

کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی با تیمار براسینواستروئید

مرتضی سلیمانی اقدم^{۱*} و محمدرضا اصغری^۲

^۱ کرج، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز

^۲ ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۱۱

چکیده

نگهداری میوه گوجه‌فرنگی در دمای زیر ۱۲ درجه سانتی‌گراد منجر به ایجاد آسیب سرمازدگی و کاهش کیفیت و عمر انبارمانی میوه می‌گردد. در این تحقیق تأثیر تیمار پس از برداشت براسینواستروئید به‌عنوان یک براسینواستروئید فعال در غلظت‌های صفر (شاهد)، ۳ و ۶ میکرومولار بر روی شاخص سرمازدگی، نشت یونی، میزان مالون دی‌آلدئید، پرولین و فنل کل و فعالیت آنزیم‌های فسفولیپاز D (PLD)، لیپوکسیژناز (LOX) و فنیل آلانین آمونیلایز (PAL) میوه گوجه‌فرنگی در طول سه هفته نگهداری در دمای سرمازدگی یک درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که براسینواستروئید در غلظت شش میکرومولار بیشترین تأثیر را در کاهش میزان سرمازدگی، نشت یونی و میزان مالون دی‌آلدئید و همچنین افزایش میزان پرولین میوه‌ها داشته است. میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با براسینواستروئید در غلظت شش میکرومولار بیشترین میزان فعالیت آنزیم PAL و محتوای فنل کل را نشان دادند. فعالیت آنزیم‌های PLD و LOX در طول دوره نگهداری در دمای سرمازدگی افزایش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده افزایش تخریب غشای سلولی میوه‌ها می‌باشد و تیمار براسینواستروئید به طور معنی‌داری باعث کاهش فعالیت این آنزیم‌ها در طول دوره نگهداری در دمای سرمازدگی شده و منجر به افزایش انسجام غشای سلولی می‌گردد. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که تیمار براسینواستروئید با افزایش انسجام غشایی از طریق کاهش فعالیت آنزیم‌های PLD و LOX و کاهش میزان مالون دی‌آلدئید و نشت یونی و همچنین از طریق فعال سازی مسیر فنیل پروپانویید با افزایش فعالیت آنزیم PAL که منجر به افزایش میزان و تجمع فنل کل در میوه‌های گوجه‌فرنگی می‌گردد موجب افزایش مقاومت به سرمازدگی پس از برداشت گردید.

واژه‌های کلیدی: براسینواستروئید، سرمازدگی، گوجه‌فرنگی، فسفولیپاز D، لیپوکسیژناز، فنیل آلانین آمونیلایز

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۷۵۹۸۷۹۵، پست الکترونیکی: aghdamm@ut.ac.ir

مقدمه

در سلول بوده و اولین مکان برای توسعه آسیب سرمازدگی می‌باشد. غشاهای سلولی در بافت‌های محصولات باغبانی دارای آسیب سرمازدگی تحت انتقال فاز از مایع کریستالی انعطاف‌پذیر به ساختار ژلی جامد قرار می‌گیرند (۲۵). فسفولیپاز D (PLD) مهمترین آنزیم در هیدرولیز فسفولیپیدهای غشا می‌باشد (۳۴). لیپوکسیژناز (LOX) پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی را افزایش داده و سیالیت غشا را تغییر می‌دهد و تأثیر مستقیم بر انسجام و

یکی از مشکلات اصلی محصولات گرمسیری و نیمه گرمسیری در دوره پس از برداشت حساسیت آنها به دمای پایین می‌باشد که منجر به ایجاد آسیب سرمازدگی می‌شود. آسیب سرمازدگی انبارمانی این محصولات را محدود کرده و منجر به کاهش معنی‌داری در کیفیت محصول می‌گردد. میوه گوجه‌فرنگی حساسیت بالایی به سرمازدگی داشته و نگهداری در دمای زیر ۱۲ درجه سانتی‌گراد موجب ایجاد سرمازدگی می‌شود (۵۶). غشای سلولی اولین حسگر سرما

مواد و روشها

تهیه میوه‌ها و تیمار با براسینولید: میوه‌های گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی رقم نیوتن که در دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد روز و ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد شب و رطوبت ۵۵ درصد رشد کرده بودند در مرحله سبز بالغ برداشت شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند. میوه‌های دارای آسیب فیزیکی حذف گردید و میوه‌های یکنواخت از لحاظ شکل، رنگ و اندازه برای انجام تیمار انتخاب گردیدند. تعداد ۲۷۰ عدد میوه انتخاب و به سه دسته مجزای نودتایی در سه تکرار که هر کدام ۳۰ میوه داشتند تقسیم و تیمارهای شاهد و براسینولید در غلظت‌های ۳ و ۶ میکرومولار انجام شد. برای هر تیمار و تکرار میوه‌ها داخل محلول تازه با غلظت‌های ۳ و ۶ میکرومولار از براسینولید به مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. میوه‌ها قبل از نگهداری در انبار ۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد به مدت سه ساعت در دمای آزمایشگاه هوادهی و خشک شدند. پس از یک، دو و سه هفته تعداد ۱۰ میوه از هر تیمار و تکرار به صورت تصادفی انتخاب و ۵ عدد میوه برای ارزیابی شاخص سرمازدگی ۳ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و ۵ عدد میوه دیگر برای انجام آنالیزهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

فاکتورهای مورد بررسی

شاخص سرمازدگی: برای اندازه‌گیری شاخص سرمازدگی در هر زمان نمونه‌برداری ۵ میوه به صورت تصادفی از هر تیمار و تکرار انتخاب گردیده و به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاه به مدت ۳ روز منتقل گردیدند تا میزان شاخص سرمازدگی میوه بر اساس میزان فرورفتگی سطحی میوه که مهمترین علامت سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی می‌باشد (۱۰) مورد ارزیابی قرار گیرد. شاخص سرمازدگی بر اساس میزان سطحی از میوه که فرورفتگی سطحی را نشان داده مورد نمره‌دهی قرار گرفت،

نفوذپذیری غشای سلولی دارد (۴۷). پیشنهاد شده است که LOX و PLD آغازگر تجزیه غشای سلولی در طول پیری و تنش سرمازدگی می‌باشند (۳۲ و ۳۳). افزایش در فعالیت LOX و PLD در پاسخ به تنش سرمازدگی در ذرت نیز گزارش شده است (۳۶). کاهش فعالیت آنزیمی یا سطح بیان ژن PLD برای حفظ کیفیت و کاهش سرمازدگی پس از برداشت محصولات باغبانی از طریق افزایش انسجام غشای سلولی به‌عنوان یک تکنولوژی نوظهور در دنیا در حال گسترش می‌باشد.

