به زراعی کشاورزی
دوره ۱۷ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۴
صفحه‌های ۹۱-۸۱

تأثیر کاربرد قبل از برداشت اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های کیفی میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو' در طول دورهٔ انبارداری

قاسم سرتیپ*[۱]، جعفر حاجی‌لو[۲]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲. دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۳۱

چکیده

در تحقیق حاضر، تأثیر کاربرد قبل از برداشت غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عمر انبارمانی زردآلو رقم 'شاملو' بررسی شد. میوه‌ها شش روز قبل از برداشت با محلول اسید سالیسیلیک در غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار در روی درخت تیمار شده و پس از برداشت در دمای ۲ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰ درصد به‌مدت سه هفته نگهداری شدند. سپس ویژگی‌های میوه شامل سفتی بافت میوه، اسیدیته، درصد مجموع مواد جامد محلول، مقدار آسکوربیک اسید، مقدار فنل و فلاونوئید کل هر هفته یک بار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمار اسید سالیسیلیک به‌طور معناداری مانع کاهش وزن و سفتی بافت میوه‌ها شد. در انتهای دورهٔ نگهداری بیشترین مقدار فنل و آسکوربیک اسید در تیمارهای ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آنها در میوه‌های شاهد ثبت شد. در آزمایش حاضر، بیشترین مقدار سفتی بافت میوه، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون، فلاونوئید و همچنین کمترین مقدار کاهش وزن، مجموع مواد جامد محلول و اسیدیته در انتهای دورهٔ انبارداری در میوه‌های تیمارشده با غلظت ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ثبت شد.

کلیدواژه‌ها: سفتی بافت، عمر پس از برداشت، فلاونوئید کل، فنل کل، کاهش وزن.

*نویسنده مسئول Email: g.sartip@yahoo.com

۱. مقدمه

میوهٔ زردآلو عمر پس از برداشت کمی دارد و به‌سرعت از بین می‌رود و همچنین تا زمان رسیدن به دست مصرف‌کننده، کیفیت مطلوب خود را از دست می‌دهد. در زنجیرهٔ تولید زردآلو علاوه‌بر مسائل باغداری، مراحل پس از برداشت میوه به‌خصوص بسته‌بندی، حمل‌ونقل و انبارداری به‌منظور دستیابی به محصولی باکیفیت اهمیت بسزایی دارند. کارایی محلول اسید سالیسیلیک در مراحل قبل و بعد از برداشت در کاهش گسترش بیماری‌ها [۲۵]، افزایش دورهٔ انبارمانی و کنترل اختلالات فیزیولوژیکی در میوه‌ها و سبزی‌ها مشاهده شده است [۱۵].

اسید سالیسیلیک نوعی ترکیب فنلی سالم و طبیعی است که کاربرد آن در زمان قبل از برداشت به‌صورت غیرسمی در میوه تجمع می‌یابد و باعث تأخیر در رسیدن و نرم شدن میوه می‌شود [۲۲]. همچنین به دنبال تیمار با این ماده شدت نشت یونی از غشاهای سلولی بافت میوه و نیز میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز[1] (PPO) در میوه‌های تیمارشده در مقایسه با میوه‌های شاهد کاهش قابل توجهی نشان داد [۱۵]. همچنین قبل از برداشت پرتقال با اسید سالیسیلیک به‌طور معناداری سبب افزایش کارتنوئیدها (لیکوپن و آلفاکاروتن)، آسکوربیک اسید، گلوتاتیون، فنل کل و فلاونوئید کل در پوست و گوشت میوه طی دورهٔ انبارداری شد [۹].

کاربرد اسید سالیسیلیک با غلظت‌های مختلف ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار روی توت‌فرنگی در مراحل رشد رویشی، نمو میوه‌ها و به دنبال آن در مرحلهٔ پس از برداشت سبب کاهش تولید اتیلن و پوسیدگی قارچی در میوه‌ها شد و کیفیت میوه را نیز بهبود بخشید. در این آزمایش، تیمار با غلظت ۲ میلی‌مولار بهترین نتیجه را داشت، درحالی که تیمار میوه‌ها با غلظت ۴ میلی‌مولار در مرحلهٔ پس از برداشت سبب خسارت اندکی روی میوه‌ها شد و اثر کمتری نسبت به غلظت ۲ میلی‌مولار در حفظ کیفیت میوه‌ها داشت [۵]. وجود ارتباطی مثبت بین اسید سالیسیلیک و سفتی میوهٔ کیوی در طول مرحلهٔ رسیدن مشاهده شده است [۲۷]. اسید سالیسیلیک تولید اتیلن را کاهش می‌دهد و از فعالیت آنزیم‌هایی نظیر پلی‌گالاکتروناز و لیپواکسیژناز در غشا و دیوارهٔ سلولی جلوگیری می‌کند و در نتیجه سبب حفظ سفتی میوه و تأخیر در رسیدن آن می‌شود [۲۷، ۲۲]. اسید سالیسیلیک به‌طور مؤثری، تنفس سلولی در میوه را کاهش می‌دهد و به‌عنوان نوعی سیگنال موجب القای تنفس مقاوم به سیانید در سلول‌های گیاهی از راه تحت تأثیر قرار دادن فعالیت آنزیم‌های اکسیداز می‌شود [۱۹].

