

## بررسی سیستم آنتی اکسیدانی و پوسیدگی پس از برداشت در میوه های کیوی رقم هایوارد تیمار شده با بخار متیل سالیسیلات

مرتضی سلیمانی اقدم<sup>۱</sup>، یونس مستوفی<sup>۳\*</sup>، علیرضا مطلبی آذر<sup>۱</sup>، جواد فتاحی مقدم<sup>۴</sup>، محمود قاسم نژاد<sup>۵</sup> و پرویز ملک زاده<sup>۶</sup>

<sup>۱</sup> تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

<sup>۲</sup> اهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، باشگاه پژوهشگران جوان

<sup>۳</sup> کرج، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه علوم باغبانی

<sup>۴</sup> رامسر، مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور

<sup>۵</sup> رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی

<sup>۶</sup> ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیولوژی گیاهی

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۶

### چکیده

برای بررسی اثر بخار متیل سالیسیلات (MeSA) بر روی سیستم آنتی اکسیدانی و پوسیدگی پس از برداشت میوه کیوی رقم هایوارد، از پنج غلظت متیل سالیسیلات (۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸، ۰/۲۴ میلی مولار) و پنج ماه طول دوره انبارمانی میوه به صورت کرتها‌های خردشده در زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار استفاده شد. این تحقیق در مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور واقع در رامسر در سال ۸۶-۸۵ اجرا شد. در این تحقیق فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان آسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT)، میزان اسید آسکوربیک یا ویتامین C، میزان اتیلن تولیدی میوه ها و درصد پوسیدگی در پایان دوره انبارمانی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان ویتامین C، میزان اتیلن تولیدی میوه ها و درصد پوسیدگی در پایان دوره انبارمانی به میوه های تیمار شاهد دارای روند کاهشی کندتری بود. در میوه های تیمار شده با ۰/۲۴ میلی مولار متیل سالیسیلات فعالیت آنزیم آنتی اکسیدان APX و کاتالاز (CAT) از روند افزایشی کندتری در طول دوره انبارمانی میوه ها برخوردار بودند. تولید اتیلن در میوه های تیمار شده با متیل سالیسیلات کاهش یافته و کمترین میزان در میوه های تیمار شده با ۰/۲۴ میلی مولار مشاهده شد. میوه های تیمار شده با غلظت ۰/۲۴ میلی مولار متیل سالیسیلات در پایان دوره انبارمانی کمترین درصد پوسیدگی را در مقایسه با میوه های تیمار شاهد داشتند. در مجموع، تیمار میوه های کیوی با غلظت ۰/۲۴ میلی مولار متیل سالیسیلات بیشترین تأثیر را در کاهش پوسیدگی پس از برداشت و فعالیت آنزیمهای APX و CAT داشته است.

واژه های کلیدی: آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز، کیوی فروت، متیل سالیسیلات، ویتامین C، اتیلن

\* نویسنده مسئول، تلفن تماس: ۰۹۱۲۵۰۱۰۴۹۵ پست الکترونیکی: ymostofi@ut.ac.ir

### مقدمه

گونه های فعال اکسیژن (ROS) محصولات فرعی سلولی متفاوتی مانند زنجیره انتقال الکترون میتوکندریایی و متابولیسم طبیعی گیاهی می باشند که در مکانهای درون سیستم سیتوکروم P450 به وجود می آیند. سطوح ROS

(۳۰) جلوگیری می کند. پیشنهاد شده است که اسید سالیسیلیک می تواند از بیوستنز اتیلن از طریق جلوگیری از تبدیل ACC به اتیلن جلوگیری کند. لس لی و رومانی (۱۷) نشان دادند که اسید سالیسیلیک از بیان ژن ACC Synthase القاء شده در اثر زخم در میوه گوجه فرنگی جلوگیری می کند. عمل بازدارندگی اسید سالیسیلیک از فعالیت آنزیم ACC Oxidase در مسیر بیوستنز اتیلن و تبدیل ACC به اتیلن توسط فان و همکاران (۸) بیان شده است. کاربرد سالیسیلاتها به عنوان قارچ کشهای طبیعی رو به گسترش است چرا که کاربرد قارچ کشهای شیمیایی با دو مانع اصلی روبرو شده است. اولاً علاقه مصرف کنندگان به استفاده از محصولاتی که باقی مانده مواد شیمیایی در آنها وجود نداشته باشد، دوماً مقاومت عوامل بیماری زا به مواد شیمیایی مصنوعی سنتز شده در اثر کار برد مداوم آنها. بنابراین، این دسته از مواد می توانند جایگزین مناسبی برای مواد شیمیایی مضر سنتز شده باشند و نقطه امید بخشی در توانایی انسان برای تولید مواد طبیعی قارچ کش را نشان می دهند (۱). دینگ و همکاران (۹) نشان دادند که قرار گرفتن میوه های برداشت شده گوجه فرنگی در معرض بخار MeSA از وقوع پوسیدگیهای قارچی و سرمازدگی جلوگیری می کند. کاربرد قبل و پس از برداشت MeSA مقاومت به بیماریها و پوسیدگیهای قارچی را در میوه گیلاس انبار شده افزایش می دهد (۵۵)، (۳۷). پیش تیمار MeSA با تأثیر بر روی سیستم آنتی اکسیدانی و با افزایش سنتز پروتئینهای شوک حرارتی (HSP) موجب کاهش خسارت سرمازدگی و پوسیدگی به ترتیب به میزان ۴۴ و ۴۹ درصد نسبت به تیمار شاهد در میوه های هلو در طول دوره انبارمانی می شود (۴۱). القای HSP ها ارتباط نزدیکی با مقاومت اکتسابی محصولات به سرمازدگی و پوسیدگی دارد. علاوه بر اینکه استفاده از تیمار شوک حرارتی مثل استفاده از آب گرم باعث افزایش HSP ها می گردد، استفاده از سالیسیلات ها نیز تولید HSP ها را القاء می کند (۳۴). با

در شرایط *in vivo* بستگی به تعادل بین تولید ROS و خنثی کردن ROS ها دارد. سوپراکسید دیسموتاز (SOD, EC:1.15.1.1)، کاتالاز (CAT, EC:1.11.1.6)، آسکوربات پراکسیداز (APX, EC: 1.11.1.11)، دهیدروآسکوربات ردوکتاز (DHAR, EC: 1.8.5.1) و گلوکاتایون ردوکتاز (GR, EC: 1.6.4.2) از مهمترین آنزیمهای خنثی کننده ROS ها در گیاهان می باشند. تعادل میان فعالیت این آنزیمهای آنتی اکسیدانی در سلول در ثابت نگه داشتن سطح رادیکالهای سوپراکسید ( $O_2^{\cdot-}$ ) و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) ضروری می باشد. آنزیم APX با استفاده از آسکوربات به عنوان دهنده الکترون، تنظیم سطوح  $H_2O_2$  درون سلولی را به عهده دارد. کاتالاز نیز همانند APX مسئول تنظیم سطوح  $H_2O_2$  درون سلولی است که توسط آنزیم SOD که مسئول تبدیل  $O_2$  به  $H_2O_2$  می باشد تولید شده است. همچنین آنتی اکسیدانهای غیر آنزیمی مانند آسکوربات (AsA) و گلوکاتایون (GSH) نیز نقش بسیار مهمی در خنثی کردن ROS ها دارند (۱۲). متیل سالیسیلات (MeSA) یک مولکول سیگنالی در گیاهان می باشد که به عنوان یک شبه هورمون گیاهی نقش بسیار مهمی در تنظیم پاسخهای تنشی و رشد و نمو گیاهان بازی می کند. متیل سالیسیلات باعث کاهش فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدانی CAT و APX در گیاه شده و به دنبال آن افزایش تجمع مولکولهای  $H_2O_2$  صورت می گیرد. بالا رفتن غلظت  $H_2O_2$  می تواند به عنوان پیام بر ثانویه در فعال سازی پروتئینهایی با وزن مولکولی کم مرتبط با بیماری زایی (PR) عمل نموده و از طریق افزایش بیان و فعالیت آنزیمهای دفاعی گیاه مانند کیتیناز، گلوکوناز و فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) باعث افزایش مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری زا گردد که به این نوع مقاومت، مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR) می گویند (۲۷). تحقیقات نشان داد که اسید سالیسیلیک از تولید اتیلن در سلولهای کشت شده گلابی (۱۷) و صفحات بافتی میوه گلابی و سیب (۲۸) و کشت سوسپانسیون سلولهای هویج

آنزیمهای آنتی اکسیدان APX و CAT در پایان ماههای ۱، ۳ و ۵ و درصد پوسیدگی در پایان دوره انبارمانی محاسبه گردید.

