

به زراعی کشاورزی

دوره ۱۸ ■ شماره ۲ ■ تابستان ۱۳۹۵

صفحه‌های ۳۴۳-۳۳۳

بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در دو رقم پرتقال 'مورو' و 'تامسون ناول'

سونیا جمالی انجیلانی^{۱*}، ولی ربیعی^۲ و جواد فتاحی مقدم^۳

۱. کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
 ۲. دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
 ۳. استادیار گروه فنی مهندسی، مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور، رامسر، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۸

چکیده

تیمار پوشش‌دهی با پوشش‌های مختلف و کاربرد متیل سالیسیلات و سالیسیلیک‌اسید برای کاهش آسیب سرمازدگی و حفظ کیفیت مرکبات طی انبارمانی استفاده می‌شود. تحقیق حاضر به منظور بررسی فعالیت آنزیمی دخیل در کاهش آسیب سرمازدگی و حفظ کیفیت میوه پرتقال تامسون و مورو در قالب طرح اسپیلت پلات با سه تکرار، در مرکز تحقیقات مرکبات ایران رامسر، در سال ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. میوه‌ها پس از تیماردهی با واکس بریتکس و بخار متیل سالیسیلات به مدت ۸۰ روز در سردخانه با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد قرار داده شدند و با نمونه‌گیری به فاصله هر ۲۰ روز فعالیت آنزیمی میوه‌ها ارزیابی شد. براساس نتایج میوه‌های تیمار شده با متیل سالیسیلات بیشترین میزان ($0/26 \text{ mMmg/FW}$) و میوه‌های پوشش داده شده با واکس بریتکس کمترین میزان فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیاپاز ($0/2 \text{ mMmg/FW}$) را نشان دادند. بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز میوه مورو به میوه‌های بخاردهی شده با متیل سالیسیلات در ۲۰ روز اول نگهداری در سردخانه ($23/19 \text{ umg/FW}$) تعلق داشت. فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در هر دو رقم 'تامسون' و 'مورو' طی انبارمانی روند افزایشی داشت. به نظر می‌رسد تیمارهای واکس بریتکس و متیل سالیسیلات به کمک تعدیل در فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و فنیل‌آلانین آمونیاپاز آسیب سرمازدگی طی انبارداری را کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تحت تنش سرما را افزایش می‌دهند.

کلیدواژه‌ها: آنتی‌اکسیدانت، آنزیم آسکوربات پراکسیداز، آنزیم سوپراکسید ديسموتاز، آنزیم فنیل‌آلانین آمونیاپاز، کیفیت

۱. مقدمه

انبارمانی یکی از مهم‌ترین فرآیندهای پس از برداشت است زیرا شرایط نامناسب انبار از علل مهم آسیب کمی و کیفی در میوه‌ها است [۲۳]. طبق برآوردهای انجام شده میزان ضایعات مرکبات بین ۲۸ تا ۳۰ درصد تخمین زده می‌شود. به‌طور کلی، شرایط بهینه انبارمانی بسته به نوع رقم متفاوت است و به میزان مقاومت میوه به دماهای پایین، رطوبت بالا، اکسیژن پایین و دی‌اکسیدکربن بالا، میزان اتیلن و درنهایت میزان صدمات مکانیکی وارده به میوه بستگی دارد. میوه‌های مرکبات به لحاظ تنفس خیلی ضعیف و برای مدت طولانی قابل نگهداری هستند [۴].

دمای پایین به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش عمر انبارمانی محصولات کشاورزی به کار می‌رود [۲۸]، لذا تغییرات فیزیولوژیکی و آناتومیکی زیادی در اثر خسارت سرمازدگی در فرآورده و بافت میوه ایجاد می‌شود [۱۲ و ۱۷]. کاهش تعرق و تنفس پس از برداشت مهم‌ترین عامل در افزایش عمر انباری پرتقال 'والنسیا' است. بر این اساس، دلیل اصلی استفاده از پوشش روی میوه کنترل از دست‌دهی آب میوه پس از برداشت است [۳]. استفاده از پوشش واکس عمر انبارمانی مرکبات را افزایش داده و موجب بهبود ظاهر آنها است [۸]. در سطح تجاری از پوشش دهی با واکس برای کاهش تعرق طی انبارداری استفاده می‌کنند [۳].

