

مقاله پژوهشی

تأثیر براسینواستروئید بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی موثر بر ماندگاری میوه موز رقم کاوندیش در طول مدت نگهداری در انبار سرد

فریده سعیدی^۱ و موسی ارشد^{۲*}

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل ضایعات پس از برداشت میوه موز، نابسامانی‌های ایجاد شده بر اثر دمای پائین می‌باشد از آنجایی تنش سرما سبب از بین رفتن انسجام و تراوایی غشاهای سلولی و در نتیجه نشت یون‌ها می‌شود. به منظور بررسی تأثیر براسینواستروئید در دماهای مختلف بر نگهداری میوه موز (رقم کاوندیش)، آزمایشی انجام شد. در این تحقیق واکنش‌های بیوشیمیایی و تغییرات فیزیولوژیکی میوه موز رقم کاوندیش با کاربرد براسینواستروئید در سه سطح (صفر، ۲ و ۶ میکرومولار) و دما در سه سطح (شاهد $(20 \pm 2^\circ\text{C})$ ، 5°C و 12°C) و زمان نگهداری در چهار سطح (۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود که بصورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. اثر متقابل دما و براسینواستروئید در طی زمان نگهداری بر شاخص‌های مواد جامد محلول و مقدار اتیلن تولید شده میوه موز معنی‌دار بود. همچنین اثر دوجانبه دما و براسینواستروئید بر سفتی میوه، نشت یونی و مقدار فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر سه جانبه دما ۵ درجه و براسینواستروئید ۶ میکرومولار در روز اول نگهداری موجب کاهش تولید اتیلن میوه موز به مقدار ۳۲ درصد گردید. استفاده از براسینواستروئید در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش چشمگیر نشت یونی به میزان ۴۲ درصد گردید. استفاده از براسینواستروئید همراه با دمای ۱۲ درجه موجب افزایش میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به مقدار ۸۹ درصد شد که بسیار اهمیت داشت. براساس نتایج حاصل میوه‌های موز طی دمای ۱۲ درجه و استفاده از غلظت ۶ میکرومولار بیشترین میزان کیفیت را در طول انبارمانی داشت.

کلمات کلیدی: براسینواستروئید، دوره انبارمانی، موز

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم باغبانی، گروه علوم باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران.

* پست الکترونیک: mousa_arshad@yahoo.com

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل ضایعات پس از برداشت میوه موز، نابسامانی‌های ایجاد شده بر اثر دمای پائین می‌باشد (سیاری^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). از آنجا که موز محصول گرمسیری می‌باشد به دلیل وجود اسیدهای چرب اشباع در غشای آن در دماهای پائین منجمد شده و به دلیل کاهش اکسیژن عمل تخمیر اتفاق افتاده و علاوه بر خسارات ظاهری و نرم شدن بافت، ترکیبات شیمیایی میوه نیز دچار تغییر می‌شود (سیاری و همکاران، ۲۰۱۱). تنش سرما سبب از بین رفتن انسجام و تراوایی غشاهای سلولی و در نتیجه نشت یون‌ها می‌شود. گیاهان با انباشت مواد تنظیم‌کننده اسمزی نظیر اسیدهای آمینه، کربو هیدرات‌های محلول، برخی از یون‌های معدنی، اسید آبسازیک و پروتئین‌ها تحمل خود را به دمای کم افزایش می‌دهند در بین آن‌ها پرولین ضمن تنظیم اسمزی، موجب پایداری غشاهای سلولی و آنزیم‌ها می‌شود (آپوستولوا و ینوا^۲، ۲۰۰۶). یکی از روش‌های افزایش تحمل به سرما و یخ‌زدگی در گیاه استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی از قبیل اسیدآبسازیک، اسیدجاسمونیک یا اسید سالیسیلیک است که عامل مهمی در القای واکنش‌های حمایتی گیاه در برابر انواع تنش‌ها هستند (واسترناک^۳، ۲۰۰۷). براسینواستروئیدها تحمل گیاهان را در محدوده وسیعی از تنش‌های محیطی خشکی، شوری، سرما و گرما افزایش داده‌اند و این افزایش عموماً وابسته به تولید و افزایش نسخه‌برداری ژن‌های مسئول پاسخ به تنش درون گیاهان تیمار شده بوسیله براسینواستروئید بوده است. کاربرد خارجی براسینواستروئید می‌تواند فعالیت آنزیم‌های مقابله‌کننده با تنش اکسیداتیو مثل آسکوربیک‌اسید، پراکسیداز و کاتالاز را افزایش دهد. در این رابطه در آزمایشی استفاده از براسینواستروئید در گیاه ذرت در مرحله جوانه‌زنی توانست میزان آسکوربیک‌اسید را افزایش دهد و موجب فعال شدن آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز شود (کوداچیکار^۴ و همکاران، ۲۰۰۱). در آزمایشی استفاده از براسینواستروئید در سورگوم تحت تنش اسمزی توانست فعالیت کاتالاز را افزایش و به میزان کمی فعالیت پراکسیداز و آسکوربیک‌اسید را کاهش دهد

ویدیا واردینی و سیتارام‌راو^۵، ۲۰۰۳). براسینواستروئیدها روی تجمع مواد جامد محلول اثر مثبت دارند و باعث افزایش سازگاری اسمزی و میزان پرولین در طی تنش می‌شوند (صانعی‌شریعت‌پناهی، ۱۳۵۸). در پژوهشی دیگر حیدرنژادگیگلو و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند با توجه به نتایج به دلیل فرازگرا بودن میوه‌های عروسک پشت‌پرده و رسیدن تدریجی و تغییر رنگ میوه‌ها، برداشت میوه در مرحله سبز بالغ، مدت انبارمانی را در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به میوه‌های برداشت شده در زمان‌های دیگر تا ۳۰ روز افزایش داد. به‌طور کلی براسینواستروئیدها با اثر بر روی تجمع مواد محلول، تنظیم اسمزی و افزایش کارتنوئیدها، باعث حفظ تورم و حجم سیتوزولی می‌شوند. ضمن اینکه ساختمان ماکرومولکول‌ها و غشا سلولی را نیز محافظت کرده و در نهایت سبب بهبود شرایط گیاه در زمان تنش می‌شوند. از این رو براسینواستروئیدها منجر به محافظت گیاه در شرایط تنش و افزایش مقاومت می‌شوند (صانعی‌شریعت‌پناهی، ۱۳۵۸). بنابراین جهت افزایش ماندگاری و جلوگیری از افزایش تلفات میوه موز در زمان انتقال و همچنین زمان سردخانه استفاده از تیمارهایی که باعث افزایش طول دوره عمر انبارمانی موز می‌شوند ضروری است با توجه به مطالعات انجام شده تحقیقی در زمینه اثر براسینواستروئید (۲۴-پی‌براسینواستروئید) بر طول دوره انبارمانی موز در دماهای مختلف انجام نشده است. بنابراین چنانچه اثر مواد مذکور بر نگهداری میوه موز مؤثر باشند می‌توان با بکارگیری این تیمارها از افزایش ضایعات موز در سردخانه و انبارها کاست.