براسینواستروئیدها، براسینولید (BL) و کاستاسترون (CS) به‌عنوان هورمونهای گیاهی استروئیدی نقش بسیار مهمی در رشد و نمو گیاهی مانند رشد لوله‌گرده، رشد طولی ساقه، اپیناستی برگ، بیوسنتز اتیلن و نمو و رسیدن میوه بازی می‌کنند. براسینواستروئیدها همچنین در پاسخ گیاهان به تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند سرما (۵۲ و ۱۳)، شوری (۳۱)، گرما (۳۰) و فلزات سنگین (۱) نیز نقش بسیار مهمی دارند. زو و همکاران (۵۷) گزارش کردند که کاربرد براسینولید در غلظت ۵ میکرومولار باعث کاهش پوسیدگی پس از برداشت و به تأخیر انداختن پیری میوه جوجوبا از طریق کاهش بیوسنتز اتیلن و سرعت تنفس می‌گردد. نقش حفاظتی براسینواستروئیدها در مقابل تنش سرمازدگی در گیاهچه‌های برنج، ذرت، خیار و بادمجان نیز گزارش شده است (۲۶، ۱۷ و ۱۹). وانگ و زنگ (۴۸) گزارش کردند که تیمار گیاهچه‌های برنج با براسینواستروئید از طریق حفظ انسجام غشایی و تجمع پرولین موجب افزایش مقاومت به سرمازدگی می‌گردد. در این تحقیق تأثیر تیمار پس از برداشت براسینولید بر شاخص سرمازدگی و میزان نش‌یونی، فعالیت آنزیم‌های PLD، LOX و PAL و میزان مالون دی‌آلدئید (MDA)، پرولین و فنل کل میوه گوجه‌فرنگی در طول سه هفته نگهداری در دمای یک درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت.

ریو و همکاران (۴۰) اندازه‌گیری گردید و بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین بیان شد. طبق تعریف یک واحد آنزیمی از آنزیم PLD به مقداری از آنزیم گفته می‌شود که توانایی تولید یک نانو مول دی‌نیتروفنول را در یک ساعت داشته باشد. طبق تعریف یک واحد آنزیمی از آنزیم LOX به مقداری از آنزیم گفته می‌شود که باعث افزایش جذب در یک صدم دقیقه در طول موج ۲۳۴ نانومتر و ۲۵ درجه سانتی‌گراد را زمانی که لینولئیک اسید به‌عنوان سوبسترا اضافه می‌گردد، داشته باشد. فعالیت آنزیم PAL با روش زو و همکاران (۵۷) اندازه‌گیری گردید. فعالیت آنزیم PAL با تولید سینامات تعیین گردید. میزان تولید سینامات با اندازه‌گیری جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. فعالیت آنزیم بر اساس نانومول سینامیک اسید در ساعت در میلی‌گرم پروتئین بیان گردید. میزان پروتئین با استفاده از روش برادفورد (۵) و با استفاده از سرم آلبومین گاوی (BSA) به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد.

تجزیه آماری داده‌ها: این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در زمان بر پایه طرح کاملاً تصادفی با فاکتور اصلی، غلظت براسینولید در سه سطح (۰، ۳ و ۶ میکرومولار) و فاکتور فرعی زمان در سه سطح (سه هفته طول دوره انبارمانی گوجه‌فرنگی) با سه تکرار انجام گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام گردید. تمامی نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج

شاخص سرمازدگی و نش‌یونی: نتایج این تحقیق نشان داد که براسینولید تاثیر معنی‌داری در کاهش شاخص سرمازدگی میوه گوجه‌فرنگی در طول دوره انبارمانی داشت ($P < 0.01$ ، نمودار ۱)، همچنین براسینولید بویژه در

بدین صورت که اگر فرورفتگی سطحی مشاهده نشد (صفر)؛ در صورت مشاهده فرورفتگی سطحی در کمتر از ۲۵ درصد، سطح میوه نمره ۱ (یک)، در صورت مشاهده فرورفتگی سطحی بین ۲۵ تا ۵۰ درصد سطح میوه نمره ۲ (دو) و مشاهده فرورفتگی سطحی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد سطح میوه نمره ۳ (سه) و بیش از ۷۵ درصد فرورفتگی میوه نمره ۴ (چهار) داده شد و بعد با استفاده از فرمول زیر شاخص سرمازدگی ارزیابی گردید.

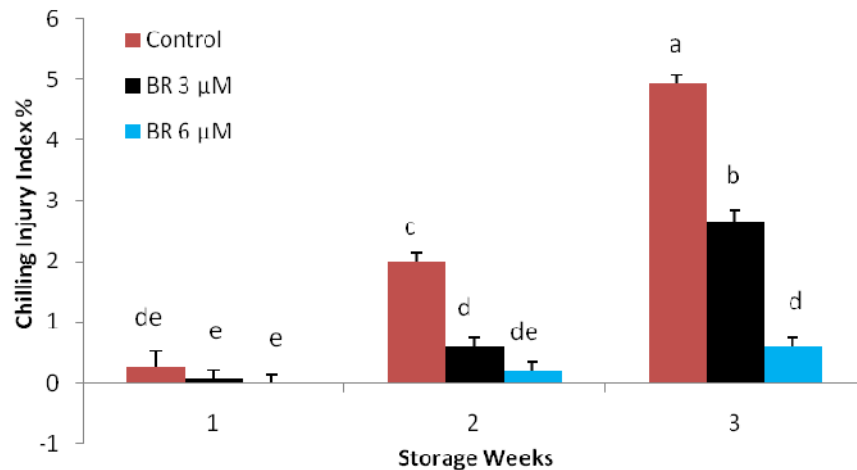
$$۴ \times \text{تعداد کل میوه} / (\text{تعداد میوه دارای علائم سرمازدگی} \times \text{سطح (نمره مربوطه)}) = \text{شاخص سرمازدگی}$$

نش‌یونی، میزان پرولین، مالون دی‌آلدئید و فنل کل: نش‌یونی طبق روش توصیف شده توسط زائو و همکاران (۵۶) مورد ارزیابی قرار گرفت. ضخامت ۳ میلی‌متر از مزوکارپ بخش استوایی میوه جدا گردید و در داخل محلول یک دهم مولار مانیتول قرار گرفت و با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه به مدت دو ساعت به هم زده شد. هدایت الکتریکی محلول (L1) اندازه‌گیری شد. محلول سپس به مدت ۱۰ دقیقه جوشیده شد و بعد در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد گردید و هدایت الکتریکی آن (L2) اندازه‌گیری شد. نش‌یونی بر اساس نسبت L1 به L2 و بر اساس درصد بیان گردید. میزان پرولین بر اساس روش توصیف شده توسط زانگ و همکاران (۵۵) مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به صورت میکروگرم بر گرم وزن تر میوه بیان گردید. MDA بر اساس روش تیوباربیئوریک اسید که توسط زائو و همکاران (۵۶) توصیف شده است، اندازه‌گیری گردید و بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر میوه بیان شد. میزان فنل کل بر اساس روش جین و همکاران (۲۰) اندازه‌گیری گردید و بر اساس میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان گردید.

