم‌مصرف					
مولیبدات آمونیوم (میلی‌گرم در لیتر)					۰/۰۵
اسید بوریک (گرم در لیتر)					۱/۵
سولفات منگنز (گرم در لیتر)					۲
سولفات مس (میلی‌گرم در لیتر)					۰/۲۵
سولفات روی (گرم در لیتر)					۱
سکوسترون آهن (گرم در لیتر)					۱

اندازه‌گیری مواد جامد محلول، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون، pH و ویتامین ث

میوه‌های هر تیمار با سه تکرار، پس از پایان هفته‌های اول، دوم، سوم و چهارم پس از محلول‌پاشی، به آزمایشگاه منتقل شد و ابتدا قسمت‌های کاسبرگ و دم‌برگ آن‌ها حذف شد و سپس عصارهٔ آن‌ها توسط دستگاه آبمیوه‌گیری تهیه و از صافی عبور داده شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد قابل حل عصاره‌ها، با استفاده از رفرکتومر دستی مدل Brix=0-32% ساخت شرکت پل ایده‌آل پارس در آزمایشگاه، چند قطره از آب میوه‌ها روی منشور دستگاه قرار داده شد و دستگاه در مقابل نور قرار گرفت و عدد دستگاه قرائت شد که عدد معرف درصد مواد جامد قابل حل میوه است. pH با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال مدل HANNA instrument pH 211 و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۱ تیتر شد (Ayala-Zavala *et al.*, 2007). اندازه‌گیری ویتامین ث با استفاده از روش تیترسنجی به روش یدومتریک انجام شد و نتایج برحسب میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه بیان شد (Cioroi, 2007).

اندازه‌گیری میزان آنتی‌اکسیدان‌های میوه

ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌های کل برمبنای اسید آسکوربیک[1] (AEAC) (غیرآنزیمی) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌های کل براساس نمودار تهیه‌شده از غلظت‌های مختلف اسید آسکوربیک به‌منزلهٔ آنتی‌اکسیدانی قوی محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه[2] بیان شد (Faniadis *et al.*, 2010).

1. Acrobat equivalent antioxidant capacity
2. Mg of ascorbic acid equiv.100 g−1 FW

نتایج و بحث

وزن و درصد رطوبت میوه

نتایج جدول تحلیل واریانس نشان می‌دهد که افزایش زمان رسیدگی میوه (تأخیر در زمان برداشت میوه) بر وزن میوه و درصد رطوبت میوه تأثیر معناداری دارد. در مطالعهٔ اثر سالیسیلیک اسید نتایج جدول تحلیل واریانس نشان داد، سالیسیلیک اسید اثر معناداری در افزایش وزن میوه و درصد رطوبت میوه داشت. همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بر وزن میوه و درصد رطوبت میوه نیز در سطح ۱درصد معنادار بوده است (جدول۲). نتایج مقایسهٔ میانگین دانکن اثر زمان برداشت میوه بر وزن میوه نشان می‌دهد که با افزایش تأخیر در برداشت میوه، میزان وزن میوه به‌طور معناداری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین وزن میوه (۱۷/۶۵ گرم) در هفتهٔ اول برداشت و کمترین وزن میوه (۱۲/۷۹ گرم) در هفته چهارم برداشت مشاهده شد (شکل ۱). کاربرد سالیسیلیک اسید به‌طور معناداری سبب افزایش وزن میوه شده است، بیشترین میزان وزن میوه (۱۷/۳۳ گرم) با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی‌مولار و کمترین وزن میوه (۱۲/۴۹ گرم) در شاهد مشاهده شد (شکل۲). همچنین بیشترین وزن میوه (۱۹/۹۸ گرم) در هفتهٔ اول برداشت و با کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، درصد رطوبت میوه با افزایش رسیدن میوه به‌طور معناداری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که با تأخیر در زمان برداشت میوه، شادابی و طراوت میوه به‌طور معناداری کاهش می‌یابد، بر همین اساس میوه‌هایی که در هفتهٔ اول رسیدگی برداشت شده‌اند بیشترین درصد رطوبت (۹۰/۰۳ درصد) و کمترین درصد رطوبت (۸۱/۷۵ درصد) در میوه‌هایی مشاهده شد که در هفتهٔ چهارم برداشت شده بودند. کاربرد سالیسیلیک اسید در همهٔ غلظت‌ها سبب افزایش درصد رطوبت میوه نسبت به شاهد شد، ولی این افزایش معنادار نبود (شکل ۴). کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ میلی‌مولار سبب افزایش درصد رطوبت میوه در هفتهٔ اول شد، ولی معنادار نبود.