مواد و روش

آزمایش در سال ۹۶-۱۳۹۵ در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد انجام شد. تیمارها شامل براسینواستروئید (۲۴-پی‌براسینولید) در سه سطح (صفر، ۲ و ۶ میکرومولار)، روی میوه موز رقم کاوندیش در سه سطح دمایی (شاهد ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$)، 5°C + و 12°C +) و چهار زمان مدت نگهداری (۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) بود که بصورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش سرما در کرت اصلی،

4. Kudachikar
5. Vidya Vardhini and Seeta Ram Rao

1. Sayyari
2. Apostolova and Yaneva
3. Wasternack

موج ۵۶۰ نانومتر، انجام گرفت (گیانوپولیتیس و رایس، ۱۹۷۷).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت تجزیه آماری از نرم‌افزار SAS.9.2 استفاده گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از برنامه Microsoft excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل دما همراه با تیمار براسینواستروئید در سطح احتمال یک درصد بر شاخص درجه سفتی بافت میوه و نشت یونی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل سه جانبه دما همراه با براسینواستروئید در طی مدت انبارمانی بر شاخص‌های قند محلول کل و میزان تولید اتیلن میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

سفتی میوه

مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل سطوح دما و براسینواستروئید نشان داد میوه‌های تیمار شده با سطوح ۶ میکرومولار در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد بالاترین درجه سفتی میوه را به خود اختصاص داد. (شکل ۱). همانطوری که در شکل ۱ مشاهده می‌شود هر یک از سطوح دمایی واکنش متفاوتی به سطوح برانوستروئید از لحاظ اثر بر درجه سفتی نشان داده‌اند به‌طوری‌که در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد کاربرد هر دو سطح ۲ و ۶ میکرومولار درجه سفتی بافت را نسبت به تیمار شاهد به صورت معنی‌دار افزایش دادند. این در حالی بود که در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد بیشترین درجه سفتی بافت در تیمار میوه با سطح ۲ میکرومولار و در دمای محیط در تیمار با ۶ میکرومولار برانواستروئید دیده شد. همچنین با توجه به جدول همبستگی صفات (جدول ۳) مشخص گردید بین شاخص سفتی میوه و مقدار قند محلول همبستگی مثبتی وجود داشت.

ترکیبات پکتینی، پلی‌ساکاریدهای ساختاری می‌باشند که مسئول سفتی بافت میوه‌ها می‌باشند و نرم‌شدن میوه زمانی

براسینواستروئید و زمان‌های انبارمانی در کرت فرعی قرار گرفتند. پس از تهیه غلظت‌های مورد نظر ترکیب براسینواستروئید (سیگما الدریج) در آب‌مقطر، میوه‌ها را در ظرف‌های مخصوص ریخته و به مدت ۵ دقیقه به طور کامل غوطه‌ور شد و سپس براساس نوع تیمار دمایی در محیط آزمایشگاه و یخچال قرار داده شدند. سنجش صفات پس از ۲۴ ساعت (روز اول) و روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ روز از اعمال تیمارها انجام گردید.

اندازه‌گیری خصوصیات کیفی

سفتی بافت گوشت میوه‌های موز توسط دستگاه سفتی سنج^۱ (FG-5020) اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری قند محلول ابتدا آب‌میوه را با استفاده از آب‌میوه‌گیر جدا کرده و سپس از کاغذ صافی واتمن عبور داده و روی رفراکتومتر دستی مدل ATAGO قرار داده و عدد مربوطه از روی ستون مدرج قرائت شد. اندازه‌گیری اتیلن با دستگاه GC مدل شیمادز (Shimadzu) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری نشت یونی از روش لوتس و همکاران^۲ (۱۹۹۶) استفاده شد.

اندازه‌گیری خصوصیات مرتبط با آنتی‌اکسیدانت‌ها

برای استخراج عصاره گیاهی برای سنجش فعالیت کاتالاز ابتدا ۵/۰ گرم از بافت تازه میوه به‌همراه ۳ میلی‌لیتر بافر تریس-اسیدکلریدریک ۸۰ میلی‌مولار (pH=۷) (محتوی ۳ میلی‌مولار کلریدمنیزیم^۲، ۱ میلی‌مولار EDTA سدیم)، در هاون سرد ساییده هموژنات حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰۰۰۰ هزار دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محلول‌های رویی برای سنجش فعالیت آنزیمی پراکسیداز و کاتالاز در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد جهت سنجش فعالیت آنزیمی نگهداری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه‌گیری سرعت حذف پراکسید هیدروژن بر اساس روش بیرز و سایزر^۳ (۱۹۵۲) انجام شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از روش آپادهیا^۴ و همکاران (۱۹۸۵) انجام شد. سنجش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با روش گیانوپولیتیس و رایس^۵ (۱۹۷۷) و به کمک سنجش مهار حیای نوری نیتروبلوترازولیوم در طول

4. Updhyaya
5. Giannopolitis and Ries

1. Lutron
2. Lutts
3. Beers and Sizer

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس اثر دما و براسینواستروئید بر سفتی میوه، قند کل محلول، ظاهر میوه، نشت یون و محتوای اتیلن موز در طول نگهداری