با توجه به اینکه اسید سالیسیلیک به‌عنوان نوعی ترکیب شیمیایی و سالم، تأثیر زیادی در حفظ کیفیت میوه‌ها دارد، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک در غلظت‌های مختلف بر بهبود عمر انباری و ویژگی‌های کیفی میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو' در طی دورهٔ انبارداری سرد بود.

۱. مواد و روش‌ها

۱. ۲. مواد گیاهی و طرح آزمایش

در این پژوهش، میوه‌های زردآلو رقم 'شاملو' شش روز بعد از محلول‌پاشی با غلظت‌های صفر، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک (مرک، آلمان) در مرحلهٔ رسیدگی فیزیولوژیکی براساس شاخص مجموع مواد جامد محلول عصارهٔ میوه از کلکسیون ایستگاه تحقیقاتی خلعت‌پوشان وابسته به دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تبریز، در تابستان ۱۳۹۱ برداشت و به آزمایشگاه بیولوژی گلدهی و فیزیولوژی رشدونمو میوهٔ دانشگاه تبریز منتقل شدند. میوه‌ها در شرایط انبارداری با دمای ۲ درجهٔ سانتی‌گراد و

1. Polyphenoloxidase

رطوبت نسبی ۹۰ درصد به‌مدت سه هفته نگهداری شدند و طی هر هفته نمونه‌برداری انجام گرفت و ویژگی‌های کیفی ارزیابی شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک و فاکتور دوم زمان‌های برداشت میوه در طی دورهٔ انبارداری بود.

۲.۲. صفات مورد ارزیابی

۲.۲.۱. تعیین درصد کاهش وزن

برای اندازه‌گیری تغییرات کاهش وزن، میوه‌های هر واحد آزمایشی (در گروه‌های سه‌میوه‌ای) به‌طور جداگانه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم در ابتدای آزمایش توزین و پس از انبار کردن هر هفته یک بار تغییرات وزن‌تر هر گروه سه‌تایی اندازه‌گیری شد و تغییرات مزبور به‌صورت درصد کاهش وزن تر با استفاده از رابطهٔ زیر بیان شد:

۱۰۰ × وزن میوه قبل از انبار کردن /(وزن میوه بعد از انبار کردن – وزن میوه قبل از انبار کردن) = درصد کاهش وزن (۱)

۲.۲.۲. سفتی بافت میوه

آزمون سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه پنترومترمدل FT 011 با پروب ۸ میلی‌متری، بر روی سه میوه در هر تکرار از دو سمت مقابل هم و بعد از برداشتن پوست میوه انجام گرفت. سفتی بافت براساس بیشترین نیروی لازم برای نفوذ میله (تا محل مشخص‌شده) در میوه بر حسب پوند بر سانتی‌متر مربع بیان شد.

۳.۲.۲. اسیدیتهٔ عصارهٔ میوه، مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون (TA) و مجموع مواد جامد محلول (TSS)

اسیدیتهٔ عصارهٔ میوه با استفاده از pH متر دیجیتالی (HI 9811) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون از روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. مجموع مواد جامد محلول میوه توسط دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی (Atago Co., Model PR-1) اندازه‌گیری شد و به‌صورت درصد بیان شد.

۴.۲.۲. مقدار آسکوربیک اسید میوه

برای اندازه‌گیری مقدار آسکوربیک اسید میوه‌ها از روش تیتراسیون عصارهٔ میوه با ۲و۶-دی کلروفنل ایندوفنل استفاده شد و مقدار آسکوربیک اسید برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه محاسبه شد [۴]:

۵.۲.۲. محتوای فنل کل

برای اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل از روش فولین سیکالتو استفاده شد [۲۱]. عصاره‌های میوه با واکنشگر فولین سیکالتو ترکیب شده و بعد از پنج دقیقه محلول بی‌کربنات سدیم اضافه شد. مخلوط حاصل به‌مدت دو ساعت در دمای اتاق رها شده و میزان جذب نوری آن در طول موج ۷۲۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. به‌منظور مقایسه از ترکیب فنلی به نام گالیک اسید به‌عنوان استاندارد استفاده شد؛ به این صورت که از غلظت‌های مختلف گالیک اسید از (۰/۰۵ تا ۰/۲۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) برای رسم نمودار استفاده شد. برای ارزیابی مقدار ترکیبات فنلی کل عصاره‌ها، منحنی مذکور مبنا قرار گرفت و مقدار عددی ترکیبات فنلی کل به‌صورت معادل گالیک اسید محاسبه شد. نتایج به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در هر میلی‌لیتر[1] عصاره بیان شد.