**تعیین فعالیت آنزیمها:** برای اندازه گیری فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX) از روش جیمز و همکاران (۱۴) استفاده شد. برای این منظور به صورت یک ماه در میان (پایان ماههای ۱، ۳ و ۵) نمونه هایی از گوشت میوه هر تیمار برداشت شده و پس از منجمد کردن با نیتروژن مایع در یخچال با دمای منفی ۸۰ درجه سانتی گراد تا قبل از زمان اندازه گیری فعالیت آنزیمهای نگهداری شدند. میزان فعالیت این آنزیم از طریق اسپکتروفتومتری بر اساس کاهش جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر تعیین گردید. فعالیت آنزیم APX از طریق تغییر جذب در دقیقه برحسب واحد آنزیمی در میلی لیتر عصاره بیان شد. مقداری از فعالیت آنزیم APX که توانایی اکسید کردن یک میکرولیتر آسکوربات را در مدت یک دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد داشته باشد به عنوان یک واحد آنزیمی تعریف می شود.

اندازه گیری فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) به صورت یک ماه در میان (پایان ماههای ۱، ۳ و ۵) از نمونه های منجمد شده گوشت میوه در هر تیمار طبق روش چانس و مهلی (۶) انجام شد. یک واحد آنزیم کاتالاز به میزان آنزیمی گفته می شود که توانایی تجزیه یک مول پراکسید هیدروژن به ازای هر ۱۰ ثانیه در طول زمان ۳ دقیقه را داشته باشد که با اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم CAT از طریق تغییر جذب در دقیقه بر حسب واحد آنزیمی در میلی لیتر عصاره بیان شد.

**اندازه گیری میزان اتیلن:** پس از وزن کردن تعداد پنج عدد میوه از هر تیمار به مدت یک ساعت در داخل ظرف در بسته یک لیتری در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند. سپس مقدار یک سی سی از هوای بالای میوه ها برداشت شده و

توجه به ارزش غذایی بالای میوه کیوی از لحاظ دارا بودن سطوح بالای ویتامین C و ارزش اقتصادی و تجاری میوه کیوی رقم هایوارد، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر بخار متیل سالیسیلات بر روی فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان APX و CAT، میزان اسید آسکوربیک، تولید اتیلن و درصد پوسیدگی پس از برداشت انجام شد.

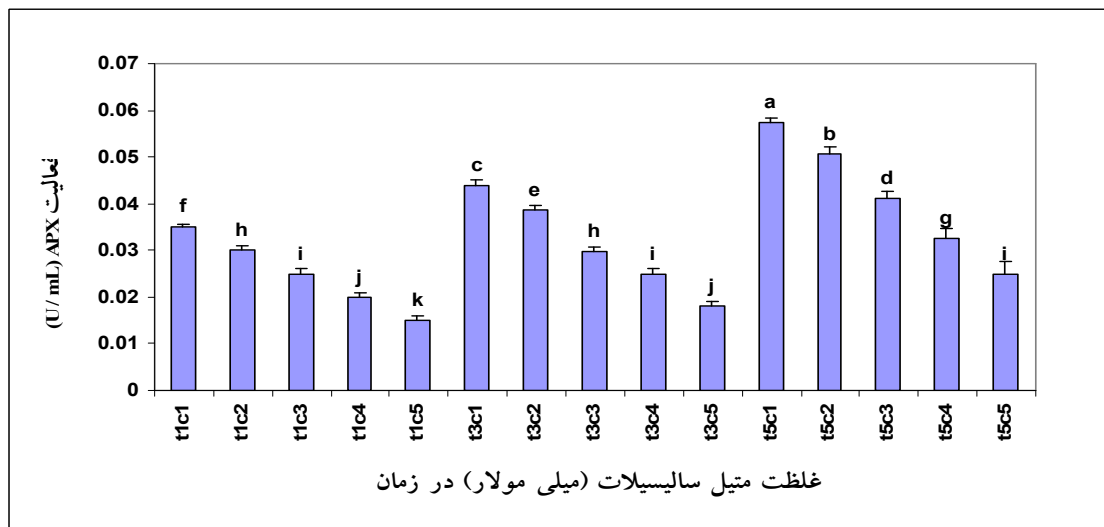
## مواد و روشها

میوه های کیوی رقم هایوارد مورد استفاده در این پژوهش از باغ کیوی فروت مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور واقع در رامسر برداشت شدند. درصد مواد جامد محلول (TSS) برابر ۹ به عنوان شاخص برداشت مد نظر قرار گرفت. میوه ها پس از برداشت به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت مؤسسه تحقیقات مرکبات منتقل و بر اساس یکنواختی در اندازه و عاری بودن از بیماری درجه بندی و در گروههای مختلف برای انجام تیمار توزیع گردیدند. این آزمایش به صورت کرتهاای خردشده در زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور، MeSA با پنج غلظت ۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸ و ۰/۲۴ میلی مولار و زمان با پنج سطح که همان پنج ماه طول دوره انبارمانی میوه می باشد و با سه تکرار انجام شد. در هر یک از تیمارها ۱۰۰ عدد میوه در داخل ظروف سی لیتری قرار گرفت و غلظتهای ۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸ و ۰/۲۴ میلی مولار MeSA بر روی کاغذ صافی ریخته شده و برای جلوگیری از تبخیر شدن در هوای آزاد بلافاصله در داخل ظروف قرار داده شدند. پس از مسدود کردن درب ظرفها، در جای تاریک با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۶ ساعت قرار داده شدند. پس از این مدت درب ظرفها را به منظور تهویه میوه ها باز کرده و سپس میوه ها به مدت ۵ ماه در سردخانه با دمای ۰/۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد نگهداری شدند. در پایان هر ماه دوره انبارمانی، ۱۵ عدد میوه از هر تیمار برداشت شده و میزان تولید اتیلن و میزان اسید آسکوربیک مورد بررسی قرار گرفت. فعالیت

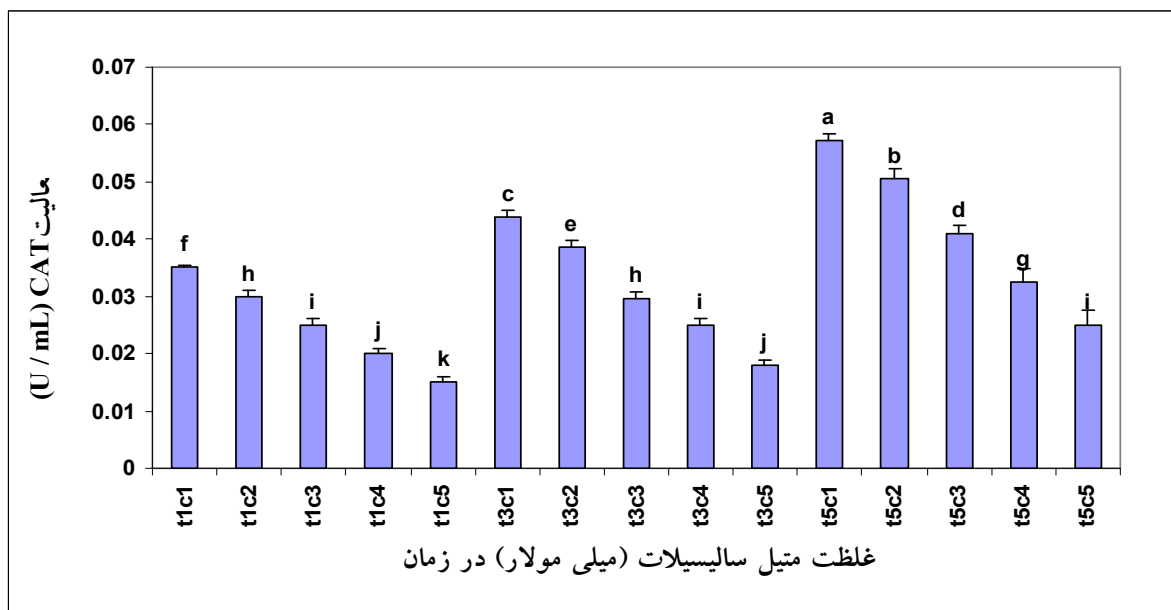
ایندوفنل تیترا می‌شود تا رنگ صورتی کم رنگ که به مدت ۱۰ ثانیه پایدار می‌ماند به دست آید. حجم ماده رنگی مورد استفاده در تیتراسیون برای محاسبه میزان ویتامین C استفاده شد (۲).