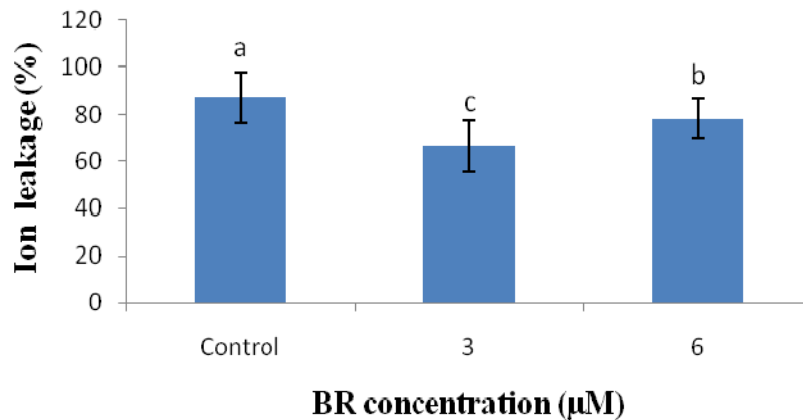
فعالیت آنزیم‌های فسفولیپاز D، لیپوکسیژناز و فنیل آلانین آمونیا‌لیاز: فعالیت آنزیم PLD و LOX طبق روش

شده است (۲۶، ۱۷، ۱۹). بر اساس بررسی منابع انجام شده نتایج گزارش شده در این تحقیق اولین گزارش در مورد کاربرد براسینواستروئیدها برای کاهش سرمازدگی پس از برداشت محصولات باغبانی می‌باشد.

غظت ۳ میکرومولار به طور معنی‌داری موجب کاهش نشت یونی در میوه گوجه‌فرنگی شد ($P < 0.05$)، نمودار ۲). تاثیر مثبت براسینواستروئیدها در کاهش سرمازدگی در گیاهچه‌های بادمجان، خیار، ذرت و برنج نیز گزارش



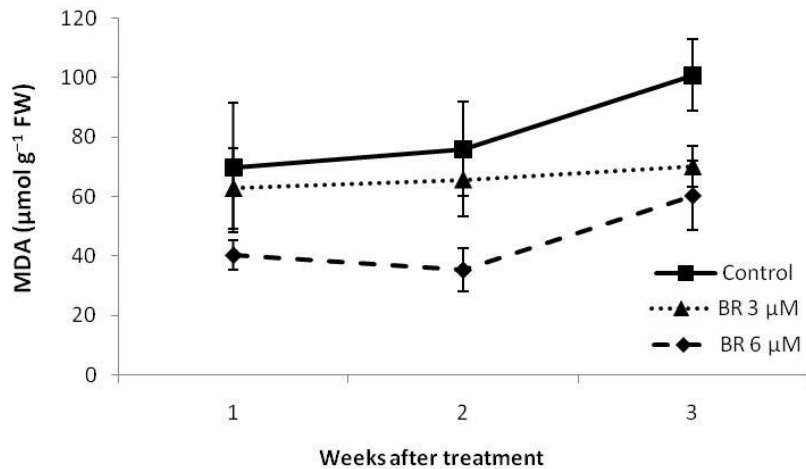
نمودار ۱- شاخص سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی در طول سه هفته نگهداری در دمای سرمازدگی تحت تاثیر سطوح براسینولید



نمودار ۲- تاثیر سطوح براسینولید بر روی درصد نشت یونی میوه گوجه‌فرنگی تحت دمای سرمازدگی

مورد توجه قرار گرفته‌اند و می‌توانند کاهش انسجام غشای سلولی و وقوع آسیب سرمازدگی را در محصولات باغبانی نشان دهند (۴۳). پراکسیداسیون لیپیدهای غشای سلولی با تجمع MDA موجب ایجاد آسیب سرمازدگی در محصولات باغبانی می‌گردد (۳) و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تیمار براسینولید با کاهش تجمع MDA می‌تواند آسیب سرمازدگی پس از برداشت را در میوه گوجه‌فرنگی کاهش دهد.

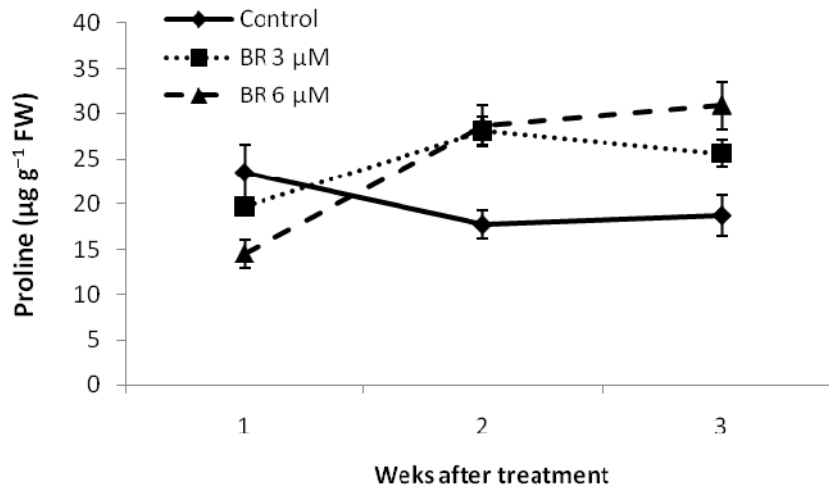
میزان مالون دی‌آلدئید: نتایج این تحقیق نشان داد که براسینولید بویژه در غظت ۶ میکرومولار تاثیر معنی‌داری در کاهش میزان MDA میوه گوجه‌فرنگی در طول دوره انبارمانی داشت ($P < 0.05$)، نمودار ۳). حفظ انسجام غشای سلولی در دمای پایین عامل مهمی در مقاومت به سرمازدگی در محصولات باغبانی می‌باشد (۵۰). نشت یونی و محتوای MDA به عنوان شاخص‌های آسیب‌شناسی برای اندازه‌گیری غیر مستقیم انسجام غشای سلولی



نمودار ۳- تاثیر سطوح براسینولید بر روی میزان مالون دی‌الدهید میوه گوجه فرنگی تحت دمای سرمزدگی

براسینولید افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد و در پایان دوره انبارمانی میزان پرولین بیشتری در میوه‌های تیمار شده با ۶ بکرومولار براسینولید مشاهده گردید ($P < 0.01$ ، نمودار ۴).