۶.۲.۲. محتوای فلاونوئید کل

محتوای فلاونوئید کل با روش رنگ‌سنجی ارزیابی شد

1. mg GAE/ml

[۱۲]. محلول (۰/۲۵ میلی‌لیتر نمونه + ۷۵ میکرولیتر $NaNO_2$ (5%W/V) + ۰/۱۵ میلی‌لیتر $AlCl_3$ (10% W/V) + ۰/۵ میلی‌لیتر NaOH یک مولار) تهیه شد و با آب مقطر به حجم ۲/۵ میلی‌لیتر رسانده شد. بعد از پنج دقیقه جذب محلول توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۷ نانومتر خوانده شد. برای مقایسه و به‌دست آوردن منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف کوئرستین در حلال متانول استفاده شد و نتایج به‌صورت میکرومول کوئرستین در ۱۰۰ میکرولیتر عصاره[1] بیان شد.

۳.۲. تجزیهٔ آماری

داده‌ها پس از نرمال شدن با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه‌وتحلیل شد و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. همهٔ نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شدند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار کاهش وزن

تیمار اسید سالیسیلیک به‌طور معناداری سبب حفظ وزن میوه‌ها طی دورهٔ انبارداری شد (جدول ۱). در این آزمایش، کمترین درصد کاهش وزن در میوه‌های تیمارشده با غلظت‌های ۳ و ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، و بیشترین درصد کاهش وزن در میوه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۱).

کاهش وزن بیشتر به‌دلیل تنفس، تعرق و فعالیت‌های متابولیکی تنظیم می‌شود. اسید سالیسیلیک به‌وسیلهٔ کاهش تولید اتیلن و تنفس از کاهش بیشتر وزن میوه‌ها جلوگیری می‌کند و با بستن روزنه‌ها سبب حداقل شدن کاهش وزن میوه‌ها می‌شود [۱۴،۲۷]. در پژوهش حاضر، کاهش وزن میوه‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک نسبت به میوه‌های شاهد کمتر بود، به گونه‌ای که میوه‌های شاهد بیشترین کاهش وزن را داشتند. اسید سالیسیلیک می‌تواند تنفس را از طریق ممانعت از بیوسنتز اتیلن کاهش دهد [۱۹].

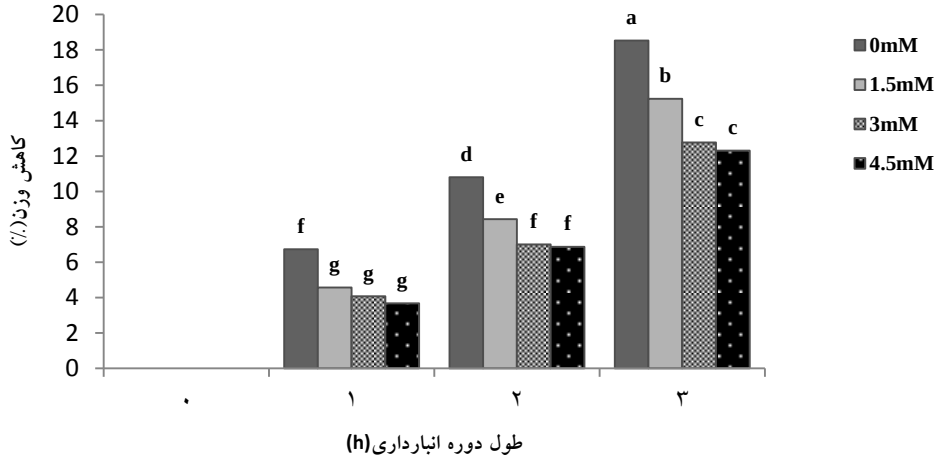
جدول ۱. تجزیهٔ واریانس تأثیر اسید سالیسیلیک بر ویژگی‌های کیفی میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو' در طی دورهٔ انبارداری

منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات							
		کاهش وزن	سفتی	ویتامین ث	TSS	pH	TA	فلاونوئید	فنل کل
تکرار	۲	۰/۱۱۶^{ns}	۰/۱۰۳^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۵/۸۳^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۲۱۲^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}
زمان	۱	۴۶۰**	۴/۶۴**	۱/۵۵**	۶۲/۸۴**	۱/۰۸**	۰/۰۰۹*	۱/۰۱**	۰/۰۰۲**
اسید سالیسیلیک	۳	۲۷/۲**	۱۱/۱۸**	۱/۵۲**	۵۴/۸۰**	۰/۴۸**	۰/۱۳۴*	۰/۳۴۸**	۰/۰۰۴**
زمان × اسید سالیسیلیک	۳	۴/۲۸**	۰/۱۸۶*	۱/۱۵۳*	۲/۵۷**	۰/۰۲۷**	۰/۰۰۴**	۰/۰۶**	۰/۰۰۰۲**
خطا	۱۴	۰/۳۵۸	۰/۱۰۳	۰/۰۰۷	۱/۵۱	۰/۰۲۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات	–	۸/۶۳	۱۰/۶۸	۱/۲۵	۵/۶۷	۳/۱۵	۲/۴۶	۶/۰۱	۶/۸

