مجله علوم و فنون باغبانی ایران جلد ۲۴ شماره ۳ صفحه‌های ۴۰۳ تا ۴۱۸ (۱۴۰۲)
مقاله پژوهشی

# تاثیر تیمار پس از برداشت گاماآمینو بوتیریک اسید (گابا) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana*) در دوره انبارمانی

# The Effect of Postharvest Treatment of Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) on the Physico-Chemical Characteristics of *Physalis peruviana* Fruit during the Storage

**پریسا حیاتی[۱]، مهدی حسینی فرهی[۱و۲*]، غلامرضا عبدی[*۳]، محسن رادی[۲و۴] و لیلا تقی پور[۵]**

۱. گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج. ایران.
۲. گروه پژوهشی کشاورزی پایدار و امنیت غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران.
۳. گروه زیست فناوری، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
۴. گروه علوم صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۵. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی. :۷۴۱۳۵-۱۱۱، جهرم، ایران.
* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (mehdi.hosseinifarahi@iau.ac.ir و abdi@pgu.ac.ir).

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۹

## چکیده

عروسک پشت پرده یا فیسالیس (*Physalis peruviana* L.) میوه‌ای پرطرفدار است که به‌دلیل وجود خواص تغذیه‌ای و دارویی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این میوه ارزشمند دارای عمر کوتاهی می‌باشد و تاکنون تحقیقات بسیار کمی در زمینه فیزیولوژی پس از برداشت آن صورت گرفته است. بدین منظور آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح به‌طور کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتور اول سطوح مختلف غلظت‌های گاما آمینو بوتیریک اسید (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار)، فاکتور دوم زمان انبارداری در ۳ سطح (۷، ۱۴ و ۲۱ روز نگهداری در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد) و فاکتور سوم مرحله برداشت (بر اساس رنگ ظاهری میوه در دو سطح سبز مایل به زرد و نارنجی) بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان کاهش وزن در میوه‌های تیمار شده با گابا در پایان دوره انبارداری نسبت به میوه‌های شاهد کمتر بود و بیشترین میزان کاهش وزن (۱۲/۶۲ درصد) پس از ۲۱ روز انبارمانی در میوه‌های شاهد نارنجی رنگ، در مقایسه با سایر تیمارها به‌دست آمد. سفتی بافت میوه‌های تیمار شده با گابا در پایان دوره انبارمانی کاهش کمتری نسبت به میوه‌های تیمار نشده نشان داد، به‌طوریکه بیشترین کاهش سفتی پس از ۲۱ روز انبارمانی، در میوه‌های شاهد نارنجی رنگ مشاهده شد. کاربرد گابا میزان پوسیدگی را به طور معنی‌داری کاهش داد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گوایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در میوه‌های تیمار شده با ۱۵ میلی مولار گابا در مقایسه با میوه‌های شاهد مشاهده شد. در نهایت کاربرد پس از برداشت گابا در غلظت ۱۵ میلی مولار برای حفظ کیفیت میوه فیسالیس پیشنهاد می‌شود.

**واژه های کلیدی:** شاخص طعم، درصد پوسیدگی، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گوایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز.

## مقدمه

فیسالیس یا همان عروسک پشت پرده با نام علمی *Physalis peruviana* L.، یکی از امیدبخش‌ترین میوه‌های گرمسیری به‌دلیل رشد سریع و عملکرد بالا می‌باشد (Valdenegro *et al*., 2012)، که امروزه با امکان گسترش تولید بالای آن در گلخانه،

قابلیت فرآوری آن در صنایع تبدیلی و استقبال زیاد بازارهای خارجی در خرید این محصول برخلاف بالابودن قیمت آن در بازارهای جهانی، مورد توجه بسیاری از گلخانه‌داران قرارگرفته است (Valdenegro *et al*., 2012). فیسالیس گیاهی متعلق به تیره سیب‌زمینی و بومی آمریکای جنوبی در ارتفاعات گرمسیری کلمبیا، شیلی، اکوادور و پرو است که میوه‌ها به صورت وحشی در این مناطق رشد می‌کنند (Valdenegro *et al*., 2012; Pereda *et al*., 2019). فیسالیس میوه‌ای پرطرفدار است که به دلیل خواص ارگانولپتیک (عطر و طعم، بو و رنگ)، ارزش غذایی (ویتامین های A و C، پتاسیم، فسفر و کلسیم) و فواید آن برای سلامتی شناخته می‌شوند. این میوه هم‌چنین در تهیه انواع سس‌ها، شربت‌ها و مارمالادها و برای استفاده در نانوایی‌ها، کوکتل‌ها، میان وعده‌ها و صبحانه غلات استفاده می‌شود (Yıldız *et al*., 2015). از نظر عطر و طعم و شکل ظاهری آن تا حدودی شبیه گوجه فرنگی است. این میوه منبع خوبی از پرو ویتامین A، مواد معدنی مانند فسفر، ویتامین C و ویتامین B می باشد. این میوه حاوی ۱۵٪ مواد جامد محلول کل است. رنگ پوست میوه فیسالیس را می‌توان به‌عنوان شاخص بلوغ در نظر گرفت. میوه‌ها زمانی برداشت می‌شوند که کاسه گل به رنگ قهوه‌ای کم رنگ در آید و بسته به رنگ نارنجی روشن یا طلایی بوده ولی به بلوغ بیش از حد نرسیده باشند (Yu *et al*., 2014).

گاما آمینوبوتیریک اسید[۱] (GABA)، یک آمینو اسید غیرپروتئینی چهارکربنی با یک گروه آمینه روی کربن g است، که به طورگسترده‌ای در باکتری‌ها، گیاهان و حیوانات یافت می‌شود. این ترکیب موثر و سازگار با محیط زیست، ماندگاری محصولات باغبانی را افزایش می دهد. گابا یک مولکول سیگنال طبیعی است که توسط گیاهان در پاسخ به تنش‌های غیر زیستی مانند دمای پایین، گرما، خشکی، تابش فرابنفش و غلظت زیاد دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود (Soleimani Aghdam *et al*., 2015).