میزان پرولین: نتایج این تحقیق نشان داد که میزان پرولین در طول دوره انبارمانی در دمای سرمزدگی در میوه‌های تیمار شاهد کاهش می‌یابد و در هفته اول میوه‌های تیمار شاهد دارای بیشترین مقدار پرولین می‌باشند ولی در طول هفته دوم و سوم میزان پرولین در میوه‌های تیمار شده با



نمودار ۴- تاثیر سطوح براسینولید بر روی میزان پرولین میوه گوجه فرنگی تحت دمای سرمزدگی

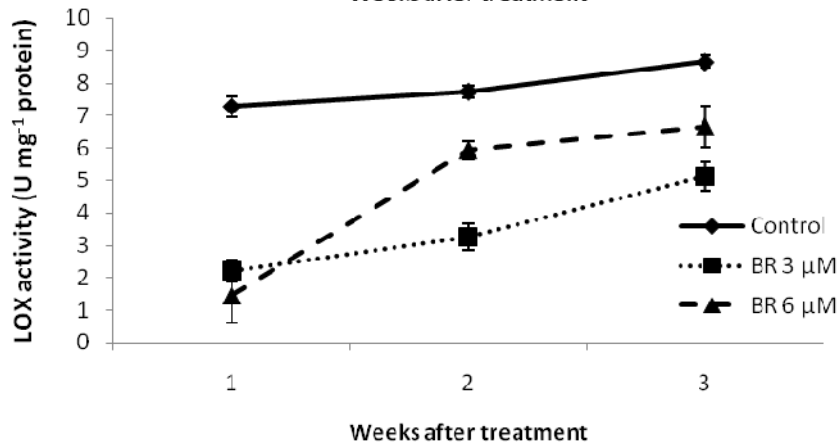
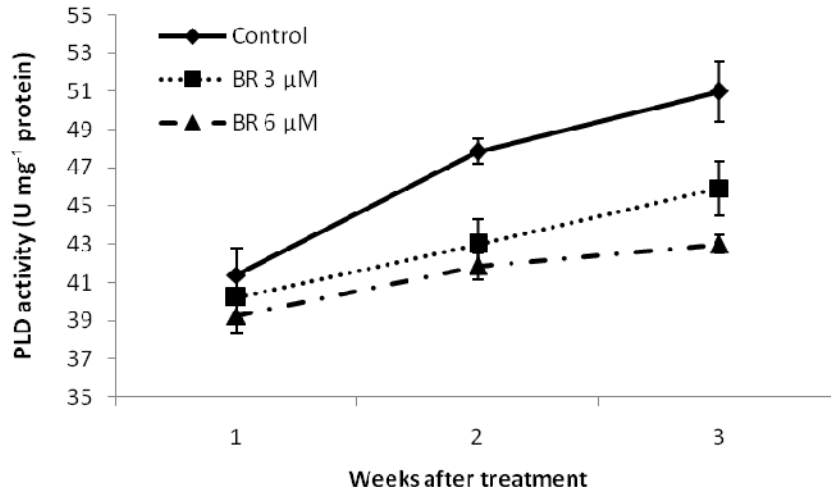
میوه گوجه فرنگی در اثر تیمار براسینولید به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد ($P < 0.01$ ، نمودار ۵).

فعالیت آنزیم PAL و میزان فنل کل: نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم PAL در میوه‌های گوجه فرنگی تیمار شاهد و تیمار براسینولید دارای روند افزایشی در طول دوره انبارمانی می‌باشد اما فعالیت آنزیم PAL در

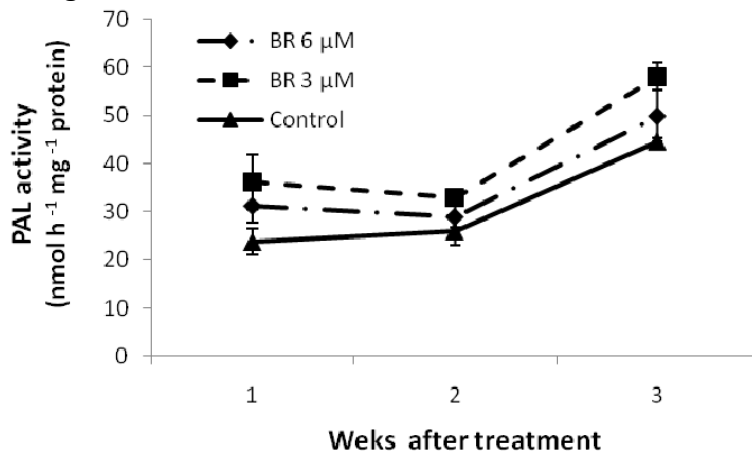
فعالیت آنزیم فسفولیپاز D و لیپوکسیژناز: نتایج این تحقیق نشان داد که فعالیت آنزیم‌های PLD و LOX در طول دوره نگهداری میوه گوجه فرنگی در دمای سرمزدگی افزایش یافت که نشان‌دهنده فعال شدن مسیر تجزیه‌غشای سلولی در پاسخ به سرمزدگی می‌باشد. روند افزایشی فعالیت PLD و LOX در طول دوره سرمزدگی

کل میوه نیز افزایش معنی‌داری نشان می‌دهد ($P < 0.05$)، نمودار ۷) که می‌تواند با افزایش فعالیت آنزیم PAL در ارتباط باشد.

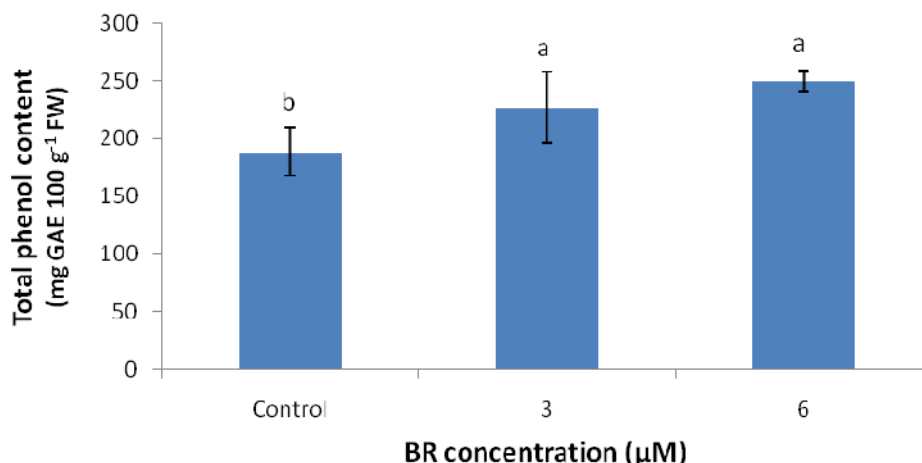
میوه گوجه‌فرنگی تیمار شده با براسینولید در طول دوره انبارمانی به طور معنی‌داری بیشتر می‌باشد ($P < 0.01$)، نمودار ۶)، همچنین در میوه‌های تیمار شده با براسینولید، بدون تفاوت معنی‌دار بین ۳ و ۶ میکرومولار، میزان فنل