به داخل دستگاه کروماتوگرافی گازی (مدل شیمادزو) تزریق و میزان اتیلن محاسبه گردید (۲۳).

**محاسبه میزان ویتامین C:** روش تیتراسیون با دی کلروفنل ایندوفنل برای اندازه گیری ویتامین C میوه ها استفاده شد. در این روش عصاره میوه که با استفاده از متا فسفوریک ۳ و ۶ درصد آماده شده است با ماده رنگی دی کلروفنل



نمودار ۱- متوسط میزان فعالیت آنزیم اسکوربات پراکسیداز در غلظت‌های مختلف MeSA در زمان‌های متفاوت انبارمانی. t به ترتیب شماره نشان دهنده ماه اول، سوم و پنجم و C به ترتیب شماره نشان دهنده غلظت‌های متیل سالیسیلات (۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸ و ۰/۲۴ میلی مولار) می‌باشد.



نمودار ۲- متوسط میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در غلظت‌های مختلف MeSA در زمان‌های متفاوت انبارمانی. t به ترتیب شماره نشان دهنده ماه اول، سوم و پنجم و C به ترتیب شماره نشان دهنده غلظت‌های متیل سالیسیلات (۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸ و ۰/۲۴ میلی مولار) می‌باشد.

فعالیت آنزیمهای APX و CAT در طول دوره انبارمانی افزایش پیدا می کند که به دلیل افزایش متابولیسم اکسیداتیو در میوه و خاصیت آنتی اکسیدانی این آنزیمها می باشد (نمودار ۱ و ۲). تیمار بخار MeSA در همه زمانهای نمونه برداری باعث کاهش فعالیت آنزیمهای APX و CAT شده است که این بازدارندگی با افزایش غلظت MeSA افزایش پیدا کرده و بیشترین تأثیر را در غلظت ۰/۲۴ میلی مولار داشته است به عبارت دیگر در تمام زمانهای نمونه برداری میوه های تیمار شده با ۰/۲۴ میلی مولار از کمترین فعالیت آنزیمی برخوردار بودند.

**میزان ویتامین C میوه ها:** میزان ویتامین C میوه ها در طول دوره انبارمانی به طور معنی داری از غلظتهای بخار MeSA متأثر گردید. (p < ۰/۰۱). با افزایش غلظت MeSA روند کاهشی میزان ویتامین C میوه ها کندتر شده و میوه های تیمار شده با غلظتهای بالاتر MeSA دارای ویتامین C بیشتری بودند (نمودار ۳). به عبارت دیگر با اینکه میزان ویتامین C در میوه های تیمار شده با MeSA نیز همانند میوه های شاهد در طول دوره انبارمانی کاهش پیدا می کند ولی سرعت این کاهش کندتر بوده و میوه های تیمار شده در پایان هر ماه میزان ویتامین C بیشتری داشتند.

**درصد پوسیدگی در پایان دوره انبارمانی:** غلظتهای بخار MeSA در پایان دوره انبارمانی میوه تأثیر معنی داری بر روی درصد پوسیدگی میوه ها داشتند (p < ۰/۰۱) (نمودار ۴). درصد پوسیدگی در میوه های شاهد ۳۴ درصد می باشد در حالی که در میوه های تیمار شده با ۰/۲۴ میلی مولار MeSA به کمترین میزان خود یعنی ۶ درصد رسیده است.

**میزان اتیلن تولیدی میوه ها:** تأثیر غلظتهای بخار MeSA و زمان نگهداری در انبار میوه بر میزان اتیلن تولیدی میوه ها معنی دار بود (p < ۰/۰۱). با افزایش غلظت MeSA روند افزایشی میزان اتیلن تولیدی میوه ها کندتر شده و مقدار آن در میوه های تیمار شده با ۰/۲۴ میلی مولار کمترین مقدار را دارا بود (نمودار ۵).

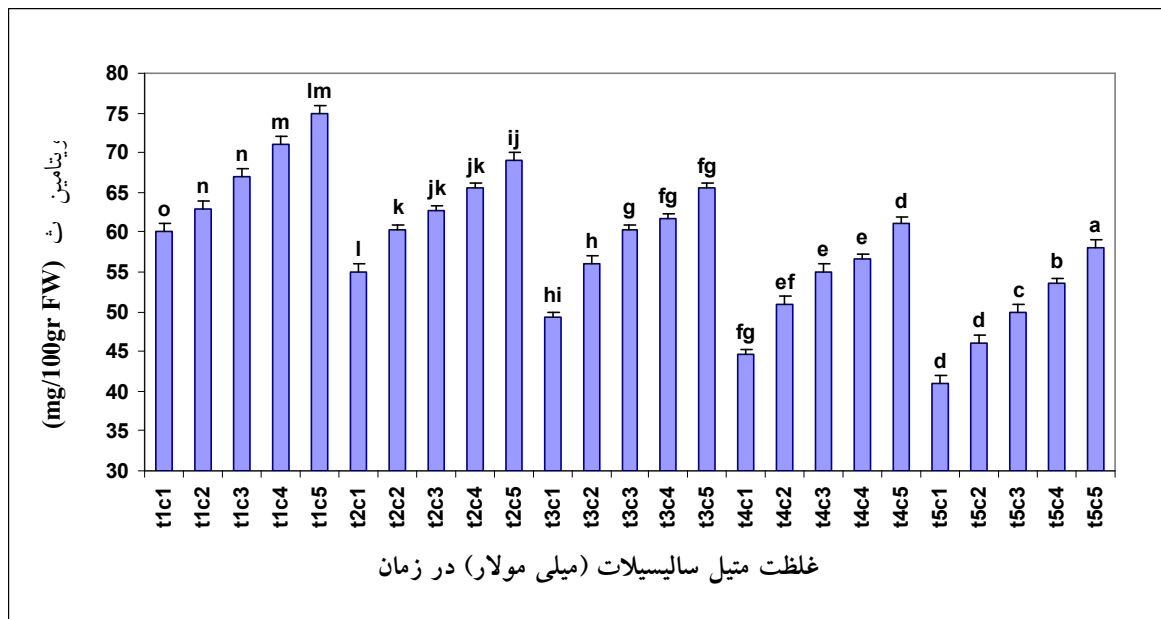
**تعیین شاخص پوسیدگی (DI درصد):** درصد پوسیدگی در پایان دوره انبارمانی محاسبه گردید. برای این منظور ابتدا میوه ها بر حسب درصد پوسیدگی سطح آنها به پنج گروه تقسیم شدند. سطح صفر، میوه هایی که علائم پوسیدگی را نشان ندادند، سطح یک، میوه هایی که زیر ۲۵ درصد از سطح آنها علائم پوسیدگی را نشان دادند، سطح دو، میوه هایی که ۲۵-۵۰ درصد از سطح آنها علائم پوسیدگی را نشان می دادند. سطح سه، میوه هایی که ۵۰-۷۵ درصد از سطح آنها علائم پوسیدگی را نشان می دادند و سطح چهار، میوه هایی که بالای ۷۵ درصد از سطح آنها علائم پوسیدگی را نشان دادند. سپس شاخص پوسیدگی (DI) به صورت درصد از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (۳۴).