** – معناداری در سطح احتمال ۱ درصد

* – معناداری در سطح احتمال ۵ درصد و ns – غیرمعنادار

1 . µMQ/100µE



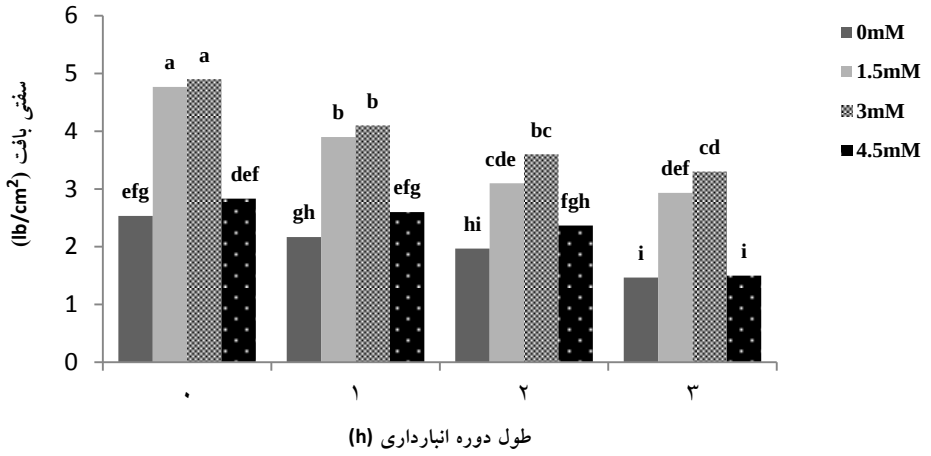
شکل ۱. مقایسهٔ میانگین اثر اسید سالیسیلیک و زمان در تغییرات درصد کاهش وزن میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو'

همچنین تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک در کاهش وزن میوه‌ها در طی انبارداری سرد در میوه‌های گلابی و توت‌فرنگی مشاهده شده است [۱۱]. حفظ مقدار زیاد اسید سالیسیلیک درون‌زاد و همچنین تأثیر اسید سالیسیلیک بر آماس سلولی، جلوگیری از بیوسنتز یا عمل اتیلن و کاهش تنفس به‌همراه تأخیر در ایجاد اوج فرازگرایی در میوه‌های فرازگرا، به حفظ سفتی میوه و جلوگیری از کاهش وزن میوه منجر می‌شود [۲۲، ۱۹، ۵].

۲.۳. تأثیر اسید سالیسیلیک بر سفتی بافت میوه

سفتی بافت میوه‌ها طی دورهٔ انبارداری کاهش یافت. در این آزمایش، افزایش غلظت تیمار اسید سالیسیلیک از ۱/۵ تا ۳ میلی‌مولار به‌طور معناداری سبب حفظ سفتی بافت میوه‌ها طی دورهٔ انبارداری شد. مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در حفظ سفتی بافت میوه‌ها داشت. با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از ۳ به ۴/۵ میلی‌مولار، سفتی بافت میوه‌ها کاهش یافت (شکل ۲).

اسید سالیسیلیک به‌عنوان نوعی ترکیب فنلی ساده از طریق تنظیم بیان ژن‌های مؤثر در آنزیم ACC سینتاز و ACC اکسیداز سفتی بافت میوه را حفظ می‌کند [۱۳] و همچنین از طریق کاهش تولید اتیلن و آنزیم‌های از بین برندهٔ دیوارهٔ سلولی نظیر پلی‌گالاکتروناز، سلولاز و پکتیناز سبب کاهش نرم شدن میوه و حفظ کیفیت آن می‌شود [۲۰]. با کاربرد غلظت‌های ۱، ۲ و ۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک روی توت‌فرنگی مشاهده شد که غلظت ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در کاهش تولید اتیلن دارد؛ ولی غلظت ۴ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک با ایجاد خسارت در میوه سبب افزایش فعالیت آنزیم ACC سینتاز و تولید اتیلن می‌شود [۵]. در این تحقیق، غلظت ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک بیشترین تأثیر را در حفظ سفتی میوه‌های زردآلو داشت و با افزایش آن به ۴/۵ میلی‌مولار از سفتی میوه‌ها کاسته شد. شاید کارایی کمتر تیمار ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رقم 'شاملو' را بتوان به این سبب دانست که مصرف بیش از اندازهٔ اسید سالیسیلیک سبب ایجاد خسارت در میوه می‌شود و هر گونه خسارت و تنش در میوه موجب افزایش فعالیت ACC سینتاز و تولید اتیلن می‌شود.



شکل ۲. مقایسهٔ میانگین اسید سالیسیلیک و زمان در تغییرات سفتی بافت میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو'

۳.۳. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار مواد جامد محلول

اسید سالیسیلیک اثر معناداری بر مجموع مواد جامد محلول زردآلو رقم 'شاملو' در سطح احتمال ۱ درصد داشت (جدول ۱). در این تحقیق، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک، مقدار مجموع مواد جامد محلول میوه‌های تیمارشده نسبت به میوه‌های تیمار شاهد کاهش یافت. در انتهای دورهٔ انبارداری، بیشترین مقدار مواد جامد محلول با ۲۸/۸ درصد در میوه‌های تیمار شاهد، و کمترین مقدار آن با ۲۱/۳ درصد در میوه‌های تیمارشده با غلظت ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک ثبت شد (جدول ۲).