در پژوهشی که به منظور بررسی اثر گابا بر کیفیت پس از برداشت میوه انار انجام گرفت، نشان داده شد که تیمارهای گابا تأثیر مثبتی در بهبود استحکام پوست (پوست میوه) و بذر، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای ترکیبات فنولی، عطر و طعم، شادابی بافت و شاخص های رنگ آریل داشته و باعث کاهش نشت یون شده است. این پژوهشگران کاربرد پس‌برداشت گابا را برای حفظ خصوصیات کیفی و افزایش ماندگاری میوه‌های انار پیشنهاد دادند (Nazoori *et al*., 2020).

در پژوهش دیگری اثر گابا بر روند قهوه‌ای شدن و رشد بیمارگرهای بیماری‌زا در سیب‌های تازه برش خورده بررسی شد، نتایج نشان داد که غوطه‌وری قطعات برش‌خورده سیب در ۲۰ میلی‌گرم در لیتر گابا به مدت ۱۰ دقیقه به طور قابل توجهی از روند قهوه‌ای‌شدن جلوگیری می‌کند. علاوه بر این میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) به طور قابل توجهی افزایش یافت، در حالی که فعالیت پلی‌فنول اکسیداز (PPO) مهار شد و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) حذف شدند. همچنین رشد باکتری‌ها، روی سیب‌های برش خورده به طور قابل توجهی کاهش یافت و رشد بیمارگرها از جمله استافیلوکوکوس اورئوس[۲]، سالمونلا تیفی‌موریوم[۳]، اشرشیا کلی[۴] و لیستریا مونوسیتوژنز[۵] مهار شد. علاوه بر این، فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز[۶] (PAL)، کیتیناز (CHI)[۷] و β 1- 3-گلوکاناز (GLU)[۸] در سیب های خرد شده تازه تلقیح شده با بیمارگرها، افزایش یافت (Gao *et al*., 2018). در پژوهشی میوه‌های هلو غوطه‌ور شده در ۲، ۴ و ۶ میلی‌مولار گابا در دمای یک درجه سلسیوس به‌مدت ۲۸ روز، بالاترین درجه سفتی، مواد جامد محلول کل، میزان فنول کل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نشان دادند. بنابراین کاربرد این ترکیب به عنوان یک ترکیب دوست‌دار محیط زیست سبب حفظ کیفیت در مدت دوره انبارمانی می‌شود (Soleimani Aghdam *et al*., 2016). در پژوهشی عمر پس از برداشت میوه‌های فیسالیس نگهداری شده در دمای اتاق به مدت ۱۱ روز تخمین زده شد (Ghasemi and Alizade Salteh, 2018).

عمر پس از برداشت میوه فیسالیس به دلیل افزایش سرعت بلوغ مرتبط با میزان تنفس بالا، عملکرد زیاد و حساسیت به اتیلن و محتوای آب زیاد که سبب کاهش وزن و سفتی می‌شود کوتاه است. این عوامل باعث کاهش کیفیت محصول می‌شود. از آنجایی که این محصول دارای عمر پس از برداشت کوتاهی بوده و به منظور مبارزه با عوامل مختلفی که باعث آسیب دیدن و کاهش کیفیت میوه‌ها می‌شود، از روش های متعددی از جمله پوشش‌های خوراکی استفاده شده است (Cárdenas-Barboza

---

۱- γ-Aminobutyric acid ۲- *Staphylococcus aureus* ۳- *Salmonella typhimurium* ۴- *Escherichia coli*
۵- *Listeria monocytogenes* ۶- Phenylalanine ammonia-lyase ۷- Chitinase ۸- B-1,3-glucanase

*et al.*, 2021). از این رو، در میان فناوری‌های پس از برداشتی که در حال حاضر مورد بررسی قرار گرفته‌اند، استفاده از مولکول‌های سیگنال گابا برجسته است که تاکنون روی میوه فیسالیس استفاده نشده است. با توجه به مطالب فوق، به‌منظور مطالعه تغییرات بیوشیمیایی میوه‌های فیسالیس در طول دوره انبارمانی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر گابا بر خصوصیات کیفی و تقویت احتمالی سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی طی دوره پس از برداشت، انجام شد.

# مواد و روش‌ها

ابتدا میوه های فیسالیس در دو مرحله بلوغ با رنگ سبز مایل به زرد (شاخص طعم ۷/۳۷ و میزان سفتی بافت میوه در زمان برداشت ۹۰۰/۰۷ کیلوپاسکال) و نارنجی رنگ (شاخص طعم ۹/۴۸ و میزان سفتی بافت میوه در زمان برداشت ۷۵۰ کیلوپاسکال) بر اساس رنگ ظاهری به صورت چشمی از گلخانه‌ای تجاری در شهرستان سعادت شهر (دارای عرض جغرافیایی ۳۰/۰۷۹ و طول جغرافیایی ۵۳/۱۳۹) واقع در استان فارس با دقت برداشت شدند. سپس میوه‌ها در کمترین زمان ممکن در جایخی به‌وسیله ماشین و با رعایت احتیاط جهت جلوگیری از هرگونه ضرب‌دیدگی به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه، میوه ها مجدد مورد بررسی قرار گرفته و میوه های دارای علایم آسیب دیدگی و غیریکنواخت حذف شده و میوه‌های سالم، هم اندازه و هم‌رنگ برای اعمال تیمارها انتخاب شدند. میوه های منتخب در غلظت‌های مختلف محلول گابا شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی مولار به مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور شدند و از آب مقطر به عنوان تیمار شاهد استفاده شد ( تیمارها در ۳ تکرار و در هر تکرار ۲۰ عدد میوه استفاده شد) و سپس با قرارگیری در دمای اتاق رطوبت‌گیری شدند و پس از بسته‌بندی در ظروف یکبار مصرف به مدت ۲۱ روز در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و رطوبت ۷۰ درصد نگهداری شدند. به منظور بررسی پارامترها هر هفته ( به مدت ۲۱ روز) میوه ها از انبار خارج شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