میانگین مربعات					
منابع تغییرات	درجه آزادی	سفتی میوه	مواد جامد محلول	نشت یونی	اتیلن
دما	۲	۱۶/۴۵**	۴۷۵/۳۱**	۷۰۷/۹۱**	۲۰۲/۹۷**
براسینواستروئید	۲	۷/۳**	۲/۳۷ ^{ns}	۳۲/۲۸**	۳/۱۶**
زمان	۳	۰/۵۸۲ ^{ns}	۳۳/۹۲**	۱۱۷**	۴/۴۶**
براسینواستروئید×دما	۴	۸/۹۵**	۱۲۰/۹۵**	۱۳/۰۶**	۱/۳۴**
زمان×دما	۶	۰/۰۰۶ ^{ns}	۰/۰۴۱**	۰/۰۱۸**	۲/۱۷**
براسینواستروئید×زمان	۶	۰/۰۱۱ ^{ns}	۰/۰۷۲**	۰/۰۷۴ ^{ns}	۰/۳۸**
دما×براسینواستروئید×زمان	۱۲	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۰۴**	۰/۰۴۱ ^{ns}	۱/۵۶**
ضریب تغییرات %		۱۲	۹	۴/۶	۶/۷

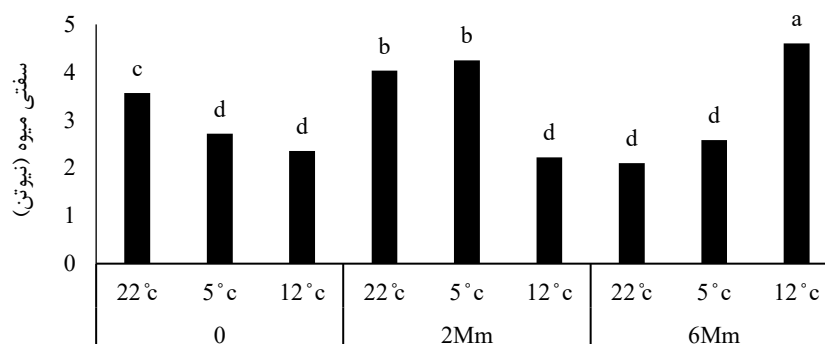
ns، * و **، به ترتیب در سطوح ۵٪ و ۱٪ غیر معنی دار و معنی دار هستند

افزایش سطح استفاده تیمار براسینواستروئید توانسته است میزان فعالیت این آنزیم را تعدیل نماید (لوتس و همکاران، ۱۹۹۶). کاربرد براسینولید در غلظت ۵ میکرومولار باعث کاهش پوسیدگی پس از برداشت، به تأخیر انداختن پیری میوه جوجوبا و افزایش درجه سفتی از طریق کاهش بیوسنتز اتیلن و سرعت تنفس می‌گردد (ژو و همکاران، ۲۰۱۰). ولی پور و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند نگهداری موزهای کاملاً رسیده بیش از دو هفته تحت تمام شرایط مورد آزمایش (تأثیر تیمارهای دمایی و غلظت‌های براسینواستروئید) سفتی بافت و بازارپسندی خود را از دست دادند.

مواد جامد محلول

با توجه به نمودار مقایسه میانگین تأثیر دما و براسینواستروئید تحت دوره انبارمانی میوه موز مشخص گردید که تیمار دمای محیط در روز بیست و یکم نگهداری بدون استفاده از براسینواستروئید دارای بیشترین قند محلول و تیمار دمای ۵ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار برازینواستروئید ۶ میکرومولار در روز اول نگهداری دارای کمترین قند محلول بود (شکل ۲). در بررسی ضرایب همبستگی (جدول ۳) مشخص گردید که شاخص قند محلول کل با صفت سفتی بافت میوه و میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز همبستگی مثبتی از خود نشان داد. میزان ماده جامد

رخ می‌دهد که اتصال این پلیمرهای پکتینی به دیواره سلولی در مرحله رسیدگی سست تر می‌شود (کلبک^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). اثر براسینواستروئید در افزایش سفتی گوشت میوه را می‌توان به اتصال آنها به ترکیبات پکتیکی دیواره سلول نسبت داد. اتصال مذکور مانع از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره از جمله پکتین‌استراز، پکتین‌متیل‌استراز و پلی‌گالاکتروناز شده در نتیجه نرم شدن میوه‌ها در انبار کاهش می‌یابد (کوستا^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). کانوی و سامز^۳ (۱۹۸۷)، همچنین اظهار نمودند که علت اولیه نرم شدن میوه، تبدیل پلیمرهای پکتین غیر محلول به مواد محلول در تیغه میانی در دماهای بالا است. تیغه میانی اولین لایه تشکیل یافته بعد از تقسیم سلولی است که غنی از مواد پکتیکی است و موجب تماس و چسبندگی سلول‌ها به یکدیگر می‌گردد. در میوه، آنزیم پلی‌گالاکتروناز موجب تجزیه مواد پکتیکی غیرمحلول دیواره سلولی و جدار کوتین گردیده و موجبات کاهش سفتی بافت را فراهم می‌آورد. محققان رابطه مثبتی را بین میزان فعالیت این آنزیم و افزایش دمای محیط نگهداری میوه‌ها گزارش کرده‌اند (ژو^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین کاهش درجه سفتی در دمای محیط به خصوص در تیمار شاهد و کاربرد ۲ میکرومولار را به تشدید فعالیت آنزیم مذکور می‌توان نسبت داد. اما کاهش دما و همچنین



غلظت‌های مختلف براسینواستروئید (mM) و دمای نگهداری (درجه سلسیوس)