نمودار ۵- فعالیت PLD و LOX در طول سه هفته نگهداری در دمای سرمزدگی تحت تاثیر سطوح براسینولید



نمودار ۶- تاثیر سطوح براسینولید بر روی فعالیت آنزیم PAL در میوه گوجه‌فرنگی تحت دمای سرمزدگی



نمودار ۷- تاثیر سطوح براسینولید بر روی محتوای فنل کل میوه گوجه فرنگی تحت دمای سرمزدگی

بحث

کاهش سطوح MDA و H_2O_2 در گیاهچه های گوجه فرنگی تحت تنش خشکی می گردد. هامادا (۱۶) گزارش نمود که براسینواستروئید موجب حفظ ساختار و انسجام غشای سلولی در گیاهان می گردد. بر این اساس، تیمار براسینواستروئید در گیاه لوبیا، در حضور یا عدم حضور سمیت کادمیوم، موجب افزایش شاخص انسجام غشای سلولی و کاهش پراکسیداسیون لیپید های غشا و تجمع MDA می گردد (۳۸). بهنام نیا و همکاران (۴) نشان دادند که تیمار براسینواستروئید موجب کاهش سطوح MDA و H_2O_2 ، افزایش فعالیت سیستم آنتی اکسیدانی و کاهش تنش اکسیداتیو بوجود آمده در اثر تنش خشکی در گیاه گوجه فرنگی می گردد. لیو و همکاران (۲۴) گزارش کردند که در کشت سوسپانسیون سلولی *Chorispora bungeana* تحت تنش سرمزدگی تیمار براسینواستروئید فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی کاتالاز (CAT)، آسکوربات پراکسیداز (APX)، سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و سطوح آسکوربیک اسید (ASA) و گلووتاتیون احیا شده (GSH) را افزایش داده و موجب مهار تجمع ROS گردیده و پراکسیداسیون لیپید و تجمع MDA را کاهش می دهد. پیشنهاد شده است که تجمع پرولین به عنوان یک مکانیسم مقاومت در برابر تنش سرمزدگی در گیاهان مطرح می باشد (۵۱).

به طور کلی آسیب سرمزدگی ابتدا در غشای سلولی همراه با تغییر در ترکیب اسیدهای چرب فسفولیپیدها اتفاق می افتد و آسیب غشایی موجب شروع آبشاری از واکنش های ثانویه می گردد که منجر به تخریب ساختار سلولی می شود. این آسیب غشایی می تواند بوسیله نشت یونی مورد برآورد قرار گیرد. کاهش نشت یونی در میوه های گوجه فرنگی تیمار شده با براسینولید را می توان به تاثیر آن در حفظ انسجام غشای سلولی مربوط دانست که توسط وانگ و زنگ (۴۸) نیز گزارش شده است. هادگ و همکاران (۱۸) بیان نمودند که MDA محصول نهایی اکسیداسیون اسیدهای چرب می باشد و می تواند به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپید غشای سلولی که در اثر تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) بوجود می آید مورد توجه قرار گیرد. گزارش شده است که تیمار براسینواستروئید ها می تواند سطوح پراکسیداسیون لیپید و تجمع MDA را که توسط تنش های محیطی مانند شرایط غیر هوازی یا کمبود اکسیژن (۱۲)، سمیت کادمیوم (۲)، گرما (۳۰) و خشکی (۳۹) القا می گردد کاهش دهد و موجب به حداقل رسیدن آسیب تنش های محیطی در گیاهان گردد. یوان و همکاران (۵۳) گزارش کردند که تیمار براسینواستروئید موجب

سرمازدگی بوسیله تخریب غشا و مسیر سیگنال دهی در پاسخ به دمای سرمازدگی همراه می‌باشند. ریو و همکاران (۴۰) گزارش نمودند که در میوه لاکوآت فعالیت آنزیم های PLD و LOX در پاسخ به تنش سرمازدگی افزایش می‌یابد و کاهش قهوه ای شدن درونی (IB) که از علائم اصلی سرمازدگی در میوه لاکوآت می‌باشد در اثر تیمار گرمایی همراه با کاهش فعالیت PLD و LOX و همچنین کاهش نشت یونی و میزان MDA می‌باشد.

چائو و همکاران (۷) تاثیر تیمار ۱-متیل سیکلوپروپن (1-MCP) بر سرمازدگی میوه لاکوآت (Loquat) را بررسی نموده و بیان کردند که تیمار 1-MCP به طور معنی داری میزان سرمازدگی را در میوه لاکوآت کاهش می‌دهد. تیمار 1-MCP از تجمع مالون دی آلدئید، رادیکال سوپر اکسید و پراکسید هیدروژن و افزایش نشت یونی جلوگیری می‌کند. علاوه بر این میوه های تیمار شده با 1-MCP دارای فعالیت بالای CAT و فعالیت پایین LOX و PLD و فسفولیپاز C (PLC) بودند. این نتایج پیشنهاد می‌کنند که LOX و PLD و PLC عامل اصلی آسیب سرمازدگی می‌باشند و تاثیر 1-MCP در کاهش سرمازدگی ممکن است مربوط به کاهش فعالیت این آنزیم ها باشد. 1-MCP با کاهش تولید رادیکال سوپر اکسید از طریق کاهش فعالیت LOX و افزایش تجزیه پراکسید هیدروژن از طریق افزایش فعالیت CAT باعث کاهش تنش اکسیداتیو در میوه لاکوآت می‌گردد (۷). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فعالیت فسفولیپازها مانند PLD و PLC عامل اصلی در تخریب غشای سلولی محصولات باغبانی در دمای سرمازدگی می‌باشد و هر تیمار پس از برداشت که بتواند فعالیت این آنزیم ها را کاهش دهد می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای کاهش سرمازدگی مورد استفاده قرار گیرد و نتایج بدست آمده در این تحقیق گواهی بر این مدعاست.

به عنوان آنزیم کلیدی در متابولیسم فنیل پروپانوئید تبدیل فنیل آلانین به ترانس سینامیک اسید را کاتالیز

در گیاهان پرولین تجمع یافته در پاسخ به تنش سرمازدگی نقش مهمی در تنظیم اسمز سلولی بین سیتوپلاسم و واکوئل، تنظیم نسبت $NAD^+/NADH$ ، سمیت زدایی ROS و حفظ انسجام غشای سلولی ایفا می‌کند (۵۱). یوسف و همکاران (۵۴) گزارش کردند که تیمار گیاهان *Vigna radiata* با براسینوستروئید در حضور یا عدم حضور سمیت بر (Boron) فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش داده و موجب تجمع معنی دار در میزان پرولین می‌گردد. رادی (۳۸) نشان داد که تیمار گیاه لوبیا با براسینوستروئید در حضور یا عدم حضور سمیت کادمیوم موجب تجمع معنی دار در میزان پرولین می‌گردد. و فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی را افزایش می‌دهد. واردهینی و رائو (۴۶) گزارش نمودند که تیمار براسینوستروئید میزان پرولین را در گیاه سورگوم تحت تنش شوری افزایش می‌دهد. در برنج افزایش مقاومت به تنش سرمازدگی در اثر تیمار براسینولید به علت افزایش میزان پرولین توسط وانگ و زنگ (۴۸) نیز گزارش شده است.