**پارامترهای مورد ارزیابی**

**کاهش وزن میوه**

درصد کاهش وزن میوه فیسالیس با توزین آنها در روزهای ۰ و بعد از ۷، ۱۴ و ۲۱ روز نگهداری در دمای ۱۵ درجه سلسیوس محاسبه گردید. نتایج به عنوان درصد کاهش وزن نسبت به وزن اولیه بیان شد (Hosseini Farahi *et al.*, 2018).

$$\text{کاهش وزن میوه (٪)} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times ۱۰۰$$

**درصد پوسیدگی میوه**

میزان پوسیدگی با بررسی تعداد میوه پوسیده و با استفاده از فرمول زیر به صورت درصد محاسبه شد ( Taghipour and Assar, 2021).

$$\text{شاخص پوسیدگی} = \frac{\text{تعداد میوه پوسیده}}{\text{تعداد کل میوه}} \times ۱۰۰$$

**سفتی بافت میوه**

سفتی بافت میوه فیسالیس با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دیجیتال بافت میوه (مدل LUTRON FR-5120) بر حسب کیلو پاسکال اندازه‌گیری شد (Hosseini Farahi *et al.*, 2018).

**شاخص طعم**

برای اندازه‌گیری شاخص طعم، ابتدا میزان مواد جامد محلول کل (TSS)[۱] آب میوه با استفاده از دستگاه قندسنج دیجیتالی مدل (ATAGO, Japan) بررسی شد و سپس مقدار ماده جامد محلول به درصد بیان شد. اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)[۲] با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH معادل ۸/۱ اندازه‌گیری شد. سپس از طریق تقسیم داده‌های TSS به داده‌های اسیدیته قابل تیتراسیون شاخص طعم به دست آمد (Hosseinifarahi *et al.*, 2021a).

۱- Total soluble Solids

۲- Titratable Acidity

**سنجش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز** (SOD)

بر اساس تغییر شیمیایی نیتروبلوتترازولیوم انجام شد. بدین منظور محلول واکنش شامل ۰/۰۵۵ مول نیترو بلوتترازولیوم، ۱/۴۲ درصد تریتون X-100 ، 0.1 mM EDTA[1] ، ۱۶ میلی‌مول پیروگالول بود که پس از اضافه‌کردن عصاره آنزیمی تغییر جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Nadri *et al.*, 2022).

**سنجش فعالیت کاتالاز** (CAT)

فعالیت کاتالاز براساس میزان تجزیه آب‌اکسیژنه انجام گردید. بدین منظور محلول واکنش شامل ۵۰ میلی مولار بافر فسفات پتاسیم با pH برابر با ۷ و ۱۵ میلی مولار آب اکسیژنه بود که پس از اضافه کردن عصاره آنزیمی (۵۰ میکرولیتر)، تغییر جذب توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر به مدت ۱ دقیقه ارزیابی شد (Nadri *et al.*, 2022).

**سنجش فعالیت گواياکول پراکسیداز** (GPX)

فعالیت این آنزیم با بررسی میزان افزایش جذب نوری در طول موج ۴۷۰ نانومتر در یک دقیقه به وسیله اسپکتروفتومتر بررسی شد. برای این منظور از ضریب خاموشی ۲۶/۶ میلی مولار بر سانتی‌متر، فعالیت آنزیم بر حسب میکرومول گواياکول اکسید شده در مدت یک دقیقه به ازای یک گرم وزن تازه نمونه محاسبه و گزارش شد (Assar *et al.*, 2021).

**سنجش فعالیت آسکوربات پراکسیداز** (APX)

۰/۳ میلی‌گرم از بافت میوه در ۳ میلی‌لیتر بافر زمینه همگن گردید. بافر زمینه شامل ۰/۲ میلی مولار EDTA، ۲ میلی‌مولار آسکوربات احیا شده، ۲٪ پلی وینیل پیرولیدین، با pH=۷ می‌باشد که روزانه تازه تهیه گردید. محلول همگن شده به مدت ۲۰ دقیقه در **g** ۱۲۰۰۰ و دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شده و محلول روشناور پس از عبور از فیلتر ۰/۴۵ میکرون جهت سنجش استفاده گردید. به‌منظور سنجش فعالیت این آنزیم، در ۲ میلی‌لیتر محلول واکنش که شامل ۲۵ میلی‌مول بافر فسفات (pH=۷)، ۰/۵ میلی مول آسکوربات، ۰/۱میلی‌مولار پراکسید هیدروژن و ۰/۱ میلی‌مول EDTA بود، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی اضافه گردید و پس از یک دقیقه تفاوت جذب در ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Nadri *et al.*, 2022).