شکل ۱- میزان تغییرات سفتی بافت میوه‌های موز تحت تأثیر دما و براسینواستروئید. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جداگانه آن‌ها توانست مقدار ماده جامد محلول را بیشتر کاهش دهد. نتایج حاضر با پژوهش حیدرنژادگیلو و ترابی-گیلو^۲ (۲۰۲۳) مطابقت دارد. همچنین کاهش میزان ماده جامد محلول در ترکیب دو تیمار را می‌توان به این شکل تفسیر نمود که تیمارهایی مانند براسینواستروئید روند کاهش ماده جامد محلول را به دلیل گند شدن فرایند رسیدگی میوه و کاهش تنفس تعدیل می‌نمایند. بدون تردید تیمار براسینواستروئید نیز با کاهش سرعت تنفس و فرآیند پیری الگوی تغییر مواد جامد محلول را کمتر کاهش داده است (فویر^۳ و همکاران، ۱۹۹۴). همچنین استفاده از براسینواستروئید و دما با افزایش مدت نگهداری موجب کاهش مقدار قند محلول گردید که بسیار مهم می‌باشد و در طعم میوه اهمیت دارد. استفاده از براسینواستروئید خواص مکانیکی غشاء سلولی را تغییر داده، موجب تحریک هیپولاریزاسیون غشاء و فعالیت ATPase و همچنین تغییر بیوسنتز اتیلن در سلول‌ها می‌شود و از این طریق موجب بهبود خواص کیفی میوه می‌شوند (بلوم و همکاران، ۲۰۰۴).

نشت یونی

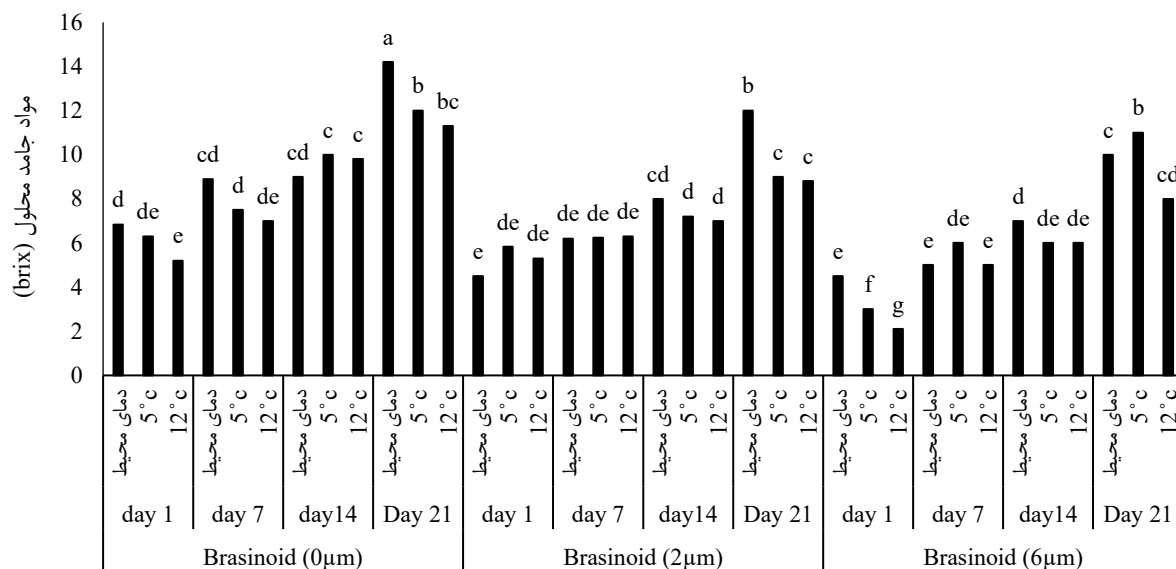
اثر متقابل دمای ۱۲ درجه و براسینواستروئید ۶ میکرومولار موجب کاهش نشت یونی به میزان ۴۲ درصد نسبت به شاهد گردید (شکل ۳). دلیل بالا بودن مقدار نشت یونی در تیمار دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد در مطالعه حاضر را می‌توان به اختلال در عملکرد غشای سلولی و نفوذپذیری انتخابی آن نسبت داد که به دنبال آن نشت یون‌ها به خارج از سلول اتفاق می‌افتد. در شرایط دمای ۵ درجه سانتی‌گراد

محلول یکی از عوامل مهم در کیفیت میوه می‌باشد و کاهش این مواد از کیفیت و بازارپسندی میوه می‌کاهد. مقایسه میانگین تیمارهای اثر متقابل دما و براسینواستروئید نشان داد در هر چهار دوره انبارمانی در طول دماهای مختلف، با افزایش غلظت براسینواستروئید مقدار قند محلول کاهش یافت که نشان‌دهنده اثر مثبت براسینواستروئید بر کاهش تنفس میوه موز بود زیرا با افزایش مدت انبارمانی تنفس افزایش پیدا کرده و در نتیجه مقدار مواد جامد محلول افزایش می‌یابد. با توجه به عملکرد آنزیم کلیدی، ساکاروز فسفاتازسینتاز در بیوسنتز ساکاروز، TSS و قندهای محلول در طول رسیدگی و انبارمانی میوه افزایش می‌یابد (سیاری و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات روی میزان مواد جامد محلول نشان می‌دهد که عواملی که باعث کاهش مقدار و نیز تولید اتیلن می‌شوند به واسطه کاهش مصرف قندها از افزایش مواد جامد قابل حل جلوگیری می‌کنند. بنابراین کاهش میزان ماده محلول احتمالاً به دلیل نقش براسینواستروئید در کاهش تولید اتیلن و نیز نقش آن در تغییر فرآیندهای درون سلولی و برون سلولی باشد که افزایش مواد جامد محلول به تأخیر می‌افتد. (بلوم^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). در مطالعه عین‌الدین و حاجیلو (۱۳۹۵) با افزایش طول دوره انبارمانی بر مقدار ماده جامد محلول میوه افزوده شد که همسو با نتایج مطالعه حاضر است. می‌توان گفت در این بررسی کاربرد براسینواستروئید و دما اثر کاهشی بر مقدار تغییرات ماده جامد محلول داشته‌اند به‌طوری‌که کاربرد همزمان دو تیمار در مقایسه با کاربرد