$$DI = \frac{\text{تعداد میوه در هر سطح} \times \text{سطح DI}}{\text{تعداد کل میوه در تیمار مربوطه}}$$

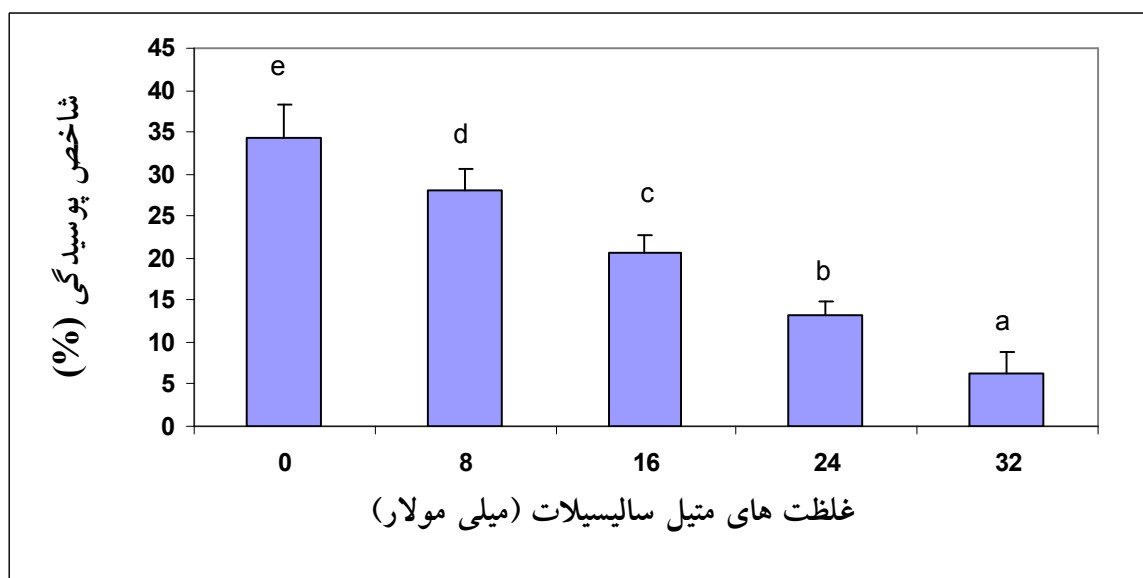
**تجزیه های آماری داده ها:** این آزمایش به صورت کرتهای خردشده در زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با فاکتور اصلی، غلظت در پنج سطح (۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸ و ۰/۲۴ میلی مولار) و فاکتور فرعی، زمان در پنج سطح (پنج ماه طول دوره انبارمانی میوه کیوی) با سه تکرار انجام گردید. تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۵ انجام شد. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید. تمامی نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شدند.

## نتایج

**فعالیت آنزیمهای آسکوربات پراکسیداز (APX) و کاتالاز (CAT):** بر اساس نتایج تجزیه واریانس، غلظتهای بخار MeSA و زمان انبارمانی و همچنین اثر متقابل بین غلظتهای بخار MeSA و زمان انبارمانی تأثیر معنی داری روی فعالیت آنزیمهای APX و CAT داشتند (p < ۰/۰۱).



نمودار ۳- متوسط میزان ویتامین ث میوه در غلظت‌های مختلف متیل سالیسیلات در زمان‌های متفاوت انبارمانی (p < 0.01). t به ترتیب شماره نشان دهنده ماه‌های انبارمانی و c به ترتیب شماره نشان دهنده غلظت‌های متیل سالیسیلات (0، 0.06، 0.12، 0.18، 0.24 میلی مولار) می باشد.



نمودار ۴- متوسط درصد پوسیدگی میوه در غلظت‌های مختلف MeSA در پایان دوره انبارمانی.

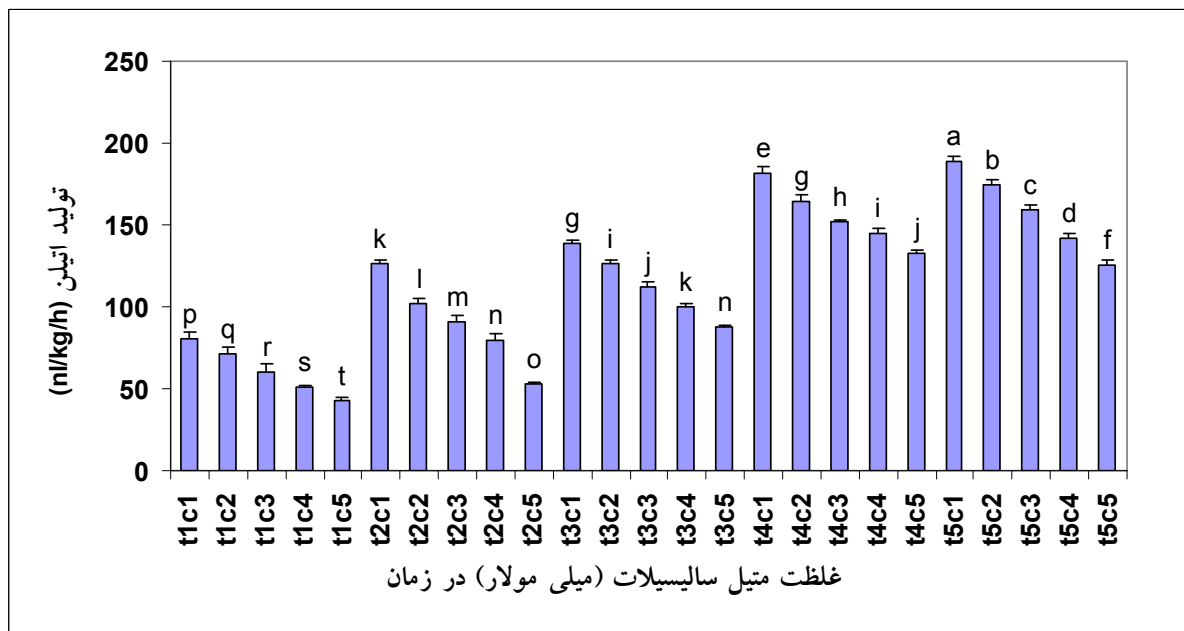
## بحث

کلیماکتریک میوه هایی هستند که در هنگام رسیدن افزایش ناگهانی در تولید اتیلن و میزان تنفس روی می دهد) صورت می گیرد می تواند موجب ایجاد خسارت به غشاهای زیستی گردد. برای جلوگیری از ایجاد خسارت توسط ROS ها گیاهان و یا میوه ها از استراتژی جالبی بهره می گیرند که عبارت است از توسعه سیستم آنتی

میزان ویتامین C محصولات باغی در طول دوره پس از برداشت کاهش پیدا می کند. افزایش گونه های فعال اکسیژن (ROS) در طی فرایند رسیدن میوه ها که در اثرافزایش متابولیسم اکسیداتیو در میوه ها به خصوص میوه های فرازگرا مانند میوه کیوی (میوه های فرازگرا یا

اکسیدان APX برای واکنش کاتالیزی خود از اسید آسکوربیک (ویتامین C) به عنوان کوفاکتور استفاده می کند (۲۳).

اکسیدانی که می تواند به صورت آنزیمی و یا غیر آنزیمی باشد (۳۱). آنتی اکسیدانها با دادن الکترون به ROS ها، خود اکسیده شده و قدرت اکسید کنندگی و ایجاد خسارت توسط ROS ها را از بین می برند. آنزیم آنتی



نمودار ۵- متوسط میزان اتیلن تولیدی میوه در غلظت‌های مختلف متیل سالیسیلات در زمان‌های متفاوت انبارمانی (۰/۰۱ <math>p</math>).  $t$  به ترتیب شماره نشان دهنده ماه‌های انبارمانی و C به ترتیب شماره نشان دهنده غلظت‌های متیل سالیسیلات (۰، ۰/۰۶، ۰/۱۲، ۰/۱۸، ۰/۲۴ میلی مولار) می باشد.