تخریب غشای سلولی اولین مرحله ایجاد آسیب سرمایی است که سبب توسعه علائم سرمازدگی می‌شود [۳۱]. تحقیقات در زمینه میوه مرکبات در نواحی مختلف نشان داد که وضعیت آب پوست میوه فاکتور کلیدی در عرضه پیتینگ (PPI)^۱ در ارقام مرکبات پس از برداشت در انبار با دمای پایین است [۵]. میوه مرکبات منبع مهمی برای آنتی‌اکسیدان‌های نظیر آسکوربیک اسید، کاروتنوئیدها،

فلاونوئیدها و دیگر ترکیبات فنلی است [۸]. اثر تیمارهای پوششی (واکس و کیسه پلاستیکی) و بخار متیل‌سالیسیلات بر کیفیت و آسیب سرمایی میوه پرتقال خونی 'مورو' طی انبارداری بررسی شد. فنل کل پوست در انتهای انبارداری در پوشش واکس با متیل‌سالیسیلات با میزان ۰/۲۶ میلی‌گرم، کمترین کاهش را داشت. همچنین، فنل کل گوشت در کیسه پلاستیک با دو میوه (۰/۲۵ میلی‌گرم)، کمترین تغییرات را طی انبارداری نشان داد. پوشش‌دهی همراه متیل‌سالیسیلات با حفظ رطوبت و ساختار سلولی سبب کند شدن فرایند پیری و حفظ ترکیبات مفید در میوه شد.

به‌طور کلی، میزان آنتوسیانین کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گوشت طی انبارداری افزایش یافت. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پوست به ترتیب در پوشش واکس (۴۲/۹۸ درصد) و کیسه پلاستیک بادو میوه (۳۷/۴۶ درصد) و کیسه پلاستیک با دو میوه با متیل‌سالیسیلات (۳۷/۴۲ درصد) بالاترین میزان بود. پوشش واکس با متیل‌سالیسیلات با ۰/۱۸ و کیسه پلاستیک با دو میوه با ۰/۱۷ میلی‌مول کمترین پراکسیداسیون لیپید را در انتهای انبارداری داشت. میزان نشت یونی در میوه‌های پوشش داده شده در تلفیق با متیل‌سالیسیلات نسبت به شاهد میزان کمتری را نشان داد [۱]. استفاده از تیمار حرارتی، پوشش‌دهی با پوشش‌های مختلف و کاربرد متیل‌سالیسیلات و سالیسیلیک‌اسید برای کاهش آسیب‌های سرمازدگی و حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی و ویتامین ث در پژوهش‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفته است [۱، ۷، ۱۳، ۱۵ و ۲۰]. سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیرآنزیمی که شامل ترکیبات فنلی، نظیر آنتوسیانین‌ها است گیاه را در برابر تنش‌های محیطی مانند سرمازدگی محافظت می‌نماید [۱۱ و ۱۲].

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند پراکسیدازها، H₂O₂ تولید

1 Peel pitting induxe

به‌زراعی کشاورزی

بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در ...

ردیف‌های میوه گذاشته شد. درب ظروف کاملاً بسته و در شرایط دمای اتاق به مدت ۱۸ ساعت (تمام شب) باقی ماند. پس از این مدت درب ظروف باز و برای تبادل هوایی میوه‌ها در فضای آزاد به مدت ۲ ساعت قرار گرفت. میوه‌ها پس از تیماردهی در سردخانه با دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد (داده‌ها به فاصله هر چهار ساعت طی روز ثبت و سپس متوسط روزانه و ماهیانه محاسبه شد) قرار داده شدند. میوه کلیه تیمارها در روزهای ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ روز پس از برداشت با نمونه‌گیری از سردخانه (۳ نمونه از هر تکرار) به آزمایشگاه منتقل و صفات زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

سنجش فعالیت آنزیم

تهیه بافر استخراج

به منظور تهیه بافر استخراج از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH = ۷) استفاده شد. محلول باز و اسید تهیه و با نسبت معین مخلوط و pH = ۷ آن تنظیم شد. محلول اول باز شامل ۲/۶۱ گرم نمک مونوهیدروژن فسفات (K_2HPO_4) که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول دوم، شامل ۲/۰۴ گرم نمک پتاسیم‌دی‌هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) بود که در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل کرده و به حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد.

آنزیم فنیل آلانین آمونیاک

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاک با استفاده از روش بیان شده توسط یو و همکاران (۲۰۱۲) با کمی تغییرات در حجم عصاره اندازه‌گیری شد [۳۰]. سپس برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم برحسب میلی‌گرم ترانس سینامیک تولید شده در هر گرم عصاره در مدت یک ساعت از خط استاندارد غلظت‌های اسید ترانس سینامیک استفاده شد (شکل ۱).

شده ناشی از تنش سرمایی را با اکسیداسیون ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدان‌های حاوی گروه CO⁻ (آسکوربیک‌اسید، فلاونوئیدها و ...) متلاشی می‌سازند و اثر رادیکال‌های آزاد ایجاد شده را خنثی می‌سازند [۲۳]. اثر تیمار واکس و متیل سالیسیلات در کاهش آسیب سرمازدگی و حفظ کیفیت میوه پرتقال 'مورو' طی انبارداری مشاهده شده است [۱]. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی فعالیت برخی آنزیم‌های دخیل در کاهش آسیب سرمازدگی و حفظ کیفیت میوه می‌باشد.