**واکاوی داده‌ها**

این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح به‌طور کامل تصادفی با ۳ تکرار و در هر تکرار ۲۵ میوه انجام شد. فاکتور اول شامل سطوح مختلف غلظت‌های گابا (۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار) و فاکتور دوم زمان انبارداری در ۳ سطح (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) و فاکتور سوم مرحله برداشت (بر اساس رنگ ظاهری میوه به دو سطح سبز مایل به زرد و نارنجی تقسیم بندی شد) بود. واکاوی داده‌ها و انحراف معیار (SD)[2] با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام و میانگین‌ها توسط آزمون LSD [3] در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

# نتایج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده، اثر ساده زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن، درصد پوسیدگی، سفتی بافت و شاخص طعم در سطح یک درصد معنی‌دار بود و برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و زمان برداشت بر درصد پوسیدگی، سفتی بافت، شاخص طعم در سطح یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که میزان پوسیدگی و اسیدیته کل تحت تاثیر غلظت‌های مختلف گابا و زمان برداشت قرار نگرفت (جدول نشان داده نشده است). برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن، میزان پوسیدگی، سفتی بافت، شاخص طعم و برهمکنش دو گانه اثر زمان برداشت و مدت زمان انبار مانی نیز بر میزان کاهش وزن، میزان پوسیدگی، سفتی بافت و شاخص طعم در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش اثر زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن، سفتی بافت، شاخص طعم و میزان پوسیدگی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول نشان داده نشده است).

۱- Ethylenediaminetetraacetic acid ۲- Standard Deviation ۳- Least Significant Difference

**اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه فیسالیس**

بررسی اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر درصد کاهش وزن نشان داد که در طول دوره انبارمانی، وزن میوه‌های فیسالیس کاهش یافت، به‌طوری‌که میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی بدون غوطه‌وری (شاهد) پس از ۲۱ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین میزان کاهش وزن (۱۲/۶۲ درصد) را داشتند که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان دادند. کمترین میزان کاهش وزن در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مولار پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۲/۰۳ درصد). اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۵ و ۱۰ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱).

**اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان سفتی بافت میوه فیسالیس**

بررسی اثر برهمکنش زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان سفتی بافت میوه نشان داد که در طول دوره انبارمانی میزان سفتی بافت میوه کاهش یافت به‌طوری‌که میوه‌های شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی پس از ۲۱ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، کمترین میزان سفتی (۳۵۹/۶۷ کیلو پاسکال) را داشتند که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بیشترین میزان سفتی در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۸۵۴/۹۷ کیلو پاسکال). اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۰ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۱).

جدول ۱- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا، مدت زمان انبارمانی و زمان برداشت بر درصد کاهش وزن و سفتی بافت در میوه فیسالیس.

Table 1. Interaction effect of different concentrations of GABA, storage time and harvest stage on weight loss percentage and tissue firmness in physalis fruit.

| تیمارها Treatments | | | ویژگی ها Parameters | |
|---|---|---|---|---|
| زمان انبارمانی Storage Time (day) | مرحله برداشت Harvest stage | غلظت گابا GABA mmol $L^{-1}$ | کاهش وزن Weight loss (%) | سفتی بافت میوه Fruit Firmness (k Pascal) |
| 7 | سبز-زرد Yellowish-Green | 0 | 4.37±0.11 g | 781.890±0.77 c |
| | | 5 | 2.16± 0.08 j | 827.687±8.03 b |
| | | 10 | 2.10±0.10 j | 849.377±4.38 a |
| | | 15 | 2.03± 0.08 j | 854.97±31.6 a |
| 14 | سبز-زرد Yellowish-Green | 0 | 5.50± 0.25 f | 712.57±12 e |
| | | 5 | 4.21± 0.10 g | 754.00±6 d |
| | | 10 | 4.17± 0.06 g | 749.36±6.36 d |
| | | 15 | 4.05± 0.02 gh | 775.75±9.53 c |
| 21 | سبز-زرد Yellowish-Green | 0 | 8.44± 0.43 b | 653.78± 3.62 g |
| | | 5 | 6.66± 0.41 cd | 716.50±6.5 e |
| | | 10 | 6.49± 0.46 c-e | 716.00±6.93 e |
| | | 15 | 6.07±0.45 d-f | 722.56± 7.64 e |
| 7 | نارنجی Orange | 0 | 4.73±0.50 g | 585.12± 10.29 h |
| | | 5 | 3.41± 0.43 hi | 606.75±13.92 h |
| | | 10 | 3.19±0.62 i | 660.88±2.52 gf |
| | | 15 | 3.13± 1.01 i | 675.33±2.67 f |
| 14 | | 0 | 7.23±0.52 c | 485.73± 1.49 l |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | نارنجی Orange | 5 | 6.23±0.09 d-f | 525.16± 4.84 k |
| | | 10 | 6.14± 0.1 d-f | 536.92± 1.09 kj |
| | | 15 | 5.85± 0.91 ef | 550.33±2.67 j |
| 21 | نارنجی Orange | 0 | 12.62± 0.22 a | 359.67±7.34 n |
| | | 5 | 8.74± 0.25 b | 425.20±2.8 m |
| | | 10 | 8.66± 0.57 b | 437.94±10.81 m |
| | | 15 | 8.23± 0.9 b | 491.63±13.63 l |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD **تفاوت** معنی‌داری ندارند.

*In each column and row, means with the same letters have no significant difference at 5% probability level of the LSD test

**اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان پوسیدگی میوه فیسالیس**

بررسی اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان پوسیدگی نشان داد که در دوره انبارمانی، درصد پوسیدگی افزایش یافت به‌طوری‌که میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی بدون غوطه‌وری پس از ۲۱ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین میزان پوسیدگی (۴۳/۸۳ درصد) داشتند، اگرچه تفاوت معنی‌داری را با میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی بدون غوطه‌وری پس از ۱۴ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس نشان ندادند. کمترین میزان پوسیدگی در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۰/۳۳ درصد). اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۰ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

**اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر شاخص طعم (TSS/TA) میوه فیسالیس**

بررسی اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان شاخص طعم میوه نشان داد که میوه‌های شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی، پس از ۲۱ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین میزان شاخص طعم (۱۰/۵۷) را داشتند که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نشان داد. کمترین میزان شاخص طعم در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۶/۲۸). اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۰ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا، مدت زمان انبارمانی و مرحله برداشت بر تغییرات شاخص طعم و درصد پوسیدگی در میوه فیسالیس.