متابولیسم ROS ها و سیستم آنتی اکسیدانی میوه پرتقال رقم کارا کارا در دو دمای انبارمانی ۶ و ۲۰ درجه سانتی گراد توسط هانگ و همکاران (۱۳) به وسیله آنالیز محتوای مالون دی آلدئید (MDA) و پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ )، فعالیت آنزیمهای SOD، CAT، GR، DHAR و APX و ترکیبات آنتی اکسیدان غیر آنزیمی آسکوربیک اسید (ASA)، دهیدروآسکوربات (DHAsA)، گلوتاتیون (GSH) و گلوتاتیون اکسید شده (GSSG) در چرخه آسکوربات - گلوتاتیون بررسی شده و نتایج نشان داده است که میوه های شاهد محتوای پایینی از MDA و فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان در دمای ۶ درجه سانتی گراد و محتوای پایین از آسکوربات و گلوتاتیون در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد داشتند. در طول انبارمانی محتوای MDA و  $H_2O_2$  همراه با فعالیت آنزیمهای SOD و CAT در

اسید آسکوربیک (ASA) متابولیت ضروری و تنظیم کننده قدرتمند عملکرد سلولی بوده و نقش اساسی در دفاع آنتی اکسیدانی بازی می کند (۱۲). تیمار میوه های کیوی رقم هایوارد با MeSA نشان داد که میزان ویتامین C در میوه های تیمار شده با MeSA نیز همانند میوه های شاهد در طول دوره انبار مانی کاهش پیدا می کند ولی سرعت این کاهش کندتر بوده و میوه های تیمار شده در پایان هر ماه میزان ویتامین C بیشتری دارند. بالا بودن میزان ویتامین C در میوه های تیمار شده با MeSA ممکن است ناشی از تسهیل بیوستنز و یا کاهش تجزیه ویتامین C از طریق تجمع دهیدروآسکوربات (DHAsA) باشد. هر دوی این تغییرات منجر به تبدیل فرم احیاء شده ASA به فرم اکسید شده ASA و افزایش AsA همراه با کاهش نسبت AsA/DHAsA می گردند. تأثیر اسید سالیسیلیک بر روی

مقایسه با میوه های تیمار شاهد بالاتر بوده و با گزارشات کنورزرا و همکاران (۱۵) مبنی بر اینکه اسید سالیسیلیک مقاومت به سرما را به وسیله تحریک چرخه آسکوربات- گلوکاتایون القاء می کند مطابقت دارد. این نتایج نشان می دهد که انبار با دمای پایین و تیمار با اسید سالیسیلیک، پراکسیداسیون لیپید را به وسیله تنظیم سیستم آنتی اکسیدانی کاهش می دهد و روش مناسبی برای حفظ کیفیت میوه و فعالیت آنتی اکسیدانی مفید در طول دوره انبار مانی می باشد.

مولر (۲۰) پیشنهاد کرد که دفاع در برابر استرسهای اکسیداتیو به دو روش صورت می گیرد. روش اول سیستم ROS avoidance gene که شامل آنزیم اکسیداز جایگزین (AOX) می باشد و روش دوم سیستم ROS scavenger gene که شامل آنزیمهای آنتی اکسیدان شامل سوپر اکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT)، چرخه آسکوربات/ گلوکاتایون، سیستم گلوکاتایون پراکسیداز و سیستم تیورودوکسین می باشد. مسیر AOX گیاهی انشعابی از مسیر سیتوکرومی زنجیره انتقال الکترون در گیاهان می باشد که در شرایطی که مسیر سیتوکرومی با الکترون اشباع شده عمل می نماید و مانع احیای بیش از حد یوبی کوئینون و تولید ROS ها می گردد. آنزیم AOX در کاهش ROS ها به وسیله جلوگیری از انتقال الکترون از  $O_2$  و تولید  $O_2^-$  و بنابر این کاهش سطوح  $O_2$  در میتوکندری عمل می کند (۲۰، ۳۵، ۲۲). عمل آنتی اکسیدانی AOX در میتوکندری های جدا شده فلفل (۲۴، ۲۵) و در سلولهای سالم تنباکو (۱۸) گزارش شده است. القا AOX توسط دمای پایین (۳، ۳۲، ۲۶، ۴۰) و اسید سالیسیلیک (۱۱) گزارش شده است. پیشنهاد شده است که مسیر جایگزین تنفسی (فعالیت AOX) خسارت های سرمازدگی را بوسیله جلوگیری از تولید ROS ها در تعادل با سطوح آنتی اکسیدان ها و سیستم آنزیمی جاروب کنندگی ROS ها کاهش می دهد (۴۳، ۲۴). افزایش سطوح نسخه های AOX بوسیله تیمار متیل سالیسیلات و متیل

هر دو دمای انبارمانی افزایش می یابد. پیش تیمار اسید سالیسیلیک تجمع  $H_2O_2$  و فعالیت SOD را تشدید می کند اما تجمع MDA و فعالیت CAT را در هر دو دمای انبارمانی کاهش می دهد. فعالیت GR و DHAR و محتوای اسید آسکوربیک و گلوکاتایون در طول دوره انبارمانی کاهش می یابد اما تیمار اسید سالیسیلیک از این کاهش جلوگیری می کند. میوه های تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبتهای بالای ASA/DHAsA را در مقایسه با میوه های تیمار شاهد دارا بودند. تجمع کمتر  $H_2O_2$  و MDA در میوه های شاهد در دمای ۶ درجه سانتی گراد نسبت به ۲۰ درجه سانتی گراد پیشنهاد می کند که متابولیسم پوست پرتقال کارا در دمای پایین کمتر می باشد. پیش تیمار با اسید سالیسیلیک به طور معنی داری سطوح  $H_2O_2$  را افزایش می دهد. دو احتمال برای علت این افزایش پیشنهاد شده است. اولین پیشنهاد اینکه اسید سالیسیلیک فعالیت SOD را افزایش و تبدیل  $O_2^-$  به  $H_2O_2$  را تسهیل می نماید. دومین پیشنهاد اینکه اسید سالیسیلیک به گوشت میوه نفوذ کرده (میزان اسید سالیسیلیک در گوشت میوه های شاهد ۳۵۶۷-۳۳۱۵ نانوگرم در گرم گوشت میوه و در گوشت میوه های تیمار شده با اسید سالیسیلیک ۳۸۰۵-۳۷۴۳ نانوگرم در گرم گوشت میوه) و با یون آهن ترکیب شده و منجر به فعالسازی سیستم Haber-Weiss میشود که به طور منفی تجزیه  $H_2O_2$  را تحت تأثیر قرار می دهد (۱۲). پیشنهاد شده است که افزایش  $H_2O_2$  القاء شده در اثر اسید سالیسیلیک بر اثر جلوگیری از فعالیت CAT و APX می باشد. اخیراً وانگ و لی (۳۴) پیشنهاد کرده اند که اسید سالیسیلیک حرکت یون کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) از واکوئل و فضای بین سلولی به سیتوپلاسم را افزایش می دهد.  $Ca^{2+}$  می تواند چرخه آسکوربات-گلوکاتایون را القاء کرده و موجب افزایش GSH گردد. نسبت GSH/SSG مهمتر از میزان GSH تنها بوده و نقش بسیار مهمی در مقاومت سلول در برابر تنشهای اکسیداتیو دارد. در میوه پرتقال کارا کارای تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبت GSH/SSG در



پرتقال تیمار شده با ۲۴ میکرولیتر در لیتر متیل جاسمونات و متیل سالیسیلات به ترتیب پس از ۶ و ۸ هفته انبارمانی در دمای ۲ درجه سانتی گراد حداقل بود. مقاومت به بیماری در میوه های تیمار شده با اسید سالیسیلیک با دو مکانیسم می تواند القا شود.