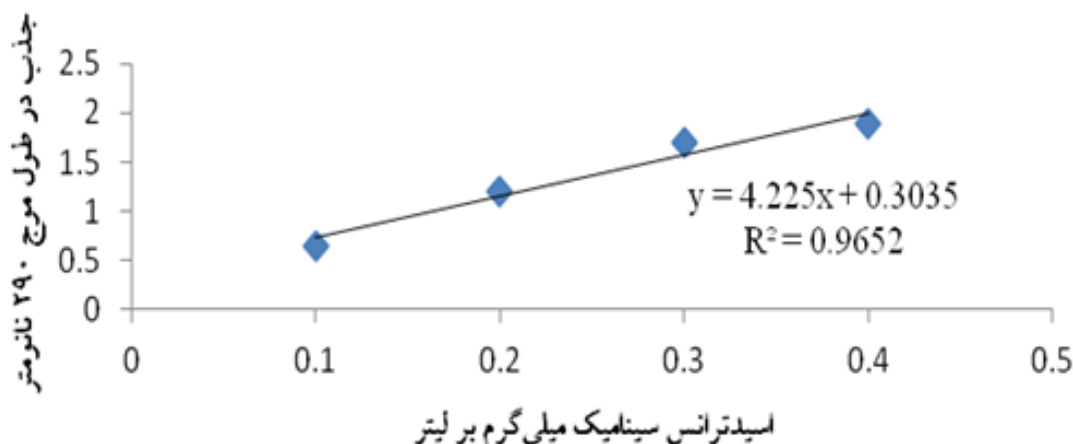
مواد و روشها

در پژوهش حاضر، از میوه درختان پرتقال مورو پیوند شده روی پایه نارنج در هفته اول دی‌ماه و پرتقال تامسون نوسلار پیوند شده روی پایه پونسیروس در هفته دوم آذرماه و براساس شاخص بریکس میوه (۱۲ درصد) واقع در مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور (واقع در شهر رامسر) استفاده شد.

میوه‌های عاری از آسیب مکانیکی و آلودگی‌های قارچی جداسازی و پس از انتقال به آزمایشگاه، در گروه‌های ۶۰ تایی، با سه تکرار (سه جعبه حاوی ۲۰ میوه) مرتب شدند. متوسط وزن میوه‌ها ۱۶۳/۵ گرم بود. تیمارها شامل ۱ - شاهد (بدون پوشش و بخاردهی درون جعبه)، ۲ - واکس بریتکس^۱، واکس بریتکس (۱۸ درصد وزنی واکس، ۰/۲ درصد ایمازالیل و ۰/۵ درصد وزنی تیابندازول از شرکت کارول) و ۳ - بخار متیل سالیسیلات^۲ بود که به منظور اعمال تیمار متیل سالیسیلات، ابتدا میوه‌ها در ظروف پلاستیکی با حجم ۲۰ لیتری قرار داده شدند. سپس در هر ظرف سه قطعه ۱۰ × ۱۵ سانتی‌متری کاغذ صافی آغشته به ۸ میکرولیتر متیل سالیسیلات (جمعاً ۲۴ میکرولیتر) روی

1 Britex-Ti

2 Methyl salicylate[MeSA]



شکل ۱. معادله خط جذب غلظت‌های مختلف محلول استاندارد اسیدترانس سینامیک

آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز با استفاده از روش توسط تاجور و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌گیری شد. سپس میزان فعالیت آنزیم برحسب میزان واحد آنزیمی که یک میکرومول آسکوربیک‌اسید را در مدت یک دقیقه اکسید می‌کند، بیان شد. ضریب خاموشی این آنزیم ۲/۸ بر میلی‌مولار بر سانتی‌متر است [۲۴].

(رابطه ۱)

\times تغییرات جذب) = گرم وزن تر در دقیقه / واحد آنزیمی (حجم \times ضریب خاموشی آنزیم) / حجم مخلوط واکنش آنزیمی

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD

فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز SOD با استفاده از روش وانگ و گائو (۲۰۱۳) اندازه‌گیری شد [۲۸]:

(رابطه ۲)

$100 \times \text{شاهد} (A) / \text{نمونه} (A) - \text{شاهد} (A) =$ درصد بازدارندگی

(رابطه ۳)

(حجم عصاره آنزیمی / حجم استخراج \times ۰/۵) درصد بازدارندگی)) = گرم وزن در دقیقه / واحد آنزیمی

تجزیه آماری

بعد از آزمون نرمال، داده‌های حاصل براساس آزمون اسپیلت پلات معمولی (تیمار زمان کرت اصلی و تیمارهای پوششی و متیل سالیسیلات کرت فرعی (شاهد میوه‌های بدون پوشش و بدون بخار متیل سالیسیلات)) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با نرم‌افزار آماری Mstat-C (نسخه؟) تجزیه واریانس شد. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و سنجش همبستگی بین صفات با نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه؟) انجام شد.

نتایج و بحث

با تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هر دو رقم 'تامسون' و 'مورو' مشخص شد که تیمارهای به کار رفته تأثیر معنی‌داری بر آنزیم‌های مرتبط با آسیب سرمازدگی به جز آنزیم PAL داشتند (جدول ۱).