در این آزمایش، با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک کاربردی، مقدار مجموع مواد جامد محلول به‌تدریج کاهش یافت. مواد جامد محلول و قندهای محلول ممکن است در طول مرحلهٔ رسیدن میوه به‌دلیل عملکرد آنزیم ساکاراز- فسفات سینتاز (SPS) به‌عنوان آنزیمی مهم در بیوسنتز قندها افزایش یابد [۱۰]. متیل سالیسیلات در نتیجهٔ کاهش فعالیت آنزیم ساکاراز- فسفات سینتاز تولید اتیلن را کاهش می‌دهد و سبب کاهش سنتز قند می‌شود [۲]. در توت‌فرنگی تیمار اسید سالیسیلیک از افزایش مواد جامد محلول در طول دورهٔ انبارداری جلوگیری کرد [۵]. تیمار میوهٔ کیوی با غلظت ۳۲ میکرولیتر در لیتر متیل سالیسیلات مقدار مواد جامد محلول کمی را نسبت به میوه‌های شاهد در پایان مرحلهٔ نگهداری در شرایط سرد حفظ کرد [۲]. به‌نظر می‌رسد در رقم 'شاملو' با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از ۳ به ۴/۵ میلی‌مولار فعالیت آنزیم ACC سینتاز افزایش یافت و با افزایش تولید اتیلن، فعالیت آنزیم ساکاراز-فسفات سینتاز افزایش پیدا کرد که درنتیجه سبب افزایش مجموع مواد جامد محلول شد.

۴.۳. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار اسیدیته

اثر تیمار اسید سالیسیلیک بر مقدار اسیدیتهٔ میوه‌ها معنادار بوده است (جدول ۱). افزایش غلظت اسید سالیسیلیک سبب کاهش مقدار اسیدیته و افزایش مدت انبارداری سبب افزایش مقدار اسیدیتهٔ عصاره میوه‌ها شد، به‌طوری که در انتهای دورهٔ انبارداری میوه‌های شاهد بیشترین و میوه‌های تیمارشده با غلظت ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک کمترین اسیدیته را داشتند (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین تأثیر محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک و زمان بر خصوصیات کیفی میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو'

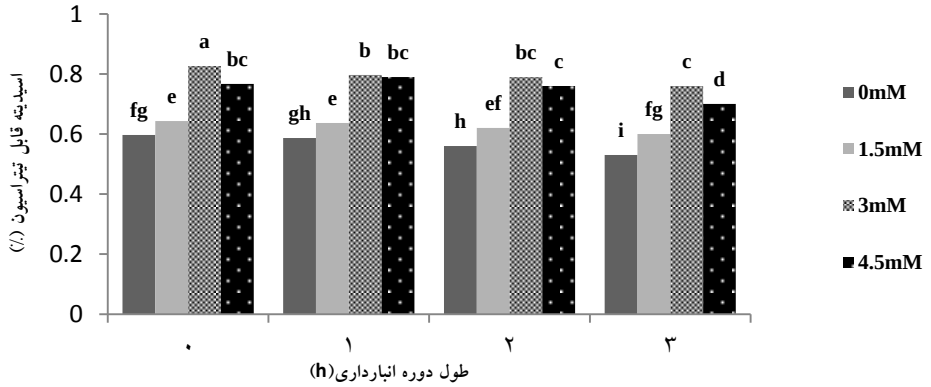
دورهٔ انبارداری (h)	اسید سالیسیلیک (mM)	مواد جامد محلول (٪)	اسیدیته	ویتامین C ($mg.100g^{-1}$)	فنل‌کل (mg GAE/ml)
۰	۰	۲۰/۴ efgh	۵/۰۳ cd	۶/۸۳ b	۰/۱۶۵ defg
	۱/۵	۱۹/۳ ghij	۴/۷ efg	۶/۸۳ b	۰/۱۷۶ cdef
	۳	۱۸/۶ ig	۴/۶۶ fg	۶/۸۳ b	۰/۱۸۹ bc
	۴/۵	۱۸ j	۴/۹ def	۶/۹۳ b	۰/۲۱۳ a
۱	۰	۲۲/۰۶ cde	۵ cd	۶/۲۶ ef	۰/۱۵۴ fgh
	۱/۵	۱۹/۳ fghij	۴/۵۶ g	۶/۹۳ a	۰/۱۶۹ cdef
	۳	۱۸/۹ hij	۴/۵۳ g	۷/۲ a	۰/۱۸۱ bcde
	۴/۵	۲۱/۴ def	۴/۹۶ cde	۷/۲۳ a	۰/۲۰۲ ab
۲	۰	۲۶/۲ b	۵/۵۳ a	۵/۹ g	۰/۱۴۶ gh
	۱/۵	۲۱/۲ fg	۵/۱۳ abc	۶/۴۶ cd	۰/۱۶ efg
	۳	۲۰/۰۵ efghi	۵/۱ bcd	۶/۸ b	۰/۱۷۱ cdef
	۴/۵	۲۳/۳ cd	۵/۴۶ a	۶/۸۶ b	۰/۱۸۵ bcd
۳	۰	۲۸/۸ a	۵/۴ ab	۵/۴ h	۰/۱۳۵ h
	۱/۵	۲۲ de	۵/۲۷ abc	۶/۲ f	۰/۱۵۴ fgh
	۳	۲۱/۳ de	۵/۲۷ abc	۶/۳۶ de	۰/۱۶۴ defg
	۴/۵	۲۴/۶ bc	۵/۴۶ a	۶/۵۶ c	۰/۱۷۸ cde

حروف غیرمشابه در هر ستون، نشان‌دهندهٔ اختلاف معناداری در سطح احتمال ۱ درصد توسط آزمون دانکن است.