**تأثیر مستقیم اسید سالیسیلیک بر عوامل بیماری زای قارچی:** یانو و تیان (۳۳) نشان دادند که غلظتهای بالاتر از ۲ میلی مولار اسید سالیسیلیک به طور مستقیم بر روی قارچ *Monilinia fructicola* اثر سمیت داشته و به طور معنی داری از رشد مسیلیوم و جوانه زنی اسپورهای قارچ در شرایط *in vivo* جلوگیری می کند. شدت بازدارندگی با افزایش در مدت زمان تیمار کاهش یافته و در ۷۲، ۹۶ ساعت پس از تیمار به ترتیب ۶۴/۱، ۶۲/۱ و ۶۰/۵ درصد بود. اسید سالیسیلیک به صورت وابسته به غلظت و با آستانه ۰.۱ از رشد مسیلیوم قارچ *Eutypa lata* در محیط کشت جامد و مایع جلوگیری می کند.

**تأثیر غیرمستقیم اسید سالیسیلیک در مقاومت به بیماریهای پس از برداشت:** پاسخهای فوق حساسیت (HR) موجب القای ژنهای دفاعی گیاه می گردد. تولیدات این ژنها نقش مهمی در بازدارندگی از رشد عوامل بیماری زا هم به صورت غیر مستقیم از طریق تقویت قابلیت های دفاعی دیواره سلولی میزبان و هم به طور مستقیم از طریق فراهم کردن آنزیمهای آنتی میکروبیال و متابولیت های ثانویه بازی می کنند (۱۹). تیمار قبل از برداشت گیلان با اسید سالیسیلیک فعالیت بتا ۱ و ۳-گلوکاناز، PAL و POD را در مراحل اولیه انبارمانی افزایش می دهد. فعالیت بتا ۱ و ۳-گلوکاناز و PAL در میوه های گیلان تیمار شده با اسید سالیسیلیک در دمای انبارمانی ۲۵ درجه سانتی گراد نسبت به صفر درجه سانتی گراد بیشتر بود (۳۳). زنگ و همکاران (۴۷) گزارش کردند که فعالیت PAL و بتا ۱ و ۳-گلوکاناز چهار روز پس از تیمار در میوه های انبه تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبت به میوه های تیمار شاهد بالاتر بود.

جاسمونات قبل از تیمار سرمای با کاهش علائم سرمازدگی در میوه لفل همراه می باشد (۱۱). پیش تیمار اسید سالیسیلیک با تأثیر روی سیستم آنتی اکسیدانی و افزایش سنتز پروتئینهای شوک دمایی (HSP) موجب کاهش خسارت سرمازدگی و پوسیدگی در میوه های هلو در طول دوره انبارمانی می شود (۳۳). القای پروتئینهای شوک دمایی (HSP) ارتباط نزدیکی با مقاومت اکتسابی محصولات به سرمازدگی و پوسیدگی دارد. علاوه بر اینکه تیمارهای فیزیکی مانند شوک دمایی ناشی از آب گرم باعث افزایش HSP ها می گردد، استفاده از سالیسیلاتها نیز تولید HSP ها را القاء می کند. تجمع HSP ها توسط تیمار MeJA و MeSA در میوه گوجه فرنگی توسط دینگ و همکاران (۹) گزارش شده است. تجمع HSP ها همبستگی مثبتی با مقاومت میوه گوجه فرنگی به سرمازدگی داشته است (۳۳).

اسید سالیسیلیک به عنوان یک ترکیب سیگنال دهنده کلیدی در فعال سازی پاسخهای دفاعی گیاه شناخته شده است. کاربرد بیرونی اسید سالیسیلیک گیاهان را در مقابل عوامل بیماری زا محافظت می کند و مقاومت اکتسابی سیستمیک (SAR) را در گونه های مختلف گیاهی فعال می نماید. گیاه در پاسخ به آلودگی اولیه رفته رفته نوعی قابلیت ایمنی عمومی را پیدا می کند که به SAR معروف است (۴). بابالار و همکاران (۳) نشان دادند که پوسیدگی پس از برداشت میوه توت فرنگی رقم سلوا با کاربرد اسید سالیسیلیک کاهش می یابد. کاهش در میزان پوسیدگی وابسته به غلظت اسید سالیسیلیک بوده و بیشترین تأثیر را در غلظت ۲ میلی مولار داشته است. اخیراً گزارش شده است که متیل سالیسیلات (MeSA) می تواند به عنوان یک سیگنال هوایی عمل کرده و مقاومت به بیماریها را از طریق افزایش بیان ژنهای درگیر در مقاومت در گیاهان مجاور و در قسمتهای سالم گیاه آسیب دیده توسط عوامل بیماری زا تقویت نماید (۳۰). قاسم نژاد و همکاران (۱) نشان دادند که میزان سرمازدگی و پوسیدگی میوه های گریپ فروت و

بافتهای گیاهی گردد. این افزایش سطوح  $H_2O_2$  می‌تواند به عنوان یک سیگنال و پیک ثانویه منجر به واکنش HR و فعال سازی ژنهای درگیر در مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا (SAR) گردد (۱۶). گیاهان تراریخت با آنزیم سالیسیلات هیدروکسیلاز دلیل قانع کننده ای برای تأیید نقش اسید سالیسیلیک در مقاومت به بیماریها می‌باشند. در گیاهان آراییدوپسیس تراریخته با ژن *nahG* که آنزیم سالیسیلات هیدروکسیلاز را کد می‌کند، قدرت ایجاد مقاومت اکتسابی سیستمیک وجود ندارد. آنزیم سالیسیلات هیدروکسیلاز مسئول تبدیل اسید سالیسیلیک به کاتکول و کاهش سطوح درونی اسید سالیسیلیک می‌باشد (۵). نتیجه نهایی در مورد اثر سالیسیلاتها بر روی بیماریهای پس از برداشت اینکه اسید سالیسیلیک در غلظتهای غیرسمی بیماریهای پس از برداشت در میوه‌ها را کاهش می‌دهد. اسید سالیسیلیک مقاومت به بیماریها را احتمالاً از طریق افزایش فعالیت PPO، PAL و بتا و ۳-گلوکاناز و افزایش سطوح  $H_2O_2$  از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم CAT یا افزایش تولید  $O_2^-$  افزایش می‌دهد.

اتیلن هورمون گیاهی گازی شکل می‌باشد که از اسید آمینه گوگرد دار پنج کربنه متیونین ساخته می‌شود. اولین مرحله در بیوسنتز اتیلن تبدیل متیونین به S-آدنوزیل متیونین (SAM) می‌باشد که توسط آنزیم SAM سنتتاز و با مصرف یک مولکول ATP انجام می‌شود. در مرحله بعدی SAM توسط آنزیم ACC سنتتاز (ACS) تبدیل به ACC می‌شود. آنزیم ACS علاوه بر تولید ACC که پیش ساز بلاواسطه اتیلن می‌باشد مسئول تولید ۵-متیل تیوآدنوزیل (MTA) نیز می‌باشد که در چرخه یانگ (Yang Cycle) دوباره تبدیل به اتیلن می‌شود. چرخه یانگ مسئول حفظ سطوح مورد نیاز متیونین و گوگرد در مواقعی است که تولید اتیلن با شدت زیاد انجام می‌شود. مرحله نهایی در بیوسنتز اتیلن اکسیداسیون ACC و تولید اتیلن می‌باشد که توسط آنزیم ACC اکسیداز (ACO) کاتالیز می‌شود (۲۱). گزارش شده است که اسید سالیسیلیک و