3. Foyer

1. Bloom

2. Heydarnajad Giglou and Torabi Giglou

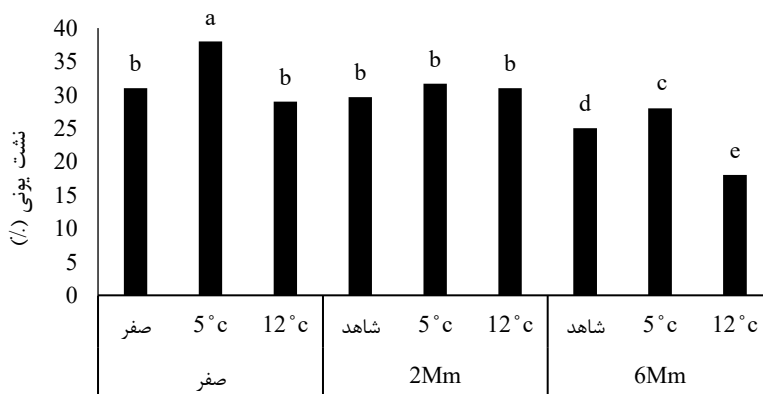


غلظت های مختلف براسینوئید (mM)، دماهای مختلف (درجه سلسیوس) و مدت زمان نگهداری (روز)

شکل ۲- تغییرات میزان TSS میوه‌های موز تحت تیمار با براسینواستروئید طی انبارمانی در شرایط دمایی. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

(۱۳۵۸). آراین پویا و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی حساسیت برخی از ارقام هلو و شلیل به سرمای زمستان گزارش کردند تیمار با براسینواستروئید ممکن است به سازگاری غشای سلول به دماهای اندک بینجامد و در حفظ سیالیت غشا در دمای پایین مؤثر واقع می‌شود. همچنین با توجه به جدول ضرایب همبستگی (جدول ۳) مشخص گردید صفت نشت یونی با میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز، میزان تولید اتیلن و قند محلول کل همبستگی بسیار قوی داشت ولی با شاخص سفتی میوه همبستگی منفی از خود نشان داد (جدول ۳).

بدون تیمار براسینواستروئید در طی انبارمانی احتمالاً تولید رادیکال‌های آزاد بیش از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بافت متأثر از تنش دمایی است. در این حالت رادیکال‌های آزاد با اسید چرب غیراشباع غشای سلولی واکنش داده و باعث پراکسیده شدن لیپیدهای غشا می‌شود. به دنبال آن نفوذپذیری انتخابی از دست رفته و یون‌ها به سمت بیرون از سلول نشت پیدا می‌کنند (کریمی‌علویجه و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین نشت یون‌ها از دیواره سلولی ناشی از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی، فعالیت این آنزیم‌ها در دما بیشتر می‌شود (صانعی‌شریعت‌پناهی،



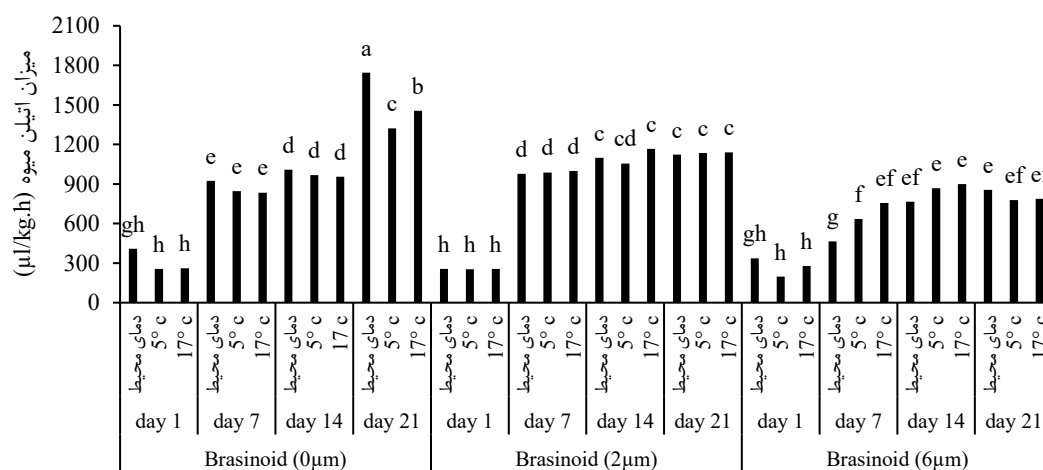
غلظت های مختلف براسینواستروئید (mM) و دمای نگهداری (درجه سلسیوس)

شکل ۳- تغییرات نشت یونی تحت تأثیر دما و براسینواستروئیدهای میوه موز. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

اتیلن

مقایسه میانگین تأثیر دما و براسینواستروئید بر مقدار اتیلن تولید شده در طی نگهداری میوه موز (شکل ۴) نشان داد که بیشترین اتیلن تولید شده در میوه موز تحت تیمار دمای محیط در روز بیست و یکم بدون تیمار براسینواستروئید بود و کمترین اتیلن تولید شده در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار براسینواستروئید ۶ میکرومولار در روز اول نگهداری بود به‌طوری که تیمار ۶ میکرومولار براسینواستروئید در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش اتیلن به میزان ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید. در دماهای بالاتر به‌علت افزایش تولید گاز اتیلن به مقادیر بالاتر براسینو

استروئید جهت کاهش میزان تولید نیاز است. براسینو استروئید با کاهش میزان تنفس سلولی و فعالیت‌های آنزیم‌های مرتبط با سنتز اتیلن از تولید ماده مذکور در میوه جلوگیری به عمل می‌آورد. عین‌الدین و همکاران (۱۳۹۵) نیز اظهار داشتند کاربرد براسینواستروئید از مقدار تولید اتیلن در دوره‌های مختلف نگهداری در توت‌فرنگی کاست. همچنین با توجه به جدول ضرایب همبستگی (جدول ۳) مشخص گردید میزان تولید اتیلن با شاخص میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز همبستگی بسیار قوی و با صفت قند محلول کل همبستگی مثبتی از خود نشان داد و با سفتی میوه همبستگی منفی داشت که بسیار منطقی بود.