اسیدیتهٔ کم میوه‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک را هم می‌توان به تأثیر مثبت اسید سالیسیلیک در فرایند تنفس و حفظ اسیدهای آلی نسبت داد. افزایش اسیدیته در طول مدت انبارمانی و رسیدن به‌دلیل شکسته شدن و تجزیهٔ اسیدهای آلی در فرایند تنفس است [۸]. به‌نظر می‌رسد در رقم 'شاملو' با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از ۳ به ۴/۵ میلی‌مولار تولید اتیلن افزایش می‌یابد، در نتیجه اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی بیشتر در فرایند تنفس مصرف می‌شود و مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون را نسبت به غلظت ۳ میلی‌مولار کاهش می‌دهد که در نتیجه اسیدیته افزایش می‌یابد.

۵.۳. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون

نتایج این آزمایش نشان داد که تیمار با اسید سالیسیلیک سبب افزایش مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون در زردآلو رقم 'شاملو' شد، به‌طوری که اختلاف معناداری بین میوه‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک و شاهد در مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون مشاهده شد. در طی دورهٔ انبارداری و همچنین انتهای آن بیشترین مقدار اسیدیته مربوط به غلظت ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک و کمترین مقدار آن در میوه‌های تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسهٔ میانگین اثر اسید سالیسیلیک و زمان در تغییرات مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو'

نقش اسید سالیسیلیک در به تأخیر انداختن رسیدن میوه و کاهش تولید اتیلن و سرعت تنفسی به اثبات رسیده است، بنابراین سبب حفظ اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون می‌شود [۱۹]. به‌نظر می‌رسد در رقم 'شاملو' با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک از ۳ به ۴/۵ میلی‌مولار فعالیت آنزیم ACC سینتاز افزایش پیدا می‌کند و با افزایش تولید اتیلن، تنفس میوه را افزایش می‌دهد، در نتیجه اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی در فرایند تنفس مصرف می‌شود و مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون را نسبت به غلظت ۳ میلی‌مولار کاهش می‌دهد. میوه‌های سیب تیمارشده با اسید سالیسیلیک در مقدار اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون در تمام دورهٔ انبارداری افزایش داشتند [۸]. اسید سالیسیلیک از طریق کاهش تنفس سبب تأخیر رسیدگی و حفظ اسیدهای آلی در میوهٔ موز طی دورهٔ نگهداری شد [۲۲].

۶.۳. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار آسکوربیک اسید

مقدار آسکوربیک اسید در طی دورهٔ نگهداری کاهش می‌یابد. نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار میوه‌ها با اسید سالیسیلیک از کاهش مقدار آسکوربیک اسید طی دورهٔ انبارداری جلوگیری کرد، به‌طوری که در انتهای دورهٔ انبارداری بیشترین مقدار آسکوربیک اسید مربوط به تیمار ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک، و کمترین مقدار آن در میوه‌های شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

محتوای آسکوربیک اسید میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تفاوت ژنوتیپی، شرایط آب‌وهوایی قبل از برداشت، روش‌های تربیت، بلوغ و زمان برداشت و روش‌های پس از برداشت قرار گیرد؛ همچنین در بین ویتامین‌ها، آسکوربیک اسید کمترین پایداری را دارد و به‌آسانی در طی فرایند ذخیره‌سازی تخریب می‌شود و به‌دلیل اکسیداسیون، خیلی حساس به تجزیه است [۳]. اسید سالیسیلیک، آنزیم پراکسیداز آسکوربات را فعال می‌کند و از این طریق، سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مقدار آسکوربیک اسید در میوه‌ها می‌شود [۷]. افزایش توانایی آنتی‌اکسیدانی و قدرت ضدتنش در گیاهان و میوه‌ها توسط اسید سالیسیلیک القا می‌شود که از تخریب آسکوربیک اسید جلوگیری می‌کند [۲۶]. با کاربرد غلظت‌های (صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌مولار) اسید سالیسیلیک روی میوهٔ هلو رقم 'فلورداکینگ' مشاهده شده است که کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تأثیر معناداری در حفظ مقدار ویتامین ث در مقایسه با تیمار شاهد طی دورهٔ انبارداری داشت، ولی سایر غلظت‌های اسید سالیسیلیک از لحاظ ویتامین ث با میوه‌های شاهد تفاوت معناداری ایجاد نکردند [۲۴].