سطوح پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) و یا سرعت تولید رادیکال سوپراکسید ( $O_2^-$ ) هشت روز پس از تیمار با اسید سالیسیلیک در میوه‌های تیمار شده نسبت به میوه‌های تیمار شاهد بالاتر بود. آنها پیشنهاد کردند که PAL و بتا و ۳-گلوکاناز همانند  $H_2O_2$  یا  $O_2^-$  ممکن است در افزایش مقاومت به بیماریهای پس از برداشت در انبه دخیل باشند. تیمار با اسید سالیسیلیک فعالیت آنزیمهای متابولیز کننده  $H_2O_2$  را در میوه‌های برداشت شده گیلاس تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مقایسه با میوه‌های شاهد بدون آلوده سازی با عامل بیماری‌زا، تیمار اسید سالیسیلیک به طور معنی داری از فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) جلوگیری و فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و POD را تحریک می‌کند. پس از آلوده سازی با *P. expansum*، فعالیت CAT کاهش و فعالیت SOD در هردو میوه‌های تیمار شده با اسید سالیسیلیک افزایش می‌یابد. تیمار اسید سالیسیلیک بیان آیزوآنزیمهای POD را تغییر می‌دهد که نشان می‌دهد تیمار اسید سالیسیلیک به طور مستقیم یا غیر مستقیم فعالیت آنزیمهای آنتی اکسیدان را تغییر می‌دهد (۷). کاهش فعالیت آنزیمهای CAT و POD در میوه موز تیمار شده با اسید سالیسیلیک در طول دوره پس از برداشت توسط سریواستا و همکاران (۳۱) نیز گزارش شده است. SOD دیسموتاسیون  $O_2^-$  به  $H_2O_2$  را کاتالیز می‌کند، CAT تجزیه  $H_2O_2$  به آب و اکسیژن را برعهده دارد و POD تجزیه  $H_2O_2$  به وسیله اکسیداسیون ترکیبات فنلی را برعهده دارد. این آنزیمها وظیفه محافظت سلول گیاهی در مقابل خسارات اکسیداتیو را بر عهده دارند (۸، ۳۷). تعادل میان فعالیت آنزیمهای SOD و POD و همچنین CAT در سلول برای تعیین سطوح پایه  $O_2^-$  و  $H_2O_2$  ضروری می‌باشد. برهمکنش اسید سالیسیلیک با آنزیمهای آنتی اکسیدان منجر به تجمع سطوح پایین  $H_2O_2$  در میوه‌های گیلاس و فعال سازی آنزیمهای دفاعی و القاء مقاومت در مقابل بیماریهای پس از برداشت می‌گردد (۷). تیمار اسید سالیسیلیک می‌تواند باعث تجمع سطوح بالای  $H_2O_2$  در

ACO شده و بیوستنز اتیلن را کاهش می دهد و شروع نقطه اوج فرازگرایی را به تأخیر می اندازد. دینگ و وانگ (۱۰) نشان دادند که فرآیند رسیدن در گوجه فرنگی در مرحله سبز بالغ (MG) به وسیله ۰/۱ میلی مولار متیل سالیسیلات و در طول مرحله شکستن رنگ (BR) با ۰/۱ میلی مولار متیل سالیسیلات تقویت می شود در حالی که در مرحله تغییر رنگ میوه حتی ۰/۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک از فرآیند رسیدن جلوگیری می کند. غلظت بالای اسید سالیسیلیک (۰/۵ میلی مولار) از توسعه رنگ قرمز، تولید اتیلن و افزایش تنفس در تمام مراحل بلوغ جلوگیری می کند. آنها نتیجه گرفتند که افزایش در تولید اتیلن در نتیجه از کار انداختن تنظیم پس خوردی منفی ژن LeACS6 و افزایش بیان LeACS4 و LeACS2 از طریق پس خوردی مثبت متاثر می شود.

### نتیجه گیری نهایی

نتایج به دست آمده از این پژوهش رابطه احتمالی میان سیستم آنتی اکسیدانی میوه و پوسیدگی پس از برداشت آن را پیشنهاد می کند به طوری که ترکیب سیگنالی متیل سالیسیلات با تأثیر بر روی سیستم آنتی اکسیدانی موجب کاهش پوسیدگی پس از برداشت میوه کیوی شده است. در مجموع تیمار بخار متیل سالیسیلات راهکار بسیار مفید و مناسبی برای افزایش عمر پس از برداشت و حفظ ارزش تغذیه ای و کیفیت میوه در طول دوره انبار مانی می باشد.

**تشکر و قدردانی:** از معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز و مدیریت و اعضای هیات علمی مؤسسه تحقیقات مرکبات کشور - رامسر به خاطر مساعدتهایشان در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می گردد.

استیل سالیسیلیک اسید (ASA) از تولید اتیلن در گلابی (۲۰، ۲۱)، کشت سوسپانسیون سلولی هویج (۲۹)، صفحات بافت میوه گلابی و هیپوکوتیل لوبیا (۳۶) جلوگیری می کند که این اثر به نقش آنتاگونیستی اسید سالیسیلیک در برابر اتیلن نسبت داده شده است (۳۸). اسید سالیسیلیک از تجمع نسخه های آنزیم ACS القاء شده در اثر زخم و همچنین از فعالیت این آنزیم در میوه گوجه فرنگی ممانعت می کند (۲۳). فان و همکاران (۱۱) تأثیر بازدارندگی اسید سالیسیلیک بر فعالیت آنزیم ACO را در دیسک میوه سیب نشان دادند. نشان داده شده است که اسید سالیسیلیک از فعالیت آنزیم لیپوکسیژناز (LOX) در دیسک میوه کیوی جلوگیری می کند و تولید رادیکالهای آزاد و اتیلن را کاهش می دهد (۴۲). شواهدی مبنی بر وجود رابطه مثبت میان فعالیت LOX و بیوستنز اتیلن در میوه سیب وجود دارد (۲۳). نشان داده شده است که رادیکالهای آزاد تولید شده در نتیجه فعالیت LOX نقش تنظیمی در بیوستنز اتیلن (۱۶، ۴۴) و رسیدن و نرم شدن میوه های فرازگرای برداشت شده سیب و گوجه فرنگی (۳۹) بازی می کنند. زانگ و همکاران (۴۶) نشان دادند که در خلال رسیدن میوه های کیوی رقم برونو در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد میزان اسید سالیسیلیک درون میوه کاهش و میزان فعالیت آنزیم LOX افزایش می یابد که این تغییرات همراه با اوج فرازگرایی میوه می باشد. اما در میوه های انبار شده در دمای صفر درجه سانتی گراد سرعت کاهش میزان اسید سالیسیلیک کاهش می یابد. میوه های تیمار شده با استیل سالیسیلیک اسید نسبت به میوه های شاهد دارای میزان اسید سالیسیلیک درونی بیشتری بودند. تیمار استیل سالیسیلیک اسید باعث کاهش فعالیت LOX و تولید رادیکالهای آزاد و همچنین فعالیت آنزیمهای ACS و

### منابع

۱. قاسم نژاد، م. ۱۳۸۴. واکنش ارقام مختلف میوه مرکبات به دمای پایین انبار. رساله دکتری رشته علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