غلظت‌های مختلف براسینوئید (mM)، دماهای مختلف (درجه سلسیوس) و مدت زمان نگهداری (روز)

شکل ۴- تغییرات میزان اتیلن میوه‌های موز تحت تیمار با براسینواستروئید طی انبارمانی در شرایط دمایی. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان اثر اصلی براسینواستروئید در سطح احتمال یک درصد بر مقدار پراکسیداز میوه و اثر اصلی دما بر مقدار فعالیت آنزیم کاتالاز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل براسینواستروئید و دما بر میزان فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

آنزیم پراکسیداز

اثر تیمار براسینواستروئید بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مشاهده گردید که با افزایش غلظت براسینواستروئید میزان

فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت. به‌طوری که بیشترین میزان فعالیت آن در تیمار ۶ میکرومولار براسینواستروئید (۸ درصد نسبت به شاهد) مشاهده گردید (شکل ۵). در تحقیق قربانی و پاک‌کیش (۱۳۹۵) اثر سطوح براسینو استروئید بر میزان آنزیم پراکسیداز معنی‌دار بود و با افزایش سطح این هورمون از صفر به ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر بر مقدار آنزیم مذکور افزوده شد که همسو با نتایج تحقیق حاضر است. استفاده از براسینواستروئیدها می‌توانند تولید آنتی اکسیدان‌های مختلف نظیر سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، آسکوربیک اسید را تحت تنش افزایش دهند (فان^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). ضرایب همبستگی (جدول ۳) نشان داد

که شاخص میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز با شاخص میزان فعالیت آنزیم کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز، مقدار قند محلول (۰/۱۹۸)، مقدار تولید اتیلن (۰/۴۴۳) و نشت یونی همبستگی بسیار قوی از خود نشان داد و با شاخص سفتی بافت میوه همبستگی منفی داشت.

کاتالاز

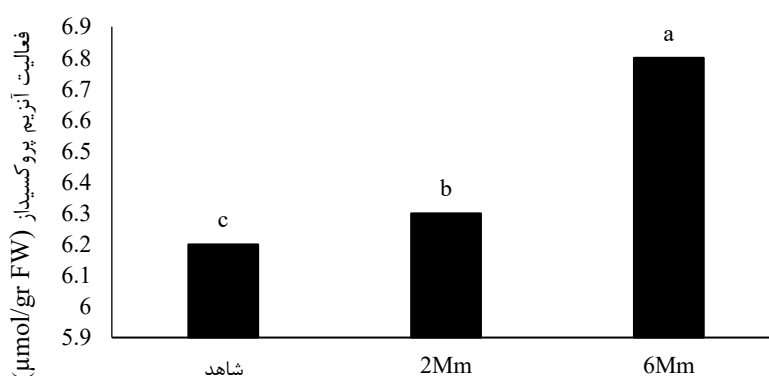
نمودار مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که میزان فعالیت آنزیم کاتالاز میوه موز در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت (۹۷ درصد نسبت به شاهد). کاتالاز با همکاری پراکسیداز و دیگر آنزیم‌ها، پراکسید هیدروژن تولیدی در مواجهه با سلول تنش را از بین می‌برد

با وجود جایگاه مشخص این آنزیم که در پراکسی‌زوم و گلی اکسی‌زوم‌ها می‌باشد، کاتالاز نقش کلیدی در مواجهه با تنش‌های اکسیداتیو دارد (فاروق^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). دفاع آنتی‌اکسیداتیو در طی مراحل اول سازگاری گندم زمستانه نتیجه گرفتند، در روز دوم بعد از تنش دمای دو درجه سانتی‌گراد، افزایش معنی‌داری در سنتز آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز نسبت به روز اول مشاهده شد (احمدی‌موسوی^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). یانگ^۳ و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر تنش دما را بر توت‌فرنگی بررسی و گزارش کردند که ابتدا فعالیت آنزیم پراکسیداز به‌شدت افزایش پیدا کرد، اما با کاهش بیشتر دما، فعالیت به آرامی صورت

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس اثر دما و براسینواستروئید بر پراکسیداز، کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز موز در طول نگهداری

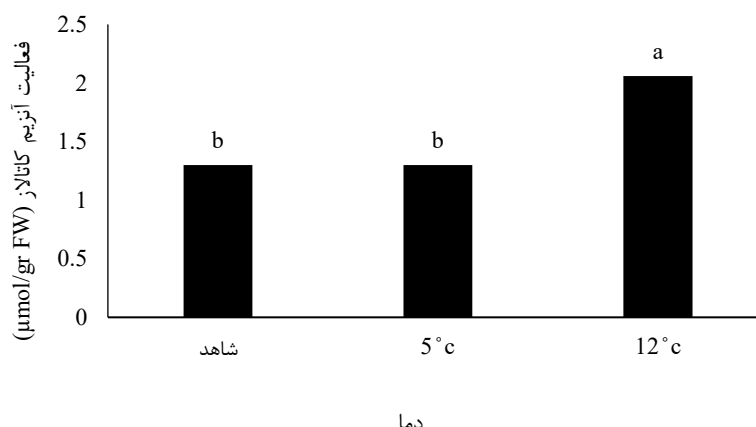
میانگین مربعات				
منابع تغییرات	درجه آزادی	پروکسیداز	کاتالاز	سوپراکسیددیسموتاز
دما	۲	۳۵/۸۴ ^{ns}	۶/۴۴ ^{**}	۶/۸۶ ^{**}
براسینواستروئید	۲	۰/۸۴ ^{**}	۱/۵۰ ^{ns}	۱/۷۴ ^{**}
زمان	۳	۱۲۶ ^{ns}	۰/۲۹ ^{ns}	۱/۸۶ ^{**}
براسینواستروئید×دما	۴	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۲۶ [*]
زمان×دما	۶	۰/۰۰۴ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۱۲ ^{ns}
براسینواستروئید×زمان	۶	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}
دما×براسینواستروئید×زمان	۱۲	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}
ضریب تغییرات		۶/۴	۸/۶	۴/۰۲

ns، * و **، به ترتیب در سطوح ۵٪ و ۱٪ غیر معنی دار و معنی دار هستند



براسینواستروئید

شکل ۵- میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تأثیر براسینواستروئید در میوه‌های موز. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.