غشای سلولی اولین حسگر سرما در سلول بوده و اولین مکان برای توسعه آسیب سرمازدگی می‌باشد. غشاهای سلولی در بافت های محصولات باغبانی دارای آسیب سرمازدگی تحت انتقال فاز از مایع کریستالی انعطاف پذیر به ساختار زلی جامد قرار می‌گیرند (۲۵). در طول پیری و سرمازدگی تخریب لیپیدهای غشایی با فعالیت آنزیم های لیپولیتیک غشایی مانند PLD و LOX همراه می‌باشد (۳۶). PLD و LOX با پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع غشایی عامل اصلی تخریب غشا در طول دوره سرمازدگی می‌باشند (۳۶، ۴۷). مائو و همکاران (۲۷) بیان کردند که توسعه سرمازدگی در میوه خیار با افزایش فعالیت PLD و LOX در دمای سرمازدگی همراه می‌باشد و تیمار گرمایی مقاومت به سرمازدگی را در میوه خیار با کاهش فعالیت PLD و LOX افزایش می‌یابد. این نتایج پیشنهاد می‌کند که آنزیم های PLD و LOX با آغاز آسیب

۴ درجه سانتی‌گراد موجب افزایش فعالیت PAL گردیده و موجب کاهش آسیب سرمازدگی میوه گوجه‌فرنگی می‌شود. چن و همکاران (۸) گزارش کردند که تیمار گرمایی ۳۸ درجه سانتی‌گراد به مدت سه روز قبل از نگهداری در دمای ۸ درجه سانتی‌گراد مقاومت به سرمازدگی را در میوه موز افزایش می‌دهد. میزان رونوشت‌های *MaPAL1* و *MaPAL2* و میزان فعالیت آنزیم PAL در میوه‌های تیمار شده با گرما افزایش یافته و میزان نشت یونی و میزان مالون دی‌آلدئید کاهش می‌یابد و موجب کاهش آسیب سرمازدگی در میوه موز می‌گردد. پس از فعال‌سازی آنزیم PAL ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها در بافت‌های در معرض تنش افزایش یافته و به عنوان سیستم دفاعی در برابر تنش عمل می‌کنند (۱۱). افزایش در فعالیت PAL و میزان فنل کل همراه با افزایش مقاومت گیاهان به سرما می‌باشد. چن و همکاران (۸) نشان دادند که تیمار پس از برداشت میوه انگور با اسید سالیسیلیک موجب تجمع mRNAی PAL و افزایش سنتز پروتئین جدید PAL و افزایش فعالیت آنزیم PAL و متعاقباً تجمع فنیل پروپانوییدها در میوه می‌گردد که موجب تقویت سیستم دفاعی میوه می‌گردد.

نتیجه‌گیری نهایی:

بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان بیان کرد که براسینولید می‌تواند به‌عنوان یک تکنولوژی پس از برداشت توانمند برای کاهش آسیب سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گیرد. تأثیر تیمار براسینولید در کاهش آسیب سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی می‌تواند به افزایش انسجام غشای سلولی در اثر کاهش فعالیت آنزیم‌های PLD و LOX و کاهش پراکسیداسیون غشای سلولی مربوط باشد که با کاهش میزان نشت یونی و مالون دی‌آلدئید همراه می‌باشد. افزایش میزان پرولین در میوه‌های تیمار شده با براسینولید نیز می‌تواند دلیلی بر افزایش مقاومت به سرمازدگی در میوه‌ها باشد. همچنین تأثیر تیمار

می‌نماید که اولین مرحله در بیوستز فنیل پروپانوییدها بوده و منجر به تولید متابولیت‌های ثانویه مانند لیگنین، فیتوالکسین‌ها و فلاونوئیدها می‌گردد. در واقع PAL به عنوان آنزیم حدواسط متابولیسم اولیه (مسیر اسید شیکمیک) و متابولیسم ثانویه (مسیر فنیل پروپانویید) محسوب می‌گردد (۱۱). علاوه بر این PAL بوسیله استرس‌های زیستی مانند آلودگی‌های فارجی (۲۱) و استرس‌های غیر زیستی مانند سرمازدگی (۲۲، ۴۱)، نور UV-B (۴۴) و UV-C (۳۷)، زخم (۶)، ازن (۴۲) و هورمون‌های گیاهی مانند اسید جاسمونیک، اسید سالیسیلیک، اسید ابسیزیک و اتیلن (۹، ۴۹) تحریک می‌گردد. این یافته‌ها پیشنهاد می‌کنند که PAL نقش مهم و ضروری در مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی بازی می‌کند (۱۱) و القای PAL می‌تواند به عنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر سرمازدگی پس از برداشت محصولات باغبانی مورد توجه قرار گیرد (۲۲). در حالت کلی افزایش فعالیت PAL در میوه‌های نگهداری شده در دمای سرمازدگی به عنوان یک مکانیسم برای کاهش اثرات سرمازدگی پذیرفته شده است (۲۳) و تیمار گرمایی با افزایش فعالیت PAL موجب کاهش سرمازدگی در میوه موز می‌گردد (۸). پیشنهاد شده است که تجمع رونوشت‌های PAL می‌تواند به عنوان یک مارکر مولکولی برای مقاومت به سرمازدگی در مرکبات مورد استفاده قرار گیرد (۴۱). شرایط تنش می‌تواند موجب افزایش فعالیت PAL گردد که به عنوان اولین آنزیم محدودکننده سرعت مسیر فنیل پروپانوییدها مطرح می‌باشد (۳۵). افزایش فعالیت آنزیم PAL موجب افزایش فعالیت مسیر فنیل پروپانویید گردیده و مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (۱۱، ۲۲). محصولات مسیر فنیل پروپانویید مانند فنل‌ها دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و می‌توانند نقش حفاظتی مهمی در برابر تنش‌های اکسیداتیو مانند سرمازدگی بازی کنند (۲۳، ۱۵). گالوز و همکاران (۱۴) گزارش کردند که انبار با کاهش تدریجی دما از ۱۲ تا

این تحقیق بر اساس طرح پژوهشی باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر انجام شده است و لازم است از ریاست و معاون محترم پژوهشی و ریاست محترم باشگاه پژوهشگران جوان آن واحد نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

براسینواستروئید در کاهش سرمازدگی در میوه گوجه‌فرنگی می‌تواند در نتیجه افزایش میزان فنل کل میوه در اثر افزایش فعالیت آنزیم PAL باشد.