2. AOAC. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. Williams, S. (Ed.), 14<sup>th</sup>. Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 844-845.
3. Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., 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.
4. Brigitte, M.M., and Mètraux, J.P. 1998 . Salicylic acid and systemic acquired resistance to pathogen attack. Annals of Botany: 82: 535–540.
5. Buchanan, B.B. Gruissem, W. Jones, R.L. 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. I.K. International Pvt. Ltd. P: 1367.
6. Chance, B., Maehly, A.C. 1995. The assay of catalases and peroxidases. Methods Biochem. Anal. 1, 357–424.
7. Chan, Z. and Tian, S. 2006. Induction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> metabolizing enzyme and total protein synthesis by antagonistic yeast and salicylic acid in harvested sweet cherry fruit. Post. Biol. Tech. 39: 314-320.
8. De Gara, L., de Pinto, M.C and Tommasi, F. 2003. The antioxidant systems vis-à-vis reactive oxygen species during plant–pathogen interaction. Plant Physiology and Biochemistry. 41:863–870.
9. Ding, C.K., Wang, C.Y., Gross, K.C., and Smith, D.L. 2002. Jasmonate and salicylate induce the expression of pathogenesis-related protein genes and increase resistance to chilling injury in tomato fruit. Planta 214: 895–901.
10. Ding, C.K., & Wang, C.Y. 2003. The dual effects of methyl salicylate on ripening and expression of ethylene biosynthetic genes in tomato fruit. Plant Science, 164, 589-596.
11. Fan, H., and He. C. S. 1998. Inhibition of ethylene generation of post-harvest apple fruit by salicylic acid. Plant Physiol. 34, p: 248-250.
12. Fung, R. W. M., Wang, C. Y., Smith, D. L., Gross, K. C. and Tian, M. 2004. MeSA and MeJA increase steady–state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers. Plant science. 166: 711-719.
13. Hung, R. H., Liu, J. H., Lu, Y. M. and Xia, R. X. 2007. Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of Cara Cara navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. Post. Biol. Tech. 47: 168-175.
14. Ita, Y., Saisho, D., Nkazono, M., Trutsumi, N., Hirai, A. 1997. Transcriot levels of tandem arranged alternative Oxidase genes in rice are increased by low temperature. Genome Analyze, 203: 121-129.
15. Jimenez, A., Hernandez, J.A., del Rio, L.A. and Sevilla, F. 1997. Evidence for the presence of the ascorbate-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves. Plant Physiol. 114: 275-284.
16. Kacperska, A. and Kubacka-Zebalska, M. 1989. Formation of stress ethylene depends both on ACC synthesis and on the activity of free radical-generating system. . Physiol. Plant 77: 231-237.
17. Khan, N. A. 2006. Ethylene action in plants. Springer. p: 205.
18. Knorere, O.C., Lederera, B., Durnerb, J., Bogera, P. 1999. Antioxidative defense activation in soybean cells. Physiol Plant. 107:294-301.
19. Lamb, C., and Dixon, R.A. 1997. The oxidative burst in plant disease resistance. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 48:251–275.
20. Leslie, C.A. and Romani, R.J. 1988. Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid, Plant Physiol. 88: 833–837.
21. Leslie, C. A. and Romani, R. J. 1986. Salicylic acid: a new inhibitor of ethylene biosynthesis. Plant Cell Rep. 5: 144-146.
22. Li, N., Parsons, B. L., Liu, D., Matto, A. K. 1992. Accumulation of wound inducible ACC synthase transcript in tomato fruit in inhibited by salicylic acid and polyamines. Plant Mol. Biol. 18: 477-487.
23. Maxwell, D.P., Wang, Y., McIntoch, L. 1999. The alternative Oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cell. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96:8271-8276.
24. Mauch-Mani, B., and Slusarenko, A.J. 1996. Production of salicylic acid precursors is a major function of phenylalanine ammonia-lyase in the resistance of Arabidopsis to *Peronospora parasitica*. The Plant Cell. 8:203–212.
25. Moller, I.M. 2001. Plant mitochondria and oxidative stress: electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen

- species, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52: 561-591.
26. Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends Plant Sci.* 7:405-410.
  27. Nishikawa, F. Kato, M. Hyodo, H. Ikoma, Y. Sugiura, M. and Yano, M. 2003. Ascorbate metabolism in harvested broccoli. *Journal of Experimental Botany*, 54 (392): 2439-2448.
  28. Marcelle, R. D. 1991. Relationship between mineral content, lipoxygenase activity, levels of I-aminocyclopropane-I-carboxylic acid and ethylene emission in apple fruit flesh disks during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 1: 101-109.
  29. Purvis, A. C., Shewfelt, R. L., Gegogaine, J.W. 1995. Superoxide production by mitochondria isolated from green bell pepper fruit. *Physiol Plant.* 94:743-749.
  30. Purvis, A. C. 1995. Role of alternative oxidase in limiting superoxide production by plant mitochondria. *Physiol.Plant.*100:165-170.
  31. Qin, Q.Z., Tian, S.P., Xu, Y., and Wan, Y.K. 2003. Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. *Physiological and Molecular Plant Pathology.* 62:147-154.
  32. Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* 43: 439 63.
  33. Ribas-Carbo, M., Aroca, R., Gonzales-Meler, M.A., Irigoyen, J.J., Sanchez- Diaz, M. 2000. The electron partitioning between the cytochrome and alternative respiratory pathways during chilling recovery in two cultivars of maize differing chilling sensitivity. *Plant.Physiol.*122:199-204.
  34. Romani, R.J., Hess, B.M. and Leslie, C.A. 1989. Salicylic acid inhibition of ethylene production by apple discs and other plant tissues, *J. Plant Growth Regul.* 8:63-69.
  35. Roustan, J.P., Latche, A. and Fallot, J. 1990. Inhibition of ethylene production and stimulation of carrot somatic embryogenesis by salicylic acid, *Biol. Plant.*32:273-276.
  36. Salunkhe, D.K., Bolin, H.R and Reddy, N.R. 1991. Postharvest pathology. In: *Storage, processing and nutritional quality of fruits and vegetables.* Vol. I. Fresh fruits and vegetables. CRC Press: 217-236.
  37. Spinardi, A. M. 2005. Effect of harvest date and storage on antioxidant systems in pears. *Acta Horticulturae* 682:655-662.
  38. Srivastava, M. K., Dwivedi, U. N. 2000. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci.* 158: 87-96.
  39. Todd, J. F., Paliyath, G. and Thompson, J. A.1990. Characteristics of a membrane-associated lipoxygenase in tomato fruit. *Plant physiol.* 94: 1225-1232.
  40. Vanlerberghe, G.C., McIntosh, L. 1992. Lower growth temperature increases alternative pathway capacity and alternative Oxidase protein in tobacco. *Plant Physiol.*100: 115-119
  41. 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 Biol.Technol.*41:244-251.
  42. Wang, L.J., & Li, S.H.H., 2006. Salicylic acid-induced heat or cold tolerance in relation to Ca<sup>2+</sup> homeostasis and antioxidant systems in young grape plants. *Plant Science*, 170, 685-694.
  43. Wagner, A.M., Krab, K. 1995. The alternative respiration pathway in plants: role and regulation. *Physiol. Plant.*95:318-325
  44. Xu, W. P., Chen, K. S. Li, I. and Zhang, S. L. 2000. Regulation of lipoxygenase on jasmonic acid biosynthesis in ripening kiwifruit. *Acta phytophysiol. Since.*26: 507- 514.
  45. Yao, H. and S. Tiana. 2005. Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. *Postharvest Biol.Technol.*35:253-262.
  46. Zhang, Y., K. Chen., S. Zhang and I. Ferguson. 2003. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit, *Postharvest Biol. Tech.* 28: 67-74.
  47. Zeng, K.F., Cao, J.K., and Jiang, W.B. 2006. Enhancing disease resistance in harvested mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Matisu') fruit by salicylic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 86:694-698.

## Evaluation of Antioxidant System and Postharvest Decay of Hayward Kiwifruits Treated with MeSA

Aghdam M.S.<sup>1,2</sup>, Mostofi Y.<sup>3</sup>, Motallebiazar A.<sup>1</sup>, Moghaddam J.F.<sup>4</sup>, Ghasemneghad M.<sup>5</sup>, and Malekzade P.<sup>6,2</sup>

<sup>1</sup> Horticultural Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, I.R. of IRAN

<sup>2</sup> Iranian Young Researchers Club, Islamic Azad University, Ahar, I.R. of IRAN

<sup>3</sup> Horticultural Science Dept., University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, I.R. of IRAN

<sup>4</sup>The Citrus Research Institute, Ramsar, I.R. of IRAN

<sup>5</sup> Horticultural Science Dept., Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, I.R. of IRAN

<sup>6</sup> Plant Physiology Dept., Faculty of Plant Science, University of Urmia, Urmia, I.R. of IRAN

### Abstract

To evaluate the effects of methyl salicylate vapor on Catalase (CAT) and Ascorbate Peroxidase (APX) activity, Vitamin C content, ethylene production and decay index of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv Hayward) an experiment was conducted by five methyl salicylate concentrations (0, 0/06, 0/12, 0/18 and 0/24 mM) through five months shelf life period in 0.5 C°. The results of this experiment show that 0/24 mM methyl salicylate treated fruits had lowest decay percent in compare with control at the end of the shelf life period. The methyl salicylate vapor treatments in all of the exempling times caused alleviation in the activity of CAT and APX antioxidant enzymes and ethylene production, this inhibition effect was increased by induction in methyl salicylate concentration and the highest impact of methyl salicylate was assayed in 0/24 mM. Use of 0/24 mM MeSA led to slower reduction trend in Vitamin C content. In conclusion, 0/24 mM methyl salicylate treated fruits have had greatest effects on decay control, CAT and APX activities, ethylene production and Vitamin C content.

**Keywords:** Ascorbate peroxidase, Catalase, Kiwifruit, Methyl Salicylate, Vitamin C, Ethylene