شکل ۶- میزان فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر دمای نگهداری در میوه‌های موز. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

قندهای احیاء، ویتامین ث، آنتوسیانین، کاروتنوئیدها، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پروکسیداز به استثناء آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در میوه‌های تیمارشده، بیشتر از شاهد بود. ضریب همبستگی میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (جدول ۳) نشان داد میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز با کلیه صفات به‌جز سفتی بافت میوه همبستگی بسیار قوی از خود نشان داد.

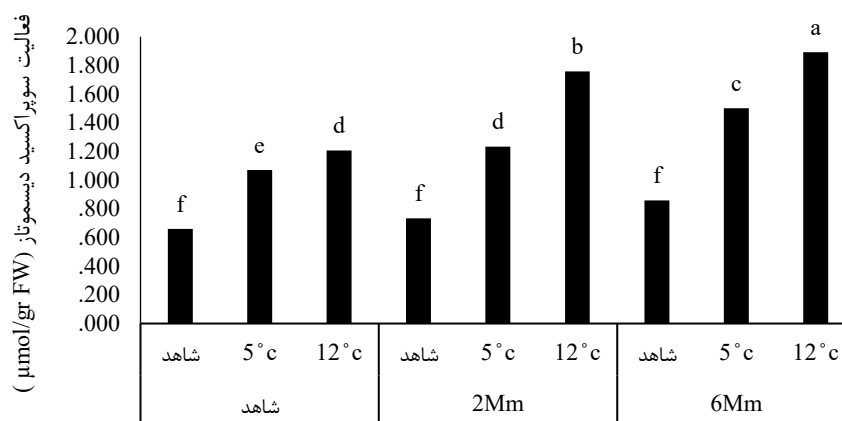
نتیجه‌گیری کلی

با افزایش طول دوره انبارمانی از درجه سفتی میوه کاسته و بر مقدار ماده جامد محلول، اتیلن، نشت یونی، و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت افزوده شد. در این بررسی کاربرد براسینو استروئید موجب افزایش سفتی بافت، مقدار سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پروکسیداز شد. در تحقیق حاضر کاربرد براسینو استروئید توانست اثر تنش سرما را تعدیل نماید همچنین در بین سطوح دما و براسینو استروئید سطح دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد همراه با سطح ۶ میکرومولار نسبت به سایر تیمارها مطلوب‌تر بود. اثر براسینو استروئید بر مقدار آنزیم پروکسیداز معنی‌دار بود و مقدار آنزیم مذکور را افزایش داد که در پس از برداشت، اهمیت زیادی دارد. براسینو استروئید توانست اثر معنی‌داری بر تعدیل تنش سرما در موز داشته باشد. در بین سطوح دما و براسینو استروئید سطح دمای ۱۲ درجه همراه با سطح ۶ میکرو مولار بیشترین تأثیر را بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را داشت. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش دمای ۱۲ درجه و استفاده از غلظت ۶ میکرومولار برای انبارمانی میوه‌های موز توصیه می‌شود.

گرفت. همچنین مقایسه ضرایب همبستگی (جدول ۳) نشان داد که شاخص میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با شاخص میزان فعالیت آنزیم پروکسیداز (۰/۲۷۵)، میزان تولید اتیلن و نشت یونی همبستگی بسیار قوی و با شاخص قند محلول دارای همبستگی مثبت و با شاخص سفتی بافت میوه همبستگی منفی داشت.

سوپراکسید دیسموتاز

طی بررسی اثرات متقابل دما و براسینو استروئید بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مشاهده شد که تیمار ۶ میکرومولار براسینو استروئید در دمای ۱۲ درجه سانتی‌گراد به میزان ۹۸ درصد موجب افزایش آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گردید (شکل ۷). احتمالاً تیمار براسینو استروئید موجب افزایش فعالیت آنزیمی در میوه گردیده است. سلیمانی‌اقدم و اصغری (۱۳۹۳) در مطالعه کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی با تیمار براسینو استروئید دریافتند که براسینولید در غلظت شش میکرومولار بیشترین تأثیر را در کاهش میزان سرمازدگی، نشت یونی و میزان فعالیت آنزیمی و همچنین افزایش میزان پرولین میوه‌ها داشت. قربانی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه تیمارهای پس از برداشت نیتریک‌اکسید و براسینو استروئید برای کاهش اثرات نامطلوب سرما روی میوه پرتقال واشنگتن‌ناول طی انبارمانی اظهار داشتند پرواکسیداسیون لیپیدها، نشت یون و میزان آب‌اکسیژنه، طی انبارمانی افزایش یافتند ولی میوه‌های تیمارشده با براسینو استروئید این صفات نامطلوب را کمتر افزایش دادند همچنین میزان ترکیبات فنلی، pH، کل مواد جامد محلول،



غلظت های مختلف براسینواستروئید (mM) و دمای نگهداری (درجه سلسیوس)

شکل ۶- میزان فعالیت آنزیم کاتالاز تحت تأثیر دمای نگهداری و براسینواستروئید در میوه‌های موز. ستون‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی در تیمارهای براسینواستروئید تحت تأثیر دمای انبار

سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	نشت یونی	اتیلن	مواد جامد محلول	سفتی میوه	پروکسیداز
پروکسیداز						
سفتی میوه					-	۰/۲۸**
مواد جامد محلول				-	۰/۶۵**	۰/۱۹۸**
اتیلن			-	۰/۱۰۵	-۰/۳۱۷	۰/۴۴۳**
نشت یونی		-	۰/۳۹۶**	۰/۰۸۸**	-۰/۴۹۲	۰/۶۱۲**
کاتالاز	-	۰/۲۷۰**	۰/۳۴۶**	۰/۵۶	-۰/۱	۰/۲۵۲**
سوپراکسید دیسموتاز	۰/۲۷۵**	۰/۳۴۵**	۰/۰۹۸**	۰/۴۸۸**	-۰/۰۸۸	۰/۳۵۹**

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

منابع

آرین‌پویا، ز.، داودی‌نژاد، غ.ج. و عطار، ش. ۱۳۸۸. بررسی خصوصیات بیوشیمیایی برخی از ارقام هلو و شلیل به سرمای زمستان ۱۳۸۶ مشهد. مجله علوم باغبانی، ۲۳(۱): ۷۸-۸۷.