نتایج حاصل از تأثیر سالیسیلیک اسید بر عملکرد با نتایج به‌دست‌آمده در محصولاتی مثل گوجه‌فرنگی (Javaheri *et al*., 2012)، سویا (Kumar *et al*., 1999) و جوجوبا (Al- Obeed, 2012) مطابقت دارد. در آزمایشی تغذیهٔ برگی گوجه‌فرنگی و خیار با غلظت‌های پایین اسید سالیسیک اسید سبب افزایش عملکرد شد (Larque-Savedra & Martin-Mex, 2007). در مورد تأثیر تغذیهٔ برگی سالیسیلیک اسید بر افزایش عملکرد باید گفته شود که اسید سالیسیلیک با افزایش تقسیم و رشد سلول‌ها عملکرد را افزایش می‌دهد (Hayat *et al*., 2005). تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش رشد و عملکرد می‌تواند به‌دلیل تأثیر اسید سالیسیلیک بر فعالیت هورمون‌های گیاه باشد، اسید سالیسیلیک با تغییر تعادل هورمون‌های اکسین، سیتوکنین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد و عملکرد می‌شود (Shakirova *et al*., 2003). همچنین افزایش عملکرد درنتیجه تغذیهٔ برگی با اسید سالیسیلیک ممکن است به‌دلیل تأثیرگذاری اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز باشد. اسید سالیسیلیک موجب افزایش سرعت فتوسنتز، افزایش غلظت CO_2 و افزایش کارایی مصرف آب می‌شود و عملکرد را افزایش می‌دهد (Fariduddin *et al*., 2003). از طرفی به نظر می‌رسد سالیسیلیک اسید با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرایند پیری هستند می‌تواند سبب افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش رشد و عملکرد شود (Delany *et al*., 1994).

مواد جامد محلول و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون

نتایج جدول تحلیل واریانس نشان می‌دهد که افزایش زمان رسیدگی میوه (تأخیر در زمان برداشت میوه) بر درصد مواد جامد محلول و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون تأثیر معناداری دارد. همچنین مشخص شد که تأخیر در زمان برداشت میوه تأثیر معناداری بر میزان pH عصارهٔ میوه نداشته است. همچنین در مطالعهٔ اثر سالیسیلیک اسید نتایج جدول تحلیل واریانس نشان داد سالیسیلیک اسید اثر معناداری در افزایش درصد مواد جامد محلول و اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون داشت. همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بر مواد جامد محلول و اسیدهای آلی نیز در سطح ۱ درصد معنادار بوده است (جدول ۲). براساس نتایج با افزایش رسیدگی میوه (تأخیر در زمان برداشت میوه) میزان مواد جامد محلول به‌طور معناداری نسبت