Table 2. Interaction effect of different concentrations of GABA, storage time and harvest stage on changes in flavor index and decay (%) in physalis fruit.

| تیمارها Treatments | | | ویژگی ها Parameters | |
|---|---|---|---|---|
| زمان انبارمانی Storage Time (day) | مرحله برداشت Harvest stage | غلظت گابا GABA mmol $L^{-1}$ | شاخص طعم Flavor Index | پوسیدگی Decay (%) |
| 7 | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 0 | 7.21±0.16 ij | 11.67±1.76 g |
| | | 5 | 6.64±0.16 lm | 5.00± 1 j |
| | | 10 | 6.47±0.07 mn | 0.67±0.58 k |
| | | 15 | 6.28± 0.07 n | 0.33± 0.58 k |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 14 | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 0 | 7.5±0.1 gh | 20± 2 d |
| | | 5 | 6.82± 0.11 kl | 10.5± 1.8 gh |
| | | 10 | 6.64±0.08 lm | 8.33± 1.45 hi |
| | | 15 | 6.54±0.14 m | 5.5± 1.32 ij |
| 21 | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 0 | 8.34±0.22 e | 30.06±1.18 b |
| | | 5 | 7.18± 0.03 ij | 15.34± 0.54 ef |
| | | 10 | 7.06 ±0.1 j | 12.93±1.28 gf |
| | | 15 | 7.01±0.04 jk | 8.07± 1.22 hi |
| 7 | نارنجی Orange - | 0 | 8.14±0.09 e | 15.04±1.18 ef |
| | | 5 | 7.61± 0.12 g | 8.36± 0.54 hi |
| | | 10 | 7.32±0.3 hi | 10.04± gh |
| | | 15 | 7.43±0.02 gh | 3.86± 1.22 j |
| 14 | نارنجی Orange - | 0 | 9.8±0.02 b | 30.99±1.22 a |
| | | 5 | 8.3±0.17 e | 16.05± 0.83 e |
| | | 10 | 8.17±0.04 e | 14.89± 1.92 ef |
| | | 15 | 7.9±0.06 f | 10.77± 1.12 gh |
| 21 | نارنجی Orange - | 0 | 10.57±0.23 a | 43.83±4.89 a |
| | | 5 | 9.01±0.17 c | 21.91±2.69 cd |
| | | 10 | 9.22±0.17 c | 23.95± 2.79 c |
| | | 15 | 8.63±0.05 d | 15.91± 0.67 e |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column and row, means with the same letters have no significant difference at 5% probability level of the LSD test

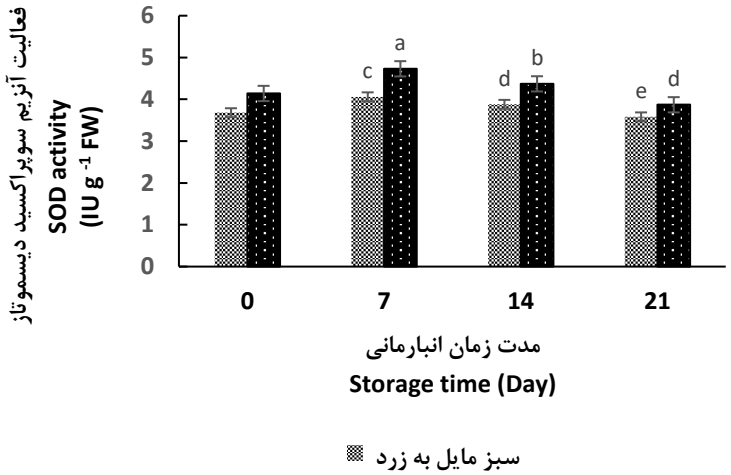
## بررسی تغییرات فعالیت آنزیم‌ها

بر اساس نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس، اثر ساده زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول نشان داده نشده است). اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و زمان برداشت بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز معنی‌دار بود و اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار بود، اگرچه تاثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز نداشت. اثر برهمکنش دو گانه زمان برداشت و مدت زمان انبارمانی نیز بر فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌داربود. هم‌چنین اثر برهمکنش زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در حالی که فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز تحت تاثیر اثر سه‌گانه قرار نگرفتند (جدول نشان داده نشده است).

## اثر مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

بررسی روند تغییرات غلظت‌های مختلف گابا در طی زمان‌های مختلف برداشت نشان داد که با افزایش غلظت گابا میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (۴/۵۶ واحد بر گرم وزن تازه) افزایش یافت (شکل ۱). برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و مرحله برداشت بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز نشان داد که میزان فعالیت این آنزیم در تیمار ۱۵ میلی‌مولار گابا در میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی بیشتر بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها و شاهد داشت (جدول ۳). میوه‌های فیسالیس برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد و بدون غوطه‌وری (شاهد) کمترین فعالیت را نشان داد (۳/۵۸ واحد برگرم وزن تازه)، اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی و بدون غوطه‌وری (شاهد) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

تاثیر مرحله برداشت و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در میوه فیسالیس در شکل۱ نشان داده شده است. میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز پس از ۲۱ روز نگهداری در انبار در مقایسه با روز ۷ کاهش معنی‌داری نشان داد. میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی پس از ۷ روز نگهداری در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را به میزان ۴/۷۳ واحد برگرم وزن تازه داشتند. کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد پس از ۲۱ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۳/۵۸ واحد برگرم وزن تازه).




شکل ۱- تاثیر مرحله برداشت و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در میوه فیسالیس. *ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، درسطح ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار نیستند.

Fig. 1. The effect of harvest stage and storage time on the activity of superoxide dismutase (SOD) in physalis fruit. *Columns with similar letters are not significant at the 5% level of the LSD test.