به‌زرعی کشاورزی

بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در ...

جدول ۱. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر تیمار و مدت انبارمانی روی برخی آنزیم‌های فعال در کاهش آسیب سرمازدگی میوه پرتقال رقم‌های 'مورو' و 'تامسون' در سردخانه

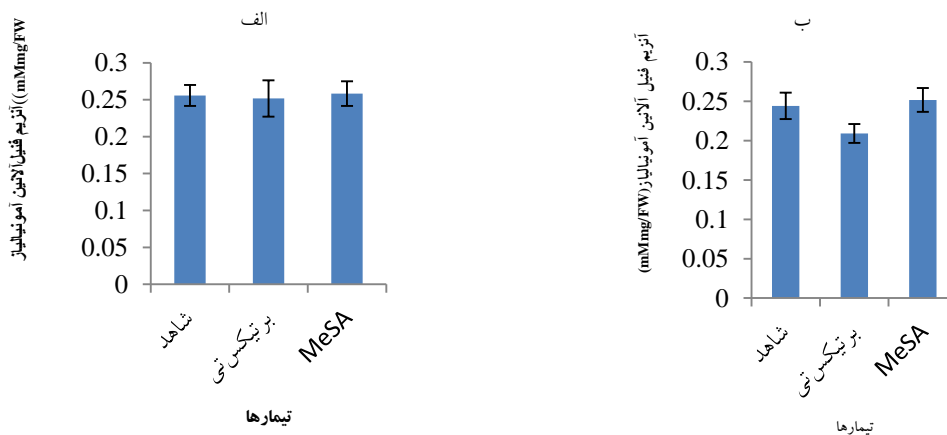
میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
میوه تامسون			میوه مورو				
APX	SOD	PAL	APX	SOD	PAL		
۰/۱۶۳**	۱۸۶/۰۲**	۰/۰۲۱*	۰/۱۲۷**	۱۱۸/۶**	۰/۰۰۴ ^{ns}	۳	مدت انبارمانی
۰/۰۰۱	۴/۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۹/۴	۰/۰۰۳	۸	خطا
۰/۰۵۷**	۱۵/۰۷ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۶۹**	۵۴/۳۵**	۰/۰۰۶ ^{ns}	۲	تیمار
۰/۰۰۵**	۷/۵۴ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۰۱**	۷۵/۲۴**	۰/۰۰۳ ^{ns}	۶	تیمار در مدت انبارمانی
۰/۰۰۱	۶/۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۱۳/۶۲	۰/۰۰۲	۱۶	خطای آزمایش
۱۲/۸۹	۱۹/۳۴	۱۸/۵۶	۱۵/۰۱	۲۴/۶۸	۱۹/۲۷		ضریب تغییرات (%)

ns، * و ** - به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

مبنی بر نبود تفاوت معنی‌دار بین میوه‌های تیمار شده با بخار متیل سالیسیلات و پوشش‌دهی با شاهد وجود دارد [۲۱ و ۱۶]. فعالیت PAL در ۶۰ روز اول انبارمانی روند افزایشی و سپس روند کاهشی داشت (شکل ۳).

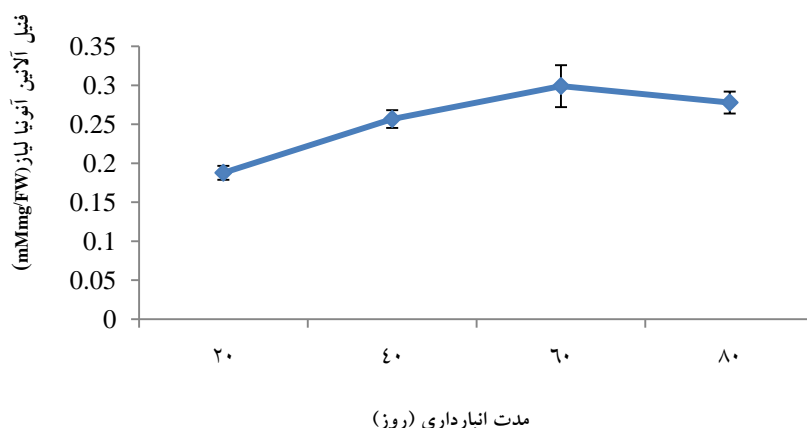
آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL)

هر دو رقم تیمارهای به کار رفته، اختلاف معنی‌داری از نظر میزان فعالیت آنزیم PAL با تیمار شاهد نداشتند. با این حال، میوه‌های تیمار شده با متیل سالیسیلات بیشترین و میوه‌های پوشش داده شده با واکس بریتکس کمترین میزان فعالیت آنزیم PAL را نشان دادند (شکل ۲). گزارش‌هایی



شکل ۲. نوع تیمار به کار رفته بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL). (الف - رقم 'تامسون' و ب - رقم 'مورو') خطوط روی نمودارها نشان‌دهنده خطاهای استاندارد میانگین است.