سیاسگزاری

منابع

- 1- Ali, B., Hasan, S.A., Hayat, S., Hayat, Q., Yadav, S., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2008. A role for brassinosteroids in the amelioration of aluminium stress through antioxidant system in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek). *Environ. Exp. Bot.* 62: 153–159.
- 2- Anuradha, S., Rao, S.S.R., 2007. The effect of brassinosteroids on radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings growing under cadmium stress. *Plant. Soil. Environ.* 53: 465–472.
- 3- Asghari, M.R., Aghdam, M.S., 2010. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends Food. Sci Technol.* 21:502-509.
- 4- Behnamnia, M., Kalantari, K.M., Rezanejad, F., 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviates drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. *Gen. Appl. Plant Physiol.* 35: 22–34.
- 5- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of micro-gram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254.
- 6- Campos-Vargas, R., Nonogaki, H., Suslow, T., Saltveit, M.E., 2005. Heat shock treatments delay the increase in wound induced phenylalanine ammonia-lyase activity by altering its expression, not its induction in Romaine lettuce (*Lactuca sativa*) tissue. *Physiol Plant.* 132: 82–91
- 7- Cao, S., Zheng, Y., Wang, K., Rui, H., Tang, S., 2009. Effects of 1-methylcyclopropene on oxidative damage, phospholipases and chilling injury in loquat fruit. *J Sci Food Agric.* 89: 2214–2220.
- 8- Chen, J.Y., He, L.H., Jiang, Y.M., Wang, Y., Joyce, D.C., Ji, Z.L., Lu, W.J., 2008. Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *Physiol Plant.* 132: 318–328.
- 9- Chen, J.Y., Wen, P.F., Kong, W.F., Pan, Q.H., Zhan, J.C., Li, J.M., Wan, S.B., Huang W.D., 2006. Effect of salicylic acid on phenylpropanoid and phenylalanine ammonia-lyase in harvested grape berries. *Postharvest Biol. Technol.* 40: 64–72.
- 10- Ding, C.K., Wang, C.Y., Gross, K.C., 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.
- 11- Dixon, R.A., Paiva, N.L., 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell.* 7: 1085–1097.
- 12- Ershova, A., Khripach, V., 1996. Effect of epibrassinolide on lipid peroxidation in *Pisum sativum* at normal aeration and under oxygen deficiency. *Russ J. Plant Physiol.* 43: 750–752.
- 13- Fariduddin, Q., Yusuf, M., Chalkoo, S., Hayat, S., Ahmad, A., 2011. 28-homobrassinolide improves growth and photosynthesis in *Cucumis sativus* L. through an enhanced antioxidant system in the presence of chilling stress. *Photosynthetica* 49, 55–64.
- 14- Galvez, A.B., Garcia, M.V., Corrales, J.C., Lopez, A.C., Valenzuela, J.A.L., 2010. Effect of gradual cooling storage on chilling injury and phenylalanine ammonia-lyase activity in tomato fruit. *J Food Biochem.* 34: 295–307.
- 15- Gonzalez-Aguilar, G.A., Tiznado-Hernandez, M.E., Zavaleta-Gatica, R., Martinez-Tellez, M.A., 2004. Methyl jasmonate treatments reduce chilling injury and activate the defense response of guava fruits. *Biochem Biophys Res. Comm.* 313: 694–701.
- 16- Hamada, K., 1986. Brassinolide in crop cultivation. In: Macgregor, P. (Ed.), *Plant Growth Regulators in Agriculture. Food Fertility Technology, Central Asia Pacific Region.*, pp. 190–196.
- 17- He, R.Y., Wang, G.J., Wang, X.S., 1991. Effects of brassinolide on growth and chilling resistance

- of maize seedlings. In: Cultler HG, Yokota T, Adam G, editors. *Brassinosteroids—chemistry, bioactivity and application*. Washington: ACS Symposium Series, American Chemical Society, p. 220–30.
- 18-Hodges, D., Delong, J.M., Forney, C.F., Prange, R.K., 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* 207: 604–611.
- 19-Hotta, Y., Tanaka, T., Luo, B.S., Takeuchi, Y., Konnai, M., 1998. Improvement of cold resistance in rice seedlings by 5-aminolevulinic acid. *J Pestic. Sci.* 23, 29–33.
- 20-Jin, P., Zheng, Y., Tang, S., Rui, H., Wang, CY. 2009. A combination of hot air and methyl jasmonate vapor treatment alleviates chilling injury of peach fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 52, 24–29.
- 21-Jones, D.H., 1984. Phenylalanine ammonia-lyase: regulation of its induction, and role in plant development. *Phytochemistry* 23: 1349–1359
- 22-Lafuente, M.T., Zacarias, L., Martinez-Tellez, M.A., Sanchez-Ballesta, M.T., Granell, A., 2003. Phenylalanine ammonia-lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus. *Postharvest Biol. Technol.* 29: 308–317.
- 23-Lafuente, M. T., Zacarias, L., Martinez-Tellez, M. A., Sanchez- Ballesta, M. T., Dupille, E., 2001. Phenylalanine ammonia-lyase as related to ethylene in the development of chilling symptoms during cold storage of citrus fruits. *J. Agric. Food Chem.* 49: 6020-6025.
- 24-Liu, Y.J., Zhao, Z.G., Si, J., Di, C.X., Han, J., An, L.Z., 2009. Brassinosteroids alleviate chilling-induced oxidative damage by enhancing antioxidant defense system in suspension cultured cells of *Chorispora bungeana*. *Plant Growth Regul.* 59, 207–214.
- 25-Lyons, J.M., 1973. Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 445–466.
- 26-Mandava, N.B., 1988. Plant growth-promoting brassinosteroids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol Biol.* 39, 23–52.
- 27-Mao LC, Pang HG, Wang GZ and Zhu CG, 2007. Phospholipase D and lipoxygenase activity of cucumber fruit in response to chilling stress. *Postharvest Biol. Technol.* 44:42–47.
- 28-Mirdehghan, S.H., Rahemi, M., Castillo, S., Martinez-Romero, D., Serrano, M., Valero, D., 2007. Pre-storage application of polyamines by pressure or immersion improves shelf life of pomegranate stored at chilling temperature by increasing endogenous polyamine levels. *Postharvest Biol. Technol.* 44, 26–33.
- 29-Nguyen, T. B. T., Ketsa, S., van Doorn, W. G., 2003. Relationship between browning and the activities of polyphenol oxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biol. Technol.* 30:187-193.
- 30-Ogwen, J.O., Song, X.S., Shi, K., Hu, W.H., Mao, W.H., Zhou, Y.H., Yu, J.Q., Nogues, S., 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Plant Growth Regul.* 27, 49–57.
- 31-Ozdemir, F., Bor, M., Demiral, T., Turkan, I., 2004. Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L) under salinity stress. *Plant Growth Regul.* 42, 203–211.
- 32-Paliyath, G., Droillard, M.J., 1992. The mechanisms of membrane deterioration and disassembly during senescence. *Plant Physiol. Biochem.* 30: 789–812.
- 33-Paliyath, G., Thompson, J.E., 1987. Calcium and calmodulin regulated breakdown of phospholipid by microsomal membranes from bean cotyledons. *Plant Physiol.* 83:63-68.
- 34-Paliyath, G., Whiting, M.D., Stasiak, M.A., Murr, D.P., Clegg, B.S., 1997. Volatile production and fruit quality during development of superficial scald in Red Delicious apples. *Food Res. Int.* 30: 95–103.
- 35-Pereyra, L., Roura, S.I. And Del Valle, C.E. 2005. Phenylalanine ammonia lyase activity in minimally processed Romaine lettuce. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 38: 67–72.
- 36-Pinhero, R.G., Paliyath, G., Yada, R.Y., Murr, D.P., 1998. Modulation of phospholipase D and lipoxygenase activities during chilling. Relation to chilling tolerance of maize seedlings. *Plant Physiol. Biochem.* 36:213–224.
- 37-Pongprasert, N., Sekozawa, Y., Sugaya, S., Gemma, H., 2011. The role and mode of action of UV-C hormesis in reducing cellular oxidative stress and the consequential chilling injury of banana fruit peel. *Int. Food Res. J.* 18: 721-729.