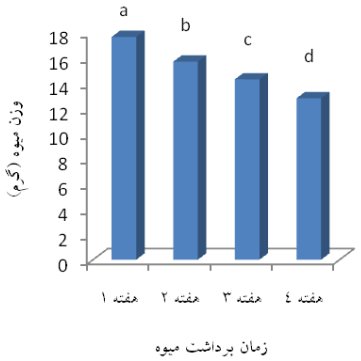
به شاهد افزایش ولی اسیدیته کاهش می‌یابد، به‌طوری که بیشترین درصد مواد جامد محلول (۱۱/۵۷ درصد) در هفتهٔ چهارم برداشت و کمترین درصد مواد جامد محلول (۹/۳۰ درصد) در هفتهٔ اول برداشت مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان اسیدیته (۱/۲۹ درصد) در هفتهٔ اول برداشت و کمترین درصد اسیدیته (۰/۸۵درصد) در هفتهٔ چهارم رسیدگی میوه مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). بیشترین درصد مواد جامد محلول (۱۲/۹۵ درصد) با کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار و کمترین درصد مواد جامد محلول (۶/۵۴ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین درصد اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (۱/۲۳ درصد) با کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار و کمترین درصد اسیدیته (۰/۷۷ درصد) در شاهد مشاهده شد (شکل‌های ۷ و ۸). نتایج اثر متقابل تیمار و زمان بر درصد مواد جامد محلول نشان می‌دهد که بیشترین درصد مواد جامد محلول (۱۴/۱۹ درصد) در هفتهٔ چهارم برداشت + غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (۱/۶۵ درصد) در هفتهٔ اول برداشت + سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار مشاهده شد.

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر محلول‌پاشی برگی سالیسیلیک اسید و زمان برداشت میوه پس از هفته‌های اول، دوم، سوم و چهارم بر برخی خصوصیات میوهٔ توت‌فرنگی رقم کاماروسا

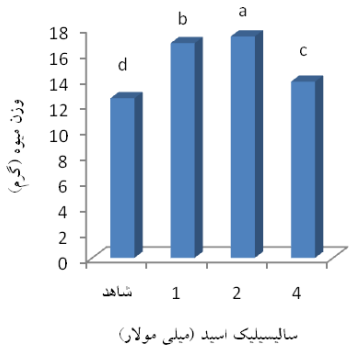
منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات						
		ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه (میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن میوه)	ویتامین ث (میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه)	pH	اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (٪)	درصد مواد جامد محلول (درصد بریکس)	رطوبت میوه (٪)	وزن میوه (گرم)
سالیسیلیک اسید (A)	۳	۷/۵۳**	۵۳۶۱/۹۴**	۰/۰۰۰۱۳^{ns}	۰/۴۴۷**	۹۳/۰۵**	۱۱/۲۲**	۶۵/۵۲**
زمان (B)	۳	۶/۱۶**	۱۳۱۳۲/۷**	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۴۷۷**	۱۱/۲۰**	۱۴۷/۶۶**	۵۱/۱۷**
اثر متقابل (A×B)	۹	۲/۷۷۹**	۳۸۳۲/۴۵**	۰/۰۰۰۲۵^{ns}	۰/۱۹۷**	۲۱/۱۰**	۳۳/۲۷**	۲۴/۰۷**
اشتباه آزمایشی	۳۲	۰/۰۵۳	۱/۹۶	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۳۶	۰/۷۶۲	۰/۲۴
ضریب تغییرات (cv)		۵/۵۹	۱/۳۱	۰/۱۴۳	۳/۶۹	۱/۸۳	۱/۰۱۲	۳/۲۴

ns، ** و *: نشان‌دهندهٔ نبود وجود اختلاف معنادار، معنادار در سطح احتمال ۱ درصد و معنادار در سطح احتمال ۵ درصد.