۱. ۷. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار فنل کل

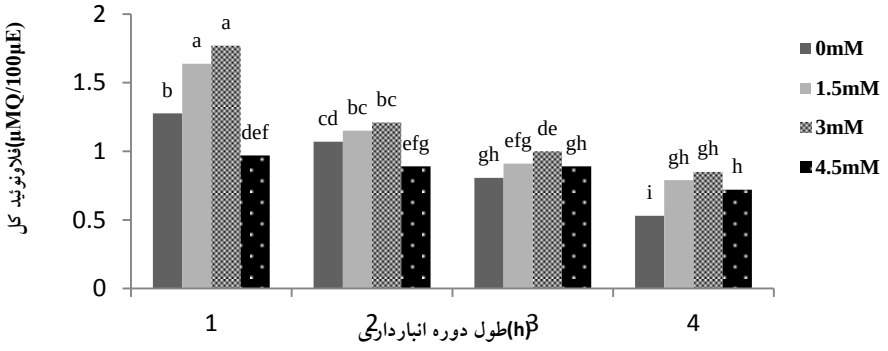
با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک مقدار فنل نیز افزایش یافت، ولی با افزایش مدت نگهداری مقدار آن کاهش نشان داد، به‌طوری که کمترین مقدار فنل در روز ۲۱ انبارداری در میوه‌های شاهد و بیشترین مقدار آن در میوه‌های تیمارشده با غلظت ۴/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در ابتدای دورهٔ انبارداری بود (جدول ۲).

ترکیبات فنلی انتشار وسیعی در گیاهان دارند و فعالیت بیولوژیک متنوع این ترکیبات از جمله خاصیت آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌میکروبی و ضدالتهاب بودن آنها گزارش شد [۱۹]. ترکیبات فنلی با داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌رادیکالی می‌توانند تأثیر مهمی در نگهداری محصولات غذایی و حفظ سلامت انسان داشته باشند. در این آزمایش با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک مقدار فنل نیز افزایش یافت. اسید سالیسیلیک نوعی ترکیب تحریک‌کنندهٔ تولید ترکیبات فنلی در گیاهان است و با تأثیر بر آنزیم‌های مؤثر در تولید ترکیبات فنلی سبب افزایش تولید آنها می‌شود [۶]. به‌طور کلی، محتوای فنل کل طی رشدونمو میوه کاهش می‌یابد که به کاهش تلخی و گسی منجر می‌شود [۱۸]. شاید علت کاهش ترکیبات فنلی سیب طی زمان نگهداری، شرکت این ترکیبات در متابولیسم یا تأثیر واکنش‌های آنزیمی و غیرآنزیمی طی انبارداری باشد [۲۳].

۳ .۸. تأثیر اسید سالیسیلیک بر مقدار فلاونوئید کل

نتایج مقایسهٔ میانگین داده‌ها نشان داد که مقادیر فلاونوئید کل در میوه‌های تیمارشده با اسید سالیسیلیک نسبت به میوه‌های شاهد افزایش پیدا کرد. با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک تا مقدار ۳ میلی‌مولار مقدار فلاونوئید نیز افزایش پیدا کرد، ولی با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک محلول‌پاشی‌شده به ۴/۵ میلی‌مولار مقدار فلاونوئید کل نسبت به غلظت ۳ میلی‌مولار کاهش نشان داد (شکل ۴).

مقدار فلاونوئید در میوه‌های نارس بیشتر از میوه‌های کاملاً رسیده است [۱۷]. ازآنجا که اثر اسید سالیسیلیک در به تأخیر انداختن رسیدگی میوه به اثبات رسیده است، می‌توان بیشتر بودن مقدار فلاونوئید کل را در میوه‌های تیمارشده توسط اسید سالیسیلیک در این آزمایش به این فرایند نسبت داد. در واقع، اسید سالیسیلیک به‌عنوان جزء پیام‌رسان مهمی در فعال‌سازی پاسخ‌های اختصاصی دفاعی گیاه به‌شمار می‌رود. پاسخ‌های دفاعی گیاه سبب بیوسنتز و تجمع انواع ترکیب‌های ثانویه گیاهی می‌شود، ازاین‌رو القا، راهکاری مؤثر برای افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه نظیر آلکالوئیدها، ترپنوئیدها، فلاونوئیدها، ترکیبات فنولیک و فیتوالکسین‌ها به‌شمار می‌رود [۱۶]. افزایش معناداری در مقدار فلاونوئید در کشت درون‌شیشه‌ای شیرین‌بیان با کاربرد غلظت دو میلی‌مولار اسید سالیسیلیک مشاهده شد [۱].



شکل ۴. مقایسهٔ میانگین اثر اسید سالیسیلیک و زمان در تغییرات مقدار فلاونوئید کل میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو'

نتایج این تحقیق نشان داد که طی دورهٔ انبارداری وزن میوه، سفتی بافت، اسیدیتهٔ قابل تیتراسیون، آسکوربیک اسید، مقدار فنل و فلاونوئید کل کاهش معناداری نشان دادند، درحالی که مقدار اسیدیته و مجموع مواد جامد محلول افزایش معناداری داشتند. تیمار قبل از برداشت اسید سالیسیلیک به‌صورت مثبت و معناداری سبب حفظ کیفیت و عمر پس از برداشت میوهٔ زردآلو رقم 'شاملو' شد. با توجه به اینکه میوهٔ زردآلو عمر پس از برداشت کمی دارد و به صدمات مکانیکی حساس است، می‌توان از تیمارهای مختلف از جمله تیمارهای قبل از برداشت با اسید سالیسیلیک برای افزایش ماندگاری میوهٔ زردآلو استفاده کرد.