- 38-Rady, M.M., 2011. Effect of 24-epibrassinolide on growth, yield, antioxidant system and cadmium content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under salinity and cadmium stress. *Sci. Hortic.* 129: 232-237.
- 39-Robinson, J.M., Bunce, J.A., 2000. Influence of drought-induced water stress on soybean and spinach leaf ascorbate-dehydroascorbate level and redox status. *Int. J. Plant Sci.* 161, 271-279.
- 40-Rui, H., Cao, S., Shang, H., Jin, P., Wang, K., Zheng, Y., 2010. Effects of heat treatment on internal browning and membrane fatty acid in loquat fruit in response to chilling stress. *J. Sci. Food Agric.* 90: 1557-1561.
- 41-Sanchez-Ballesta, M.T., Zacarias, L., Granell, A., Lafuente, M.T., 2000. Accumulation of PAL transcript and PAL activity as affected by heat-conditioning and low-temperature storage and its relation to chilling sensitivity in mandarin fruits. *J. Agric. Food Chem.* 48: 2726-2731.
- 42-Sgarbi, E., Fornasiero, R.B., Lins, A.P., Bonatti, P.M., 2003. Phenol metabolism is differentially affected by ozone in two cell lines from grape (*Vitis vinifera* L.) leaf. *Plant Sci.* 165: 951-957
- 43-Shewfelt, R.L., Purvis, A.C., 1995. Toward a comprehensive model for lipid peroxidation in plant tissue. *Hortscience* 30: 213-218.
- 44-Teklemariam, T.A., Blake, T.J., 2004. Phenylalanine ammonia-lyase-induced freezing tolerance in jack pine (*Pinus banksiana*) seedlings treated with low, ambient levels of ultraviolet-B radiation. *Physiol Plant.* 122: 244-253.
- 45-Tomas-Barberan, F.A., Espin, J. C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81:853-876.
- 46-Vardhini, B.V., Rao, S.S.R., 2003. Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regul.* 41:25-31.
- 47-Wang, X., 2001. Plant phospholipases. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 52:211-231.
- 48-Wang, B.K., Zeng, G.W., 1993. Effect of epibrassinolide on the resistance of rice seedlings to chilling injury. *Acta Phytophysiol. Sinica.* 19, 38-42.
- 49-Wen, P.F., Chen, J.Y., Kong, W.F., Pan, Q.H., Wan, S.B., Huang, W.D., 2005. Salicylic acid induced the expression of phenylalanine ammonia-lyase gene in grape berry. *Plant Sci.* 169: 928-934.
- 50-Wonsheree, T., Kesta, S., van Doorn, W.G., 2009. The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum citriodourum*) leaves. *Postharvest Biol. Technol.* 51: 91-96.
- 51-Yadegari, L.Z., Heidari, R., Carapetian, J., 2007. The influence of cold acclimation on proline, malondialdehyde (MDA), total protein and pigments contents in soybean (*Glycine max*) seedlings. *J Biol Sci.* 7:1436-1441.
- 52-Yu, J.Q., Zhou, Y.H., Ye, S.F., Huang, L.F., 2002. 24-Epibrassinolide and abscisic acid protect cucumber seedlings from chilling injury. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 77, 470-473.
- 53-Yuan, G.F., Jia, C.G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L.P., Liu, N., Wang, Q.M., 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Sci. Hortic.* 126, 103-108.
- 54-Yusuf, M., Fariduddin, Q., Ahmad, A., 2011. 28-Homobrassinolide mitigates boron induced toxicity through enhanced antioxidant system in *Vigna radiata* plants. *Chemosphere* 85: 1574-1584.
- 55-Zhang, X., Shen, L., Li, F., Zhang, Y., Menga, D., Sheng, J., 2010. Up-regulating arginase contributes to amelioration of chilling stress and the antioxidant system in cherry tomato fruits. *J. Sci. Food Agric.* 90: 2195-2202.
- 56-Zhao, D.Y., Shen, L., Fan, B., Liu, K.L., Yu, M.M., Zheng, Y., Ding, Y., Sheng, J.P., 2009. Physiological and genetic properties of tomato fruits from 2 cultivars differing in chilling tolerance at cold storage. *Food Chem.* 74: 348-352.
- 57-Zhu, Z., Zhang, Z., Qin, G., Tian, S., 2010. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. *Postharvest Biol. Technol.* 56, 50-58.

Amelioration of postharvest chilling injury in tomato fruit by brassinosteroids treatment

Soleimani Aghdam M.¹ and Asghari M.R.²

¹ Horticultural Science Dept., University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. of Iran

² Horticulture Dept., Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I.R. of Iran

Abstract

To develop an effective technique to reduce chilling injury (CI) in tomato fruit, the effects of treatments with 0 (Control), 3 and 6 μ M brassinosteroids (BRs) on chilling injury, electrolyte leakage, contents of malondialdehyde, proline and total phenol and activities of phospholipase D (PLD), lipoxygenase (LOX) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL), were investigated in tomato fruits stored at 1°C for 21 days. Treatments with BRs, especially at 6 μ M, significantly ameliorated chilling injury, reduced electrolyte leakage and malondialdehyde content and increased proline content. PLD and LOX activities in fruits treated with BRs were significantly lower as compared with the control fruits. Also, fruits treated with BRs exhibited significantly higher PAL activity and total phenol content. These results suggest that brassinosteroids has potential postharvest technology in ameliorating the chilling injury in tomato fruit.

Key words: Brassinosteroids, Chilling, Tomato, Proline, Phospholipase D, Lipoxygenase