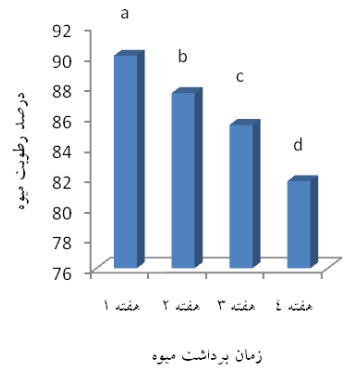
گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید در افزایش مواد جامد محلول روی گوجه‌فرنگی (Javaheri *et al*., 2012) و سیب (Han *et al*., 1997) موجود است. در گزارشی کاربرد سالیسیلیک اسید سبب افزایش میزان قند محلول در لوبیا چشم‌بلبلی شده است (Chandra *et al*., 2007). در گزارشی بیان شده است که کاربرد سالیسیلیک اسید کاهش در میزان مواد جامد محلول در توت‌فرنگی را طی انبارداری به تأخیر انداخته است (Asghari *et al*., 2006). گزارش شده است که با کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت ۲ و ۳ میلی‌مولار میزان مواد جامد محلول در شاه‌بلوط افزایش یافته است (Peng *et al*., 2006). در پژوهشی با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۱ میلی‌مولار و به دفعات متعدد در توت‌فرنگی گزارش شد که تیمار سالیسیلیک اسید بر افزایش مواد جامد قابل حل تأثیر مثبتی داشته است (Karlidag *et al*., 2009). گزارش شده است که محلول‌پاشی بوته‌های گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای سبب افزایش میزان مواد جامد قابل حل شده است (Yildirim *et al*., 2009). در مورد تأثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش مواد جامد محلول باید گفته شود که سالیسیلیک اسید به‌دلیل افزایش نفوذپذیری غشا میزان جذب و مصرف مواد معدنی را افزایش می‌دهد و درنتیجه سبب افزایش وزن و همچنین مواد جامد محلول می‌شود (Javaheri *et al*., 2012). همچنین گزارش شده است که سالیسیلیک اسید در تنظیم انتقال قند از محل تولید و یا برگ (source) به محل مصرف (Sink) یا میوه مؤثر است (Wang *et al*., 2006).



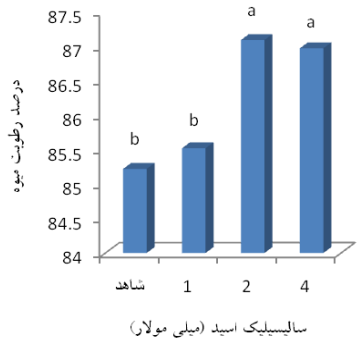
شکل ۱. اثر زمان برداشت میوه بر وزن میوهٔ توت‌فرنگی



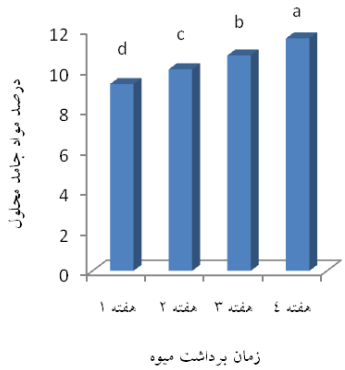
شکل ۲. اثر سالیسیلیک اسید بر وزن میوهٔ توت‌فرنگی



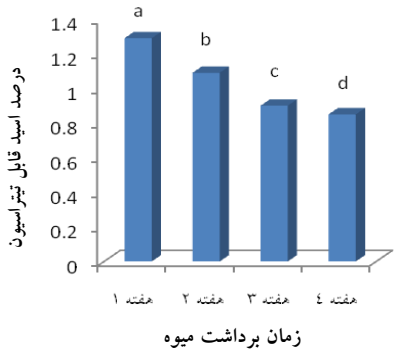
شکل ۳. اثر زمان برداشت میوه بر درصد رطوبت میوه