سونیا جمالی و همکاران



شکل ۳. میزان فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL) در میوه پرتقال رقم 'تامسون' طی انبارداری در سردخانه خطوط روی نمودارها نشان‌دهنده خطاهای استاندارد میانگین است.

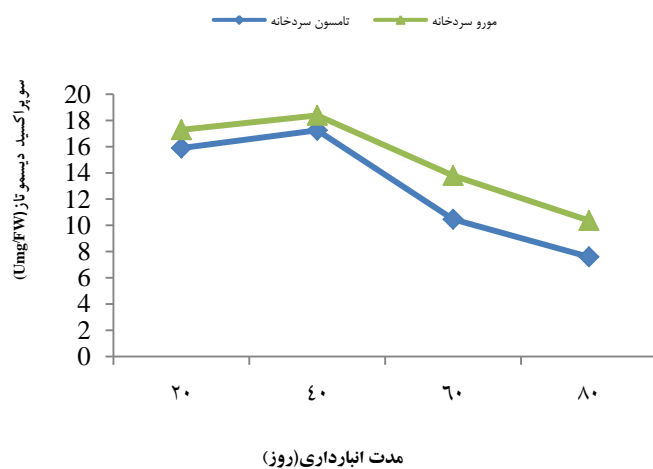
[۱۶]. در میوه‌های واکس زده در ۲۰ روز اول انبارداری فعالیت این آنزیم کمتر از تیمار شاهد بود. در پایان انبارداری نیز در کلیه تیمارها فعالیت این آنزیم یکسان بود. به نظر می‌رسد محدود شدن تبادل گازی با استفاده از پوشش‌ها و واکس‌های تجاری طی انبارداری، دی‌اکسیدکربن در اتمسفر درونی بافت میوه تجمع می‌یابد، افزایش بیش از حد دی‌اکسیدکربن سبب کاهش فعالیت آنزیم PAL می‌شود [۳۰].

آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

در هر دو رقم طی نگهداری در سردخانه فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ابتدا روند افزایشی و سپس تا کمترین میزان خود در پایان انبارداری کاهش یافت (شکل ۴). نتایجی مشابه جدای از نوع تیمار مبنی بر افزایش تدریجی فعالیت SOD و سپس کاهش آن با افزایش مدت انبارداری (مجزا از نوع تیمار) گزارش شده است [۱۰].

نتایج حاصل از تحقیق حاضر با نتایج دیگر تحقیقات مبنی بر افزایش فعالیت PAL و تجمع فنیل پروپانویدها در اثر کاربرد متیل‌سالیسیلات پس از برداشت میوه مطابقت دارد [۲ و ۱۹]. فعالیت آنزیم PAL در میوه تازه کمتر و در شرایط نامناسب انبارداری افزایش می‌یابد [۳۰]. افزایش آنزیم PAL به عنوان یکی از مکانیزم‌های مقاومت به سرما در میوه‌ها شناخته شده است، افزایش فعالیت PAL و تجمع پروپانویدها در گیاهان سازگار به سرما مشاهده شد [۱۴]. پاسخ‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی با متابولیسم‌های ثانویه گیاه همراه است آنزیم PAL در سنتز فنل‌ها (متابولیت‌های ثانویه گیاه) آنزیم کلیدی است، متابولیسم اولیه (مسیر شیکمیک اسید) را به متابولیسم ثانویه (مسیر فنیل پروپانویید) اتصال می‌دهد [۲۹]. آسیب سرمازدگی سبب افزایش فعالیت PAL می‌شود [۱۵]. کاربرد متیل‌سالیسیلات به دلیل تحریک افزایش فعالیت PAL سبب کاهش آسیب سرمای می‌شود [۲]. در مقابل پوشش‌دهی با بهبود شرایط نگهداری میوه از آسیب سرمازدگی کاسته و فعالیت آنزیم PAL را کاهش می‌دهد

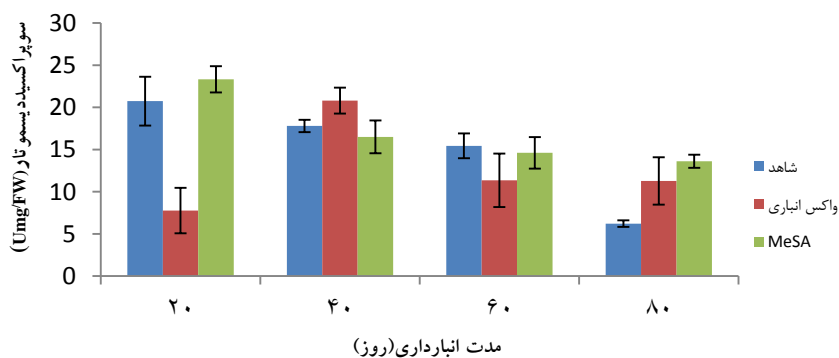
بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در ...



شکل ۴. تغییرات فعالیت آنزیم SOD طی نگهداری در انبار و سردخانه

متیل سالیسیلات بیشترین بود. بیشترین فعالیت آنزیم SOD میوه 'مورو' به میوه‌های بخاردهی شده با متیل سالیسیلات در ۲۰ روز اول نگهداری در سردخانه تعلق داشت (شکل ۵).