منابع

۱. شبانی ل و احسان‌پور ا (۱۳۸۸) القای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، ترکیبات فنولیک و فلاونوئید در کشت در شیشهٔ شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) با استفاده از متیل جاسمونات و اسید سالیسیلیک. زیست‌شناسی. ۲۲(۴): ۷۰۳-۶۹۱.

2. Aghdam MS, Motallebiazar A, Mostofi Y, Moghaddam JF and Ghasemneghad M (2010) Effects of MeSA vapor treatment on the postharvest quality of Hayward kiwifruit. Acta Horticulturae. 877: 743-748.

3. Akhtar A, Abbasi NA and Hussain A (2010) Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. Pakistan Botany. 42: 181-188.

4. AOAC (2000) Vitamins and other nutrients. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed. Washington DC.

5. Babalar M, Asghari M, Talaei A and Khosroshahi A (2007) Effect of Pre and Postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of selva strawberry fruit. Food Chemistry. 105: 449-453.

6. Chen JY, Wen PF, Kong WF, Pan QH, Zhan JC, Li JM, Wan SB and Huang WD (2006) Effect of salicylic acid on phenylpropanoids and phenylalanine ammonia-lyase in harvested grape berries. Postharvest Biology and Technology. 40: 64-72.

7. Dat JF, Foyer CH and Scott IM (1998) Changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermo tolerance in mustard seedlings. Plant Physiology. 118: 1455-1461.

8. Han T and Li LP (1997) Physiological effect of salicylic acid on storage of apple in short period. Plant Physiology. 33: 347-348.

9. Huang R, Xia R, Lu Y, Hu L and Xu Y (2008) Effect of pre-harvest salicylic acid treatment on post-harvest antioxidant in pulp and peel of 'Cara cara' navel orange (*Citrus sinenisis* L. Osbec). Science of Food and Agriculture. 88: 229-236.

10. Hubbard NL, Pharr DM and Huber SC (1991) Sucrose phosphate synthase and other sucrose metabolizing enzymes in fruits of various species. Plant Physiology. 82: 191-196.

11. Imran H, Yuxing Z, Guoqiang DU, Guoying W and Jianghong Z (2007) Effect of salicylic acid (SA) on delaying fruit senescence of Huang Kum pear. Frontiers of Agriculture in China. 1(4): 456-459.

12. Kaijv M, Sheng L and Chao C (2006) Antioxidation of flavonoids of Green Rhizome. Food Science. 27: 110-115.

13. Leslie CA and Romani RJ (1988) Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. Plant Physiology. 88: 833-837.

14. Manthe B, Schulz M and Schnabl H (1992) Effects of salicylic acid on growth and stomatal movements of *Vicia faba* L.: evidence for salicylic acid metabolization. Chemical Ecology. 18: 1525-1539.

15. Mo Y, Gong D, Liang G, Han R, Xie J and Li W (2008) Enhanced preservation effect of sugar apple fruit by salicylic acid treatment during postharvest storage. Science of Food and Agriculture. 88: 2693-2699.

16. Mueller MJ, Brodschelm W, Spannagl E and Zenk MH (1993) Signaling in the elicitation process is mediated through the octadecanoid pathway leading to jasmonic acid. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 90: 7490-7494.

17. Ortuno A, Reynaldo I, Fuster MD, Botia J, Puig DJ, Sabater F, Lindon AQ, Porras I and Del Rio JL (1997) Citrus cultivars with high flavonoid contents in the fruits. Sicentia Horticulturae. 68: 231-236.

18. Patthamakanokporn O (2004) Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits and their juices. Mahidol University, Thailand, 82 p.

19. Raskin I (1992) Role os salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 43: 439-463.

20. Shafiee M, Taghavi TS and Babalar M (2010) Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. Scientia Horticulture. 124: 40-45.

21. Singleton VL and Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphor molybdicphosphotungestic acid reagents. Enology and Viticulture. 16: 144-158.

22. Srivastava MK and Dwivedi UN (2000) Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. Plant Science. 158: 87-96.

23. Tahir I (2006) Control of pre- and postharvest factors to improve apple quality and storability. Swedish University of Agricultural Science. 65 p.

24. Tareen M, Abbasi N and Hafiz I (2012) Effect of salicylic acid treatments on storage life of peach fruits Cv. 'flordaking'. Pakistan Botany. 44(1): 119-124.

25. Wang LJ, Chen S, Kong WF, Li SH and Archbold DD (2006) Salicylic acid pertreatment alleviates chilling injury and effects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. Postharvest Biology and Technology. 41: 444-251.

26. Wisniewska H and Chelcowski J (1999) Influence of exogenic salicylic acid on *Fusarium* seedling blight reduction in barley. Acta Physiologiae Plantarum. 21: 63-66.

27. Zhang Y, Chen K, Zhang S and Ferguson I (2003) The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. Postharvest Biology and Technology. 28: 67-74.