شکل ۴. اثر سالیسیلیک اسید بر درصد رطوبت میوه



شکل ۵. اثر زمان برداشت بر درصد مواد جامد محلول

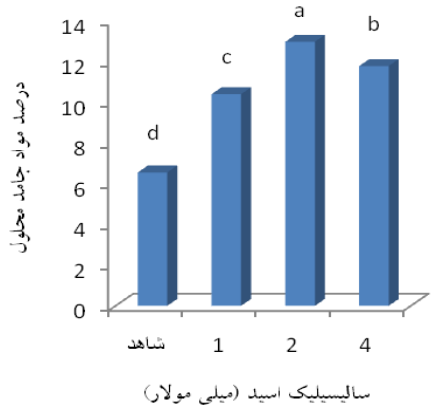


شکل ۶. اثر زمان برداشت بر درصد اسید قابل تیتراسیون

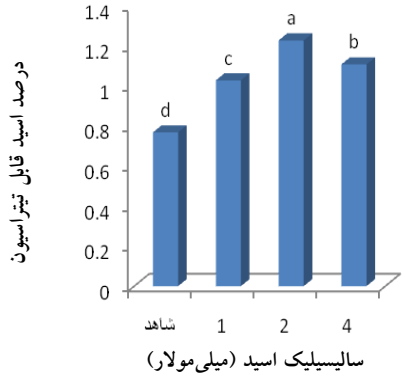
ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها

نتایج جدول تحلیل واریانس نشان می‌دهد که افزایش رسیدگی میوه بر میزان ویتامین ث و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها در میوهٔ توت‌فرنگی معنادار بوده است. همچنین در مطالعهٔ اثر سالیسیلیک اسید نتایج جدول تحلیل واریانس نشان داد، سالیسیلیک اسید اثر معناداری در افزایش ویتامین ث و همچنین ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها داشت. همچنین اثر متقابل تیمار و زمان بر میزان ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها نیز در سطح ۱ درصد معنادار بوده است. نتایج مقایسهٔ میانگین دانکن اثر زمان بر میزان ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان توت‌فرنگی نشان می‌دهد که با افزایش رسیدگی میوه میزان ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها به‌تدریج و به‌طور معناداری کاهش می‌یابد به‌طوری‌که میوه‌هایی که در هفتهٔ اول رسیدگی برداشت شده‌اند دارای بیشترین میزان ویتامین ث (۱۳۸/۱۰ میلی‌گرم در لیتر) و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها (۴/۸۶ میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن میوه) و میوه‌هایی که در هفتهٔ چهارم رسیدگی برداشت شده‌اند