فعالیت SOD در تیمارهای به کار رفته، نوع رقم تفاوت معنی‌داری نداشت. با این حال، فعالیت SOD در شاهد به طور غیرمعنی‌داری کمترین و در میوه‌های تیمار شده با



شکل ۵. اثر مدت انبارداری و تیمار بر فعالیت SOD میوه 'مورو' در سردخانه خطوط روی نمودارها نشان‌دهنده خطاهای استاندارد میانگین است.

خواهد داشت. فعالیت SOD سبب افزایش میزان پراکسید هیدروژن شده که یک سیگنال ثانویه بوده و سبب فعال شدن آسکوربات پراکسیداز و سایر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

تنش دمای پایین سبب تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال سوپراکسید می‌شود. این رادیکال‌ها به عنوان سیگنال عمل نموده که فعال‌سازی SOD را به همراه

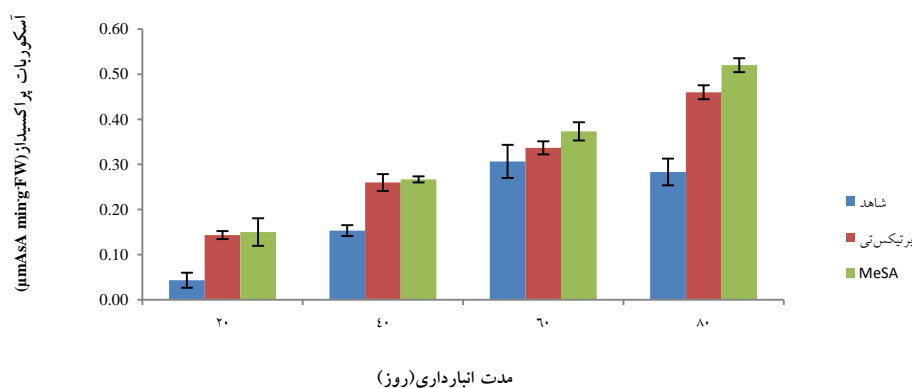
واکس طبیعی سطح میوه حفظ شده و فعالیت SOD کم می‌شود، اما با گذشت زمان و اتلاف رطوبت، فعالیت SOD افزایش می‌یابد [۳۰]. در مقابل، کاهش فعالیت SOD در میوه‌های پوشش‌داده شده به دلیل کاهش تنفس و کند نمودن فرایند پیری بیان شد [۱۶].

آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)

فعالیت آنزیم APX در هر دو رقم 'تامسون' و 'مورو' طی انبارمانی روند افزایشی داشت. متیل‌سالیسیلات و پوشش‌دهی سبب افزایش فعالیت آنزیم APX نسبت به تیمار شاهد شد. با استفاده از متیل‌سالیسیلات و واکس بریتکس مشخص شد که میوه‌ها پس از ۸۰ روز بالاترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز را داشتند (شکل‌های ۵ و ۶). بالاترین فعالیت APX زمانی است که گیاهان مقاوم به سرما در معرض دمایی پایین قرار می‌گیرند. با افزایش مدت انبارمانی، میوه‌ها زمان بیشتری در شرایط دمایی پایین قرار گرفته و در نتیجه فعالیت آنزیم APX بالا می‌رود [۹].

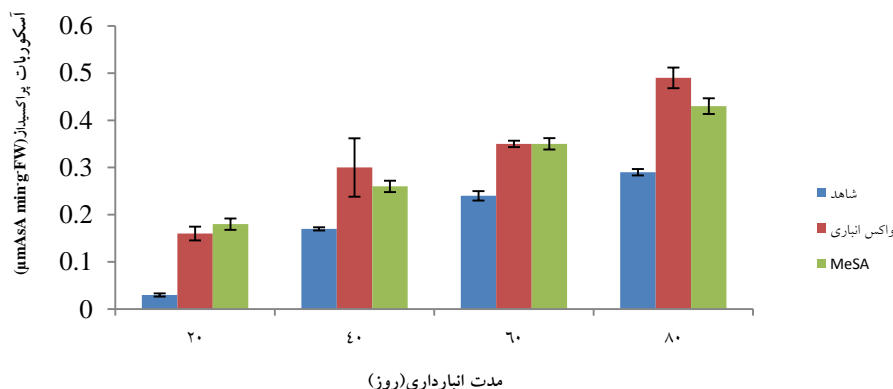
می‌شود [۲۴]. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تشکیل رادیکال آزاد را متوقف و ممکن است سبب توقف زنجیره واکنش‌های اکسیداسیون و کاهش آسیب رادیکال‌های آزاد شود. همچنین ممکن است انرژی رادیکال‌های آزاد را کاهش داده و یا سبب اتصال الکترون به آنها شده و آنها را پایدار نمایند [۲۸]. SOD نقش خط مقدم را در مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی دارد رادیکال‌های سوپراکسید با فعالیت SOD به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌شوند و پراکسید هیدروژن با فعالیت کاتالاز و پراکسیدازها مانند آسکوربات پراکسیداز به آب و اکسیژن تبدیل می‌شود [۲۶]. کاربرد متیل‌سالیسیلات سبب تحریک فعالیت SOD می‌شود [۲۵]، ۲۶ و ۳۰. تجمع H_2O_2 در پیش‌تیمار متیل‌سالیسیلات را به افزایش فعالیت SOD ربط داده شده است [۱۰].