جدول ۳- اثر برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و زمان برداشت بر میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (واحد برگرم وزن تازه) در میوه فیسالیس

Table 3. Interaction effect of different concentrations of GABA and harvest time on the activity of superoxide dismutase (SOD) in physalis fruit

| مرحله برداشت Harvest stage | غلظت گابا (میلی‌مول در لیتر) GABA Concentration (mmol $L^{-1}$) 0 | 5 | 10 | 15 | میانگین Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 3.58±0.07 f | 3.76±0.08 de | 3.89±0.08 d | 4.11±0.06 de | 3.84±0.04 B |
| نارنجی Orange | 3.66±0.15 ef | 4.11±0.09 c | 4.49± 0.11 b | 5.01±0.17 a | 4.32±0.1 A |
| میانگین Mean | 3.62±0.08 D | 3.94±0.07 C | 4.19±0.09 B | 4.56±0.14 A | |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column and row, means with the same letters have no significant difference at 5% probability level of the LSD test.

**اثر مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)**

بررسی روند تغییرات فعالیت آنزیم کلتالاز تحت تاثیر مراحل مختلف برداشت و غلظت‌های مختلف گلبا نشان داد که میوه‌های نارنجی غوطه‌ور شده در محلول ۱۵ میلی‌مول در لیتر گابا بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز را به میزان ۶/۷۶ واحد برگرم وزن تازه نشان داد. کمترین میزان فعالیت آنزیم در میوهای بدون غوطه‌وری برداشت شده در مرحله نارنجی مشاهده گردید که با میوه‌های بدون غوطه‌وری برداشت شده در مرحله نارنجی و میوه‌های سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۵ میلی‌مول در لیتر گابا تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جدول ۴- برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و مرحله برداشت بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز (واحد برگرم وزن تازه) در میوه فیسالیس.

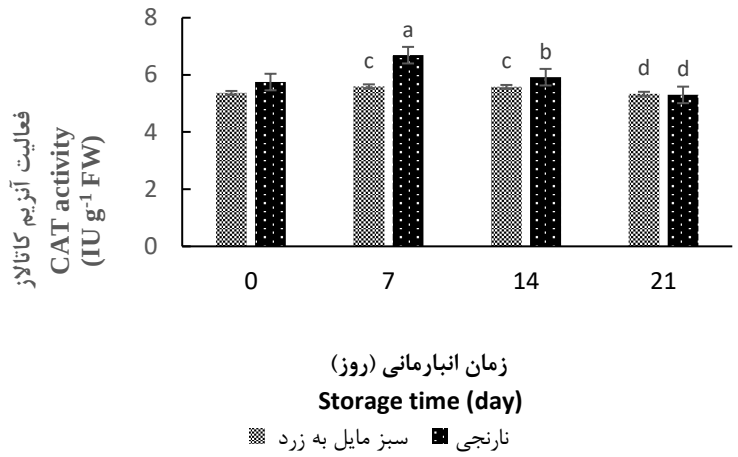
Table 4. Interaction effect of different concentrations of GABA and harvest stage on the activity of catalase (Unit/g/FW) in physalis fruit

| غلظت گابا (میلی‌مول در لیتر) GABA Concentration (mmol $L^{-1}$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| مرحله برداشت Harvest stage | 0 | 5 | 10 | 15 | میانگین Mean |
| سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 5.28± 0.07 e | 5.38±0.05 e | 5.6±0.03 d | 5.78±0.06 c | 5.51±0.04 B |
| نارنجی Orange | 5.2±0.19 e | 5.75±0.19 cd | 6.17±0.23 b | 6.76±0.23 a | 5.79±0.14 A |
| میانگین Mean | 5.24±0.1 D | 5.56±0.1 C | 5.88± 0.13 B | 6.27±0.16 A | |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column and row, means with the same letters have no significant difference at 5% probability level of the LSD test.

برهمکنش مرحله برداشت و مدت زمان انبارمانی بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز نشان داد که پس از ۷ روز نگهداری میوه‌های نارنجی در انبار میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به بیشترین میزان رسید (۶/۶۹ واحد برگرم وزن تازه) در حالی که پس از ۲۱ روز نگهداری در انبار میوه‌های برداشت شده در مراحل نارنجی و سبز مایل به زرد کمترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را داشتند (به‌ترتیب ۵/۳۰ و ۵/۳۴ واحد برگرم وزن تازه) (شکل ۲).




شکل ۲- تاثیر زمان برداشت و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم کاتالاز در میوه فیسالیس. * ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، درسطح ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار نیستند.

Fig. 2. The effect of harvest time and storage time on catalase activity in physalis fruit. *Columns with similar letters are not significant at the 5% level of the LSD test.

**اثر مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز (GPX)**

بررسی اثر برهمکنش مرحله برداشت و غلظت‌های مختلف گابا در میوه فیسالیس نشان داد که تیمار بدون غوطه‌وری (شاهد) در هر دو مرحله برداشت میوه به‌صورت سبز مایل به زرد و نارنجی کمترین میزان فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز را نشان داد. کاربرد گابا در هر دو زمان برداشت، میزان فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز را افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در میوه‌های برداشت شده در مرحله نارنجی غوطه ور شده در ۱۵میلی‌مول در لیتر گابا به میزان ۵/۴۱ واحد برگرم وزن تازه بدست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا و مرحله برداشت بر میزان فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز (واحد برگرم وزن تازه) در میوه فیسالیس.