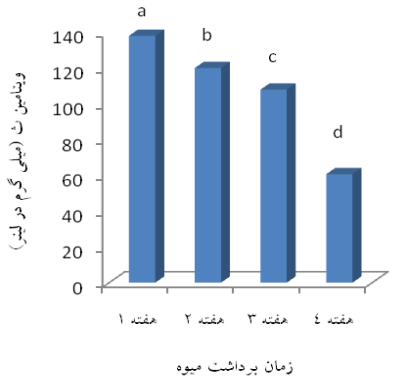
دارای کمترین میزان ویتامین ث (۶۰/۶۹ میلی‌گرم در لیتر) و ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌ها (۳/۳۹ میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن میوه) بوده‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰). کاربرد سالیسیلیک اسید در همهٔ غلظت‌ها به‌طور معناداری نسبت به شاهد سبب افزایش میزان ویتامین ث شد، به‌طوری‌که بیشترین میزان ویتامین ث (۱۲۷/۷۳ میلی‌گرم در لیتر) در غلظت ۴ میلی‌مولار و کمترین میزان ویتامین ث (۷۹/۱۴ میلی‌گرم در لیتر) در شاهد مشاهده شد (شکل ۱۱). همچنین کاربرد سالیسیلیک اسید در غلظت‌های ۲ و ۱ به‌طور معناداری نسبت به شاهد سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدان در میوهٔ توت‌فرنگی شد، همچنین از نظر آماری بین غلظت سالیسیلیک اسید ۴ میلی‌مولار و شاهد اختلاف معناداری وجود نداشت (شکل۱۲). نتایج اثر متقابل تیمار و زمان بر میزان ویتامین ث توت‌فرنگی نشان می‌دهد که بیشترین میزان ویتامین ث با کاربرد سالیسیلیک اسید ۴ میلی‌مولار + هفتهٔ اول برداشت و بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدان‌های توت‌فرنگی با کاربرد سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار + هفتهٔ اول برداشت و سپس سالیسیلیک اسید ۱ میلی‌مولار + هفتهٔ اول برداشت و سالیسیلیک اسید ۲ میلی‌مولار + هفتهٔ دوم برداشت مشاهده شد. گزارش‌هایی مبنی بر تأثیر سالیسیلیک اسید بر افزایش میزان ویتامین ث در محصولاتی مثل شاه‌بلوط (Peng *et al.*, 2006)، خردل (Dat *et al.*, 1998)، گوجه‌فرنگی (Javaheri *et al.*, 2012) موجود است. نتایج ما نشان می‌دهند که سالیسیلیک اسید تأثیر قابل توجهی در افزایش میزان ویتامین ث (اسید آسکوربیک) در میوه‌ها داشته است. در گزارشی گوجه‌فرنگی‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک با محتوای بالای اسید آسکوربیک مشاهده شدند (Kalarani *et al.*, 2002) در گزارشی بیان شد که بالاترین میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های محلول‌پاشی شده با تیمارهای کلسیم و اسید سالیسیلیک به دست آمد (Dat *et al.*, 1998b). سالیسیلیک اسید پراکسیداز آسکوربات را فعال می‌کند که سبب افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی و مقدار اسید آسکوربیک در میوه‌ها می‌شود (Wang *et al.*, 2006) افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی و قدرت ضد تنش گیاهان و میوه‌ها به وسیلهٔ سالیسیلیک اسید القا می‌شود و از تخریب اسید آسکوربیک جلوگیری می‌کند (Wisniewska *et al.*, 1999). نقش سالیسیلیک اسید در افزایش میزان آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه به این صورت گزارش شده است که درحقیقت سالیسیلیک اسید به‌منزلهٔ دهندهٔ الکترون برای کاتالاز و پراکسیداز (عوامل اکسیدکننده) عمل می‌کند و از فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌کند از طرف دیگر در مقابل H_2O_2 به‌منزلهٔ گیرندهٔ الکترون عمل می‌کند و به همین دلیل فرایند اکسیداسیون را در سلول‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و از آسیب به غشاهای سلولی جلوگیری می‌کند. این ترکیب به‌دلیل فعال‌کردن سیستم دفاعی گیاه و افزایش پتانسیل ضد استرس گیاه به واسطهٔ افزایش هورمون‌های اکسین و سایتوکنین گیاه را در مقابل تنش‌های مختلف مقاوم می‌کند که نتیجهٔ آن عدم تولید رادیکال‌های آزاد در گیاه است. با توجه به اینکه سالیسیلیک اسید به‌طور مستقیم سبب خنثی‌شدن گونه‌های فعال اکسیژن و رادیکال‌های آزادشده و هم به‌طور غیرمستقیم تولید آن‌ها را در گیاه کاهش می‌دهد و به این‌ترتیب ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل گیاه و میوه را افزایش می‌دهد (Asghari *et al.*, 2006).



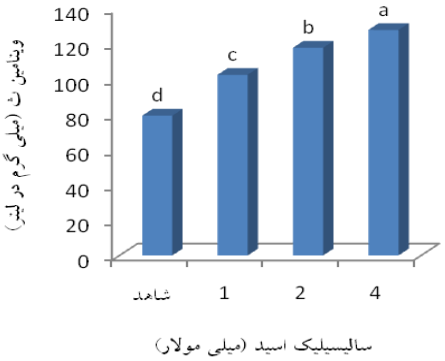
شکل ۷. اثر سالیسیلیک اسید بر درصد مواد جامد محلول



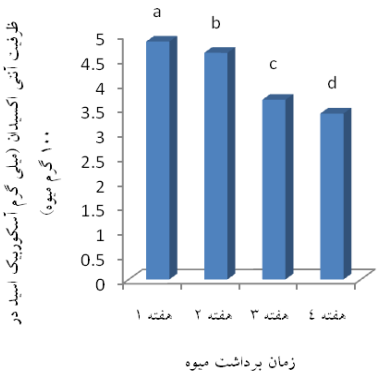
شکل ۸. اثر سالیسیلیک اسید بر درصد اسید قابل تیتراسیون