همچنین پوشش‌دهی سبب افزایش فعالیت آنزیم SOD است که دیگر محققین دلیل این امر را به ساختار پوشش مربوط دانستند. از طرف دیگر، بالا رفتن فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در میوه‌های پوشش‌داده شده برای حفظ میوه تازه مفید است. در شرایط پوشش‌داده شده



شکل ۶. اثر مدت انبارمانی و تیمار بر فعالیت APX میوه تامسون در سردخانه خطوط روی نمودارها نشان‌دهنده خط‌های استاندارد میانگین است.

بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در ...



شکل ۷. اثر مدت انبارمانی و تیمار بر فعالیت APX میوه پرتقال رقم 'مورو' در سردخانه خطوط روی نمودارها نشان‌دهنده خطاهای استاندارد میانگین است.

آسیب‌های ناشی از تنش‌های اکسیداتیو و دمای پایین می‌شود [۳۰]. به نظر می‌رسد تیمار پوشش‌دهی و متیل سالیسیلات هر دو سبب برقراری این تعادل، در نتیجه سبب کاهش آسیب سرمایی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

پوشش‌دهی همراه متیل سالیسیلات با حفظ رطوبت و ساختار سلولی سبب کند شدن فرایند پیری و حفظ ترکیبات مفید در میوه شد. به نظر می‌رسد تیمارهای واکس بریتکس و متیل سالیسیلات به کمک تعدیل در فعالیت آنزیم‌های PAL, APX, SOD آسیب سرمادگی طی انبارداری را کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در میوه‌های تحت تنش سرما را افزایش می‌دهند.

منابع

۱. جمالی س، ربیعی و و فتاحی مقدم ج (۱۳۹۳) ارزیابی کاربرد پوشش و متیل سالیسیلات در میزان کیفیت و آسیب سرمایی پرتقال خونی 'مورو' در سردخانه. علوم باغبانی ایران. ۲۸(۴): ۲۲-۲۸.

بهبود تحمل به استرس اغلب به افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی در گیاه مربوط است که عموماً سیستم آسکوربات در افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه درگیر است. آسکوربات پراکسیداز و آسکوربات، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) را تجزیه و اثر سمیت آن را تقلیل می‌دهند [۲۷ و ۳۰]. فعالیت آنزیم APX در میوه‌های تیمار شده با متیل سالیسیلات نسبت به تیمار شاهد بالاتر است [۶ و ۲۷]. متیل سالیسیلات با تحریک پروتئین‌های شوک سبب تحریک فعالیت SOD و تولید و تجمع پراکسید هیدروژن شده که خود سبب تحریک افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز می‌شود [۲۹ و ۳۰].

همچنین در مورد کاربرد پوشش‌دهی اثر مشابه با متیل سالیسیلات در تحریک فعالیت APX گزارش شده است. پوشش‌دهی سبب افزایش فعالیت آسکوربات پراکسیداز است. پوشش‌دهی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی (ویتامین ث و ترکیبات فنلی) و فعالیت بالای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را حفظ می‌کند [۳ و ۲۸]. تعادل بین تولید و تجزیه H_2O_2 در سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی سبب کاهش