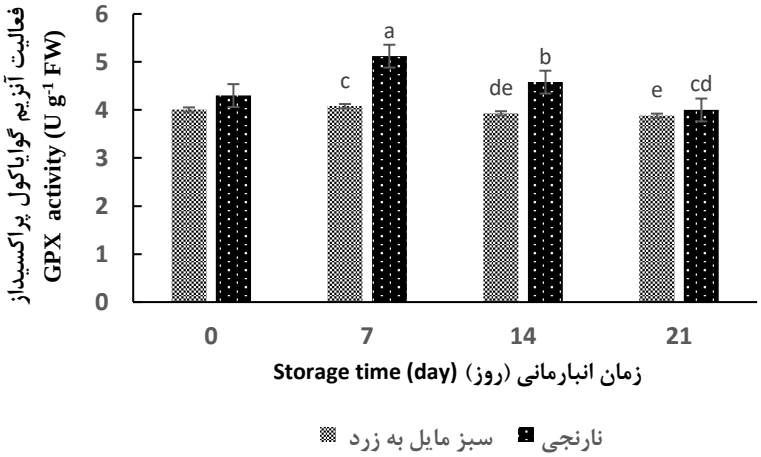
Table 5. Interaction effect of different concentrations of GABA and harvest stage on peroxidase activity (unit per gram of fresh weight) in physalis fruit.

| | غلظت گابا (میلی‌مول در لیتر) GABA Concentration (mmol $L^{-1}$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| مرحله برداشت Harvest Time | 0 | 5 | 10 | 15 | میانگین Mean |
| سبز مایل به زرد Yellowish-Green | 3.75± 0.04 f | 3.94±0.03 e | 4.1±0.03 d | 4.08±0.03 d | 5.51±0.03 A |
| نارنجی Orange | 3.84±0.18 ef | 4.32±0.18 cd | 4.71±0.16 b | 4.41±0.15a | 5.97±0.12A |
| میانگین Mean | 3.8±0.09 D | 4.13±0.1 C | 4.4±0.1 B | 4.74±0.17 A | |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

*In each column and row of means with the same letters, there is no significant difference in the 5% probability level of the LSD test.

برهمکنش مدت زمان انبارمانی و مرحله برداشت میوه بر میزان فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز نشان داد که میوه‌های برداشت شده در مرحله زرد پس از ۷ روز انبارمانی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بیشترین فعالیت آنزیم را داشتند (۵/۱۲ واحد برگرم وزن تازه)؛ در حالی که کمترین فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز پس از ۲۱ روز انبارمانی میوه‌های سبز مایل به زرد در دمای ۱۵ درجه سلسیوس مشاهده شد (۳/۸۸ واحد برگرم وزن تازه) که با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد پس از ۱۴ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳).




شکل ۳- تاثیر مرحله برداشت و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم گوایاکول پراکسیداز در میوه فیسالیس. *ستون‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، درسطح ۵ درصد آزمون LSD معنی‌دار نیستند.

Fig. 3. The effect of harvest stage and storage time on peroxidase activity in physalis fruit. *Columns with similar letters are not significant at the 5% level of the LSD test.

**اثر زمان برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (APX)**

بررسی اثر برهمکنش مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز نشان داد که فعالیت این آنزیم در فیسالیس‌های برداشت شده در مرحله نارنجی که در ۱۵ میلی مول در لیتر گابا غوطه‌ور شده بودند پس از ۷ روز انبارمانی در دمای ۱۵درجه سلسیوس به میزان ۶/۶۲ واحد برگرم وزن تازه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کمترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد بدون غوطه‌وری پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده گردید (۳/۶۰ واحد برگرم وزن تازه). اگرچه با میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد بدون غوطه‌وری پس از ۲۱ روز انبارمانی و میوه‌های سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۵ میلی‌مول در لیتر گابا پس از ۱۴ روز انبارمانی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۶- برهمکنش غلظت‌های مختلف گابا، مدت زمان انبارمانی و مرحله برداشت بر میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز (واحد برگرم وزن تازه) در میوه فیسالیس.

Table 6. Interaction effect of different concentrations of GABA, storage time and harvest stage on the activity of ascorbate peroxidase (unit per gram of fresh weight) in physalis fruit.

| | تیمارها Treatments | | |
|---|---|---|---|
| زمان انبارمانی Storage time | ۷روز 7 day | ۱۴ روز 14 day | ۲۱ روز 21 day |

| غلظت گابا (میلی‌مول در لیتر) GABA Concentration (mmol l $^{-1}$) | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | نارنجی Orange | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | نارنجی Orange | سبز مایل به زرد Yellowish-Green | نارنجی Orange |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | e- 4.50±0.12 h | 5.35±0.13 c | 3.60±0.13 m | 4.97±0.16 d-f | 3.89±.09 k-m | 4.15±0.15 i-k |
| 5 | d- 4.55±0.16 g | 5.55±0.24 c | 3.79±0.09 lm | 4.46±0.14 f-i | 4.09±0.13 j-l | 4.80±0.11 de |
| 10 | d-f 4.77±0.12 | 5.96±0.47 b | 4.10±0.10 j-l | 4.85±0.23 d | 4.36±0.06 g-j | 5.27± 0.11c |
| 15 | d-f 4.69±0.12 | 6.62±0.46 a | 3.97±0.10 kl | 5.27±0.32 c | 4.20±0.11 h-k | 4.79±0.22 de |

* در هر ستون و ردیف میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each column and row of means with the same letters, there is no significant difference in the 5% probability level of the LSD test.