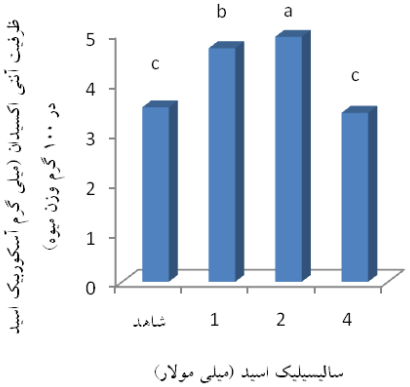
شکل ۹. اثر زمان برداشت میوه بر ویتامین ث میوه



شکل ۱۱. اثر سالیسیلیک اسید بر ویتامین ث توت‌فرنگی



شکل ۱۰. اثر زمان برداشت میوه بر ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه



شکل ۱۲. اثر سالیسیلیک اسید بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی

نتیجه‌گیری کلی

اسید سالیسیلیک نیز یکی از مواد هورمونی است و با داشتن نقش محوری در تنظیم فرایندهای فیزیولوژیکی مختلف از قبیل رشد، تکامل گیاه، جذب یون و افزایش فتوسنتز سبب افزایش خصوصیات کمّی و کیفی محصولات می‌شود. نتایج نشان دادند که با تأخیر در زمان برداشت میوه، متوسط وزن میوه، درصد رطوبت میوه، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون، ویتامین ث و ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه به‌طور معناداری کاهش و درصد مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. در بین غلظت‌های مه‌پاشی شده سالیسیلیک اسید، غلظت ۲ میلی‌مولار، بهترین اثر را بر متوسط وزن میوه، درصد رطوبت میوه، درصد مواد جامد محلول، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون و ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه داشت. تیمار سالیسیلیک اسید ۴ میلی‌مولار، میوه‌هایی با ویتامین ث زیاد ایجاد کرد. در تیمار شاهد تمامی صفات اندازه‌گیری شده نامطلوب بود. غلظت ۲ میلی‌مولار با بیشترین صفات مطلوب، بهترین غلظت برای مه‌پاشی بوتهٔ توت‌فرنگی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شمارهٔ ۷۱۰۳۰۰۲/۶/۲۴ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است، که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه و مدیریت محترم گروه علوم باغبانی تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Al-Obeed, R.S. (2012). Jujuba postharvest fruit quality and storagability in response to agro- chemicals preharvest application. *African Journal of Agriculture Research*, 7, 5099-5107.
2. Amborabe, B. E., Lessard, P. F., Chollet, J. F. & Roblin, G. (2002). Antifungal effect of salicylic acid and other benzoie acid derivatives towards Eutypa lata: structure-activity relationship. *Plant Physiology Journal*, 40, 1051-1060.