حیدرنژاد گیگلو، ر.، قهرمانی، ز.، برزگر، ط. و ربیعی، و. ۱۳۹۷. اثر مرحله برداشت و مدت زمان انبارمانی بر کیفیت میوه عروسک پشت‌پرده.. به‌زراعی کشاورزی، ۲۰(۲): ۳۸۳-۳۹۵.

سلیمانی‌اقدام، م. و اصغری، م.ر. ۱۳۹۳. کاهش سرمازدگی پس از برداشت میوه گوجه‌فرنگی با تیمار براسینواستروئید. مجله پژوهش‌های گیاهی، ۲۷(۳): ۴۲۷-۴۳۹.

صانعی‌شریعت‌پناهی، م. ۱۳۵۸. مورفولوژی و فیزیولوژی میوه. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۴۵ ص.

عین‌الدین، م.ص. و حاجیلو، ج. ۱۳۹۵. اثر کاربرد پس از برداشت متیل‌جاسمونات بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری توت‌فرنگی رقم کاماروسا. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی، ۲۶(۲): ۲۷۸-۲۸۸.

- قربانی، ب. و پاک‌کیش، ز. ۱۳۹۵. در مطالعه اثرات برانواستروئید بر کاهش اثرات نامطلوب سرما در میوه انگور رقم ریش‌بابا (*Vitis vinifera* L. Rish baba). تولیدات گیاهی، ۳۹(۴): ۶۰-۷۵.
- کریمی‌علویجه، م.، عبادی، ع.، موسوی، م. و سلامی، ع.ر. ۱۳۹۴. در بررسی تغییرات آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و پروتئین کل در پاسخ به تنش سرما در برخی ارقام انگور. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳: ۳۵۱-۳۷۴.
- ولی‌پور، ح.، سعادت، ص.، سرلک، س.، رامین، ع. ۱۳۹۴. تأثیر سالیسیلیک‌اسید و دمای نگهداری بر خسارت سرمازدگی میوه موز. هشتمین همایش ملی یافته‌های پژوهشی کشاورزی. ۲۳-۲۴ اردیبهشت. دانشگاه کردستان.
- Ahmadi Mousavi, E., Kalanti, Kh., and Torkzadeh, M. 2006. Effects of 24- epibrassinolide on lipid peroxidation, prolin, sugar and photosynthesis pigments content of canola (*Brassica napus* L.) under water stress. Iran Journal Biology, 18(4): 295-306.
- Apostolova, P., Yaneva, I., Apostolova, P. and Yaneva, I., 2006. Antioxidative defence in winter wheat plants during early cold acclimation. Plant Physiology, 21: 101-108.
- Beers, R.F. and Sizer, I.W. 1952. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. Journal Biological Chemistry, 195(1): 133-140.
- Bloom, A.J., Zwieniecki, M.A., Passioura, J.B., Randall, L.B., Holbrook, N.M. and St. Clair, D.A. 2004. Water relations under root chilling in a sensitive and tolerant tomato species. Plant, Cell and Environment, 27(8): 971-979.
- Conway, W.S. and Sams, C.E. 1987. The effects of postharvest infiltration of calcium, magnesium, or strontium on decay, firmness, respiration, and ethylene production in apples. Journal of the American Society for Horticultural Science, 112(2): 300-303.
- Costa, F., Bregoli, A.M., Costa, G. and Ziosi, V. 2006, August. Effects of exogenous application of jasmonates and 1-methylcyclopropene (1-MCP) for pre-and postharvest control of peach and apple fruit ripening. In XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Endogenous and Exogenous Plant Bioregulators, 774: 179-186.
- Fan, X., Mattheis, J.P. and Fellman, J.K. 1998. Responses of apples to postharvest jasmonate. Journal of the American Society for Horticultural Science, 123: 421-425.
- Farooq, M., Wahid, A. and Basra, S.M.A. 2009. Improving water relations and gas exchange with brassinosteroids in rice under drought stress. Journal of Agronomy and Crop Science, 195(4): 262-269.
- Foyer, C.H., Lelandais, M. and Kunert, K.J. 1994. Oxidative stress in plants. Physiol Plant, 92: 696-717.
- Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K., 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology, 59(2): 309-314.
- Heydarnajad Giglou, R. and Torabi Giglou, M. 2023. Effects of calyx coating and storage temperature on antioxidant substances of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). International Journal of Horticultural Science and Technology, 10(1): 23-32.
- Kelebek, H., Selli, S., Canbas, A. and Cabaroğlu, T. 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. Microchemical Journal, 91(2): 187-192.
- Kudachikar, V.B., Kulkarni, S.G., Prakash, M.K., Vasantha, M.S., Prasad, B.A. and Ramana, K.V.R. 2001. Physico-chemical changes during maturity of mango (*Mangifera indica* L.) variety "Neelum". Horticultural Science and Technology, 38: 540-542.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. Annals of Botany, 78(3): 389-398.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Serrano, M. and Valero, D. 2011. Vapour treatments with methyl salicylate or methyl jasmonate alleviated chilling injury and enhanced antioxidant potential during postharvest storage of pomegranates. Food Chemistry, 124(3): 964-970.
- Upadhyaya, A., Sankhla, D., Davis, T.D., Sankhla, N. and Smith, B.N. 1985. Effect of paclobutrazol on the activities of some enzymes of activated oxygen metabolism and lipid peroxidation in senescing soybean leaves. Journal of Plant Physiology, 121(5): 453-461.

- Vidya Vardhini, B. and Seeta Ram Rao, S. 2003. Amelioration of osmotic stress by brassinosteroids on seed germination and seedling growth of three varieties of sorghum. *Plant Growth Regulation*, 41: 25-31.
- Wasternack, C. 2007. Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. *Annals of Botany*, 100(4): 681-697.
- Zhu, Z., Zhang, Z., Qin, G. and Tian, S. 2010. Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, 56(1): 50-55.