10. Ding Z, Tian SP, Zheng XL, Zhou ZW and Xu Y (2007) Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. *Plant Physiology*. 130: 112-121.
11. Gonzalez- Aguilar GA, Tiznado- Hernandez ME, Zavaleta- Gatica R and Martinez-Tellez MAO (2004) Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. *Biochemical and Biophysical Research Communication*. 313: 694-701.
12. Han J, Tian SP, Meng XH and Ding ZH (2006) Response of physiologic metabolism and cell structures in mango fruits to exogenous methyl salicylate under low temperature stress. *Physiologia Plantarum*. 128: 125-13.
13. Hu Q, Fang Y, Yang Y and Ma N (2011) Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene treated kiwifruit during and storage. *Food research international*. 44: 1589-1596.
14. Lafuente MT, Zacaras L, Martnez-Tellez MA, Snchez-Ballesta MT and Granell A (2003) Phenylalanine ammonia-lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus. *Postharvest Biology and Technology*. 29: 308-317.
15. Luo Z, Chen CH and Xie J (2011) Effect of salicylic acid treatment on alleviating postharvest chilling injury of 'Qingnai' plum fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 62: 115-120.
16. Meng X, Li B, Liu J and Tian SH (2008) Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*. 106: 501-508.
۲. سیاری م، بابالار م، کلانتری س، علیزاده ه و عسگری م (۱۳۸۸) اثر سالیسیلیک اسید بر مقاومت به سرمازدگی و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز انار رقم ملس ساوه در انبار. *علوم باغبانی ایران*. ۴۰(۳): ۲۸-۲۱.
۳. صفی زاده م و راحمی م (۱۳۸۳) اثرهای التیام دهی و بسته بندی پیش از انبار بر پوسیدگی، کیفیت انباری پرتقال والنسیا. *علوم و فنون باغبانی ایران*. ۱۵(۱): ۹۳-۱۰۰.
۴. فتوحی قزوینی ر و فتاحی مقدم ج (۱۳۸۹) پرورش مرکبات در ایران. دانشگاه گیلان. ۳۰۵ ص.
5. Alferez F (2005) Low relative humidity at harvest and before storage at high humidity influence the severity of postharvest peel pitting in citrus. *Horticultural Science*. 130(2): 225-231.
6. Asghari M and Soleimani Aghdam M (2010) Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends in Food Science and Technology*. 21: 502-509.
7. Biolatto AE, Vazquez DM, Sancho AJ, Carduza FA and Pense N (2005) Effect of commercial conditioning and cold quarantine storage treatments on fruit quality of 'Rouge La Toma' grapefruit (*Citrus paradise* Macf). *Postharvest Biology and Technology*. 35: 167-176.
8. Chien PJ, Sheu F and Lin HR (2007) Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chemistry*. 100: 1160-1164.
9. Chongchatuporn U, Ketsa S, Van G and Doorn W (2013) Chilling injury in mango (*Mangifera indica*) fruit peel: Relationship with ascorbic acid concentrations and antioxidant enzyme activities. *Postharvest Biology and Technology*. 86: 409-417.

بررسی تأثیر تیمارهای پس از برداشت واکس و متیل سالیسیلات بر فعالیت برخی آنزیم‌های مرتبط با سرمازدگی در ...

17. Mirdehghan SH and Rahemi M (2002) Reduction of chilling injury in the pomegranate (*Punica granatum*) fruit by intermittent warming. Iranian Journal of Agricultural Science. 33(1): 75-80.
18. Moraes Barros HR, Castro Ferreira TA and Genovese MI (2012) Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. Food Chemistry. 134: 1892-1898.
19. Qin QZ, Tian SP, Xu Y and Wang YK (2003) Enhancement of biocontrol effect of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. Physiological and Molecular Plant Pathology. 62: 147-154.
20. Reuck DK, Sivakumar D and Korsten L (2009) Effect of integrated application of chitosan coating and modified atmosphere packaging on overall quality retention in litchi cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture. 89(5): 915-920.
21. Soleimani Aghdam M, Motallebiazar A, Mostofi Y, Fattahi Moghaddam J and Ghasemnezhad M (2011) Methylsalicylate affects the quality of Hayward Kiwifruits during storage at low- temperature. Agricultural Science. 3(2): 149-156.
22. Sundar D, Chaitanya KV, Jutur PP and Reddy AR (2004) Low temperature-induced changes in antioxidative metabolism in rubber-producing shrub, guayule (*Parthenium argentatum* Gray). Plant Growth Regulators. 44: 175-181.
23. Tabatabaekoloor R (2012) Orange responses to storage conditions and polyethylene wrapped liner. Agricultural Engineer International: CIGR Journal. 14(2): 127-130.
24. Tajvar Y, Fotouhi Ghazvini R, Hamidoghli Y and Hassan Sajedi R (2011) Antioxidant Changes of Thomson Navel Orange (*Citrus sinensis*) on Three Rootstocks under Low Temperature Stress. Horticulture, Environment and Biotechnology. 52(6): 576-580.
25. Tareen MJ, Akhtar NA and Hafiz IA (2012) Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant enzyme activity and maintained quality of peach cv. 'Flordaking' fruit during storage. Scientia Horticulturae. 142: 221-228.
26. Tian SP, Li BQ and Xu Y (2005) Effect of O₂ and CO₂ concentrations on physiology and quality of litchi fruit in storage. Food Chemistry. 91: 659-663.
27. Wang L, Chen S, Kong W, Li S and Archbold D (2006) Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. Postharvest Biology and Technology. 41: 244-251.
28. Wang ShY and Gao H (2013) Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries *Fragaria x ananassa* Duch. LWT- Food Science and Technology. 52: 71-79.
29. Yousefpour Dokhanieha A, Soleimani Aghdam M, Rezapour Fard J and Hassanpour H (2013) Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. Scientia Horticulturae. 154: 31-36.
30. Yu Y, Zhang SH, Ren Y I, Li H, Zhang X and Di J (2012) Jujube preservation using chitosan film with nano-silicon dioxide. Journal of Food Engineering. 113: 408-414.
31. Zhang C and Tian S (2009) Crucial contribution of membrane lipids' unsaturation to acquisition of chilling-tolerance in peach fruit stored. Food Chemistry. 115(2):405-411.