3. Asghari, M. (2006). *Effects of salicylic acid on Selva strawberry fruit, antioxidant activity,ethylene production and senescence, fungal contamination and some other quality attributes*. Ph.D. Thesis. Faculty of Agriculture Tehran University, Iran. (In Farsi).
4. Ayala-Zavala, J. F., Wang, S. H. Y., Wang, C. Y. & González-Aguilar, G. A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology Journal*, 45, 166–173.
5. Babalar, M., Zolfaghari, M., Naderi, R. A., Asgari, M. A. &Yazdani, H. (2010). Iranian phosphate rock in the zeoponique culture of rose and the possibility of altering them with the phosphate manures. *Iranian journal of horticultural science*, 40, 2008-482X. (In Farsi).
6. Cioroi, M. (2007). Study on L-ascorbic acid contents from exotic fruits. *Cercetari Agronomice in Moldova* Journal, 1, 23- 27.
7. Chandra, A., Anand, A. & Dubey, A. (2007). Effect of salicylic acid on morphological and biochemical attributes in cowpea. *Journal of Environmental Biology*, 28, 193-196.
8. Dat, J. F., Foyer, C. H. & Scott, I. M. (1998b). Changes in salicylic acid and antioxidants during induced ther-motolerance in mustard seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 118, 1455-1461.
9. Delany, T. P., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., Gaffney, T., Gut-Rella, M., Kessmann, H., Ward, E. & Ryals, J. (1994). A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Journal of Food Science*, 266, 1247-1250.
10. El-Ghaut, A., Arul, J., Ponnampalam, R. & Boulet, M. (1991). Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *Journal of Food Science*, 56, 1618-1620.
11. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A. & Alpaslan, M. (2007). Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Journal of Horticulture Science*, 113, 120-128.
12. Faniadis, D., Drogoudi, P. D. & Vasilakakis, M. (2010). Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Journal of Scientia Horticulturae*, 125, 301-304.
13. Fariduddin, Q., Hayat, S. & Ahmad, A. (2003). Salicylic acid influences net photosynthetic rate, Carboxilation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in Brassica Juncea. *Photosynthetica* Journal, 41, 281-284.
14. Han, T. & Li, L. P. (1997). Physiological effect of salicylic acid on storage of apple in short period. *Journal of Plant Physiology*, 33, 347-348.
15. Hayat, S., Fariddudin, Q., Ali, B. & Ahmad, A. (2005). Effect of salisylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Journal of Acta Scientiarum Agronomy*, 53, 433-437.
16. Javaheri, M., Mashayekhi, K., Dadkhah, A. & Zaker Tavallaee, F. (2012). Effects of Salicylic acid on Yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicum esculantum Mill). International journal of Agriculture and crop Science*, 4, 1184-1187.
17. Jiankang, C., Kaifang, Z. & Weibo, J. (2006). Enhancement of postharvest disease resistance in Ya Li Pear (pyrus bretschneideri) fruit by salicylic acid sprays on the trees during fruit growth. *European Journal of Plant Pathology*, 114, 363-378.
18. Kalarani, M. K., Thangaraj, M., Sivakumar, R. & Mallika, R. (2002). Effects of salicylic acid on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) productivity. *Journal of Crop Research*, 23, 486-492.
19. Karlidag, H., Yildirim, E. & Turan, M. (2009). Salicylic acid ameliorates the adverse effect of salt stress on strawberry. *Journal of Agriculture science*, 66, 271-278.
20. Kumar, P., Dube, S. D. & Chauhan, V. S. (1999). Salicylic acid on growth, development and some biochemical aspect of soybean (*Glysine max* L. Merill). *Journal of Plant physiology*, 4, 327-330.
21. Larqu-Saavedra, A. & Martin-mex, R. (2007). Effect of salicylic acid on the bio-productivity of the plant. In: *Salicylic acid a plant hormone*, 12- 15 Oct, Dordrecht University, Netherland, pp. 856-858.
22. Morgan, L. (2003). Hydroponic strawberries: Year round perfection through superior technology, *Journal of The Growing Edge*, 14, 46-60.
23. Peng, L. & Jiang, Y. (2006). Exogenous salicylic acid inhibits browning of Fresh- cut Chinese water chesnut. *Journal of Food chemistry*, 94, 535-540.
24. Shakirova, F. M., Shakhabutdinova, A. R., Bezrukova, R., Fathkutdinov, A. & Fathkhutdinova, D. R. (2003). Changes in Hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Journal of Plant Science*, 164, 317-322.
25. Yildirim, E. & Dursun, A. (2009). Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. *Journal of Acta Horticulturae*, 807, 395-400.
26. Vicente, A. R., Martinez, G. A, Chaves, A. R. & Civello, P. M. (2003). Influence of self produced CO_2 on postharvest life of heat-treated strawberries. *Journal of Postharvest Biology*, 27, 265-275.

27. Wang, L., Chen, S. H., Kong, W., Li, S. H. & Archbold, D. (2006). Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shoch proteins of peaches during cold storage. *Journal of Postharvest Biology*, 41, 244-251.
28. Wisniewska, H. & Chelcowski, J. (1999). Influence of exogenic salicylic acid on *Fusarium* seedling blight reduction in barley. *Journal of Acta Physiologiae Plantarum*, 21, 63-66.