# بحث

## تاثیر گابا روی خصوصیات کیفی میوه فیسالیس

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد گابا روند کاهش وزن میوه فیسالیس تیمار شده را در مقایسه با میوه های شاهد طی دوره انبارمانی کاهش داده است. میوه‌های تیمار نشده (در مرحله نارنجی) پس از ۲۱ روز انبارمانی بیشترین میزان کاهش وزن (۱۲/۶۲ درصد) را داشتند که تفاوت معنی‌داری را با سایر تیمارها نشان دادند. کمترین میزان کاهش وزن (۲/۰۳ درصد) در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مول در لیتر گابا پس از ۷ روز نگهداری در انبار بود. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج برخی پژوهشگران (Palma *et al.*, 2019) مطابقت دارد. تنفس، تعرق و فعالیت متابولیکی از دلایل کاهش وزن میوه در طی دوره پس از برداشت می باشد. تسریع کاهش وزن که به دلیل افزایش متابولیسم و پیری بافت در طول نگهداری طولانی مدت رخ می دهد، ممکن است با کاربرد برخی مواد تنظیم‌کننده رشد گیاهی کاهش یابد (Abdipour *et al.*, 2020; Hosseinifarahi *et al.*, 2020a; Hosseinifarahi *et al.*, 2020b; Parsa *et al.*, 2020). گابا به عنوان یک اسمولیت سازگار با تنش های محیطی نیز شناخته شده است. این اسمولیت در شرایط تنش از مسیر گابا شانت بیوستنز و با تجمع در یاخته‌ها باعث حفظ تورژسانس یاخته‌ای، محافظت از غشاهای یاخته‌ای، پروتئین‌ها و سوخت و ساز گیاه از طریق جلوگیری از هدررفت آب می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2021). گابا به احتمال با کاهش تنفس و تعرق سبب حفظ وزن میوه شده است (Taghipour *et al.*, 2021). افزایش کیفیت پس از برداشت پسته با کاربرد گابا و اکسید کلسیم گزارش شده است (Saeedi *et al.*, 2022). همچنین حفظ بهتر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی و کاهش وزن میوه توت فرنگی یا کاربرد اسید سالیسیلیک و گابا گزارش شده است (Rezaei *et al.*, 2020).

سفتی بافت یکی از مهم‌ترین عوامل برای تعیین مقبولیت میوه، افزایش پتانسیل انبارمانی و افزایش مقاومت در برابر بیماری‌ها و آسیب‌های مکانیکی می‌باشد، اما با پیشرفت فرآیند بلوغ، کاهش می‌یابد (Nazoori *et al.*, 2020). در این پژوهش، سفتی بافت در میوه‌های تیمار شده با گابا در پایان دوره انبارمانی کاهش کمتری نسبت به میوه های شاهد نشان داد به‌طوریکه بیشترین کاهش سفتی در میوه‌های تیمار نشده در مرحله نارنجی پس از ۲۱ روز انبارمانی مشاهده شد. اگر تحت شرایط خاصی بتوان از نرم شدن سریع میوه جلوگیری نمود و کیفیت میوه را حتی برای مدت کوتاهی حفظ کرد، در این صورت می‌توان از درصد بالای ضایعات جلوگیری نمود (Moradi *et al.*, 2020). در این آزمایش تیمار گابا سبب حفظ سفتی میوه نسبت به میوه های شاهد شده است که به احتمال به دلیل کاهش پوسیدگی میوه، کنترل کاهش وزن و خروج رطوبت و در نتیجه کاهش تنش وارد شده به میوه وکاهش فعالیت آنزیم های تجزیه کننده دیواره یاخته‌ای باشد. ترکیبات پکتیکی به‌عنوان پلی ساکاریدهای ساختاری دیواره یاخته‌ای در نظر گرفته می‌شوند که مسئول استحکام میوه هستند و نرم شدن زمانی رخ می‌دهد

که آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره یاخته‌ای فعال می‌شوند که منجر به پلی‌مریزاسیون پکتین مرتبط با فعالیت‌های پلی‌گالاکتروناز، پکتین لیاز، پکتین متیل استراز و سلولاز می‌شود (Valero and Serrano, 2010) بنابراین، پیشگیری از فعالیت آنزیم های تخریب کننده دیواره یاخته‌ای می تواند برای حفظ سفتی میوه موثر باشد.

در پژوهشی تیمارهای گابا بر روی سفتی آریل نیز بسیار مؤثر بودند، زیرا گابا ۱۰ میلی‌مولار توانست پس از ۹۰ روز انبارمانی، سفتی آریل را حفظ کند که با یافته‌های این پژوهش همخوانی داشت. گابا ممکن است با حفظ یکپارچگی غشاء، مهار فعالیت آنزیم‌های پکتین متیل استراز و پلی‌گالاکتروناز، افزایش محتوای پلی‌ساکاریدهای دیواره یاخته‌ای و حفظ ساختار یاخته‌های زیر اپیدرمی، در به تاخیر انداختن نرم شدن در پس از برداشت میوه موثر باشد (Nazoori *et al.*, 2020). در تایید پژوهش حاضر، حفظ سفتی میوه هلو به مدت ۲۸ روز نگهداری در دمای ۱ درجه سلسیوس با کاربرد ۶ میلی‌مولار گابا توسط برخی پژوهشگران نیز گزارش شده است (Soleimani Aghdam *et al.*, 2016).

در این پژوهش کاربرد گابا میزان پوسیدگی را به طور معنی داری کاهش داد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در طول دوره انبارمانی درصد پوسیدگی افزایش یافت به‌طوری‌که پس از ۲۱ روز انبارمانی، میوه‌های شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی، بیشترین میزان پوسیدگی (۴۳/۸۳ درصد) را داشتند.کمترین میزان پوسیدگی پس از ۷ روز نگهداری در انبار، در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد تیمار شده با ۱۵ میلی‌مولار گابا، به میزان ۰/۳۳ درصد مشاهده شد. در پژوهشی کاهش پوسیدگی و افزایش مقاومت به *Penicillium expansum* در میوه گلابی به دلیل افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز با کاربرد گابا گزارش شده است (Yu *et al.*, 2014). در این پژوهش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در طول دوره انبارمانی با کاربرد گابا افزایش پیدا کرد. گواياگول پراکسیداز یکی از آنزیم های کلیدی در گیاهان در مقابله با بیمارگرها و عوامل بیماری زا می باشد (Ma *et al.*, 2013). افزایش فعالیت آنزیم گواياگول پراکسیداز در طول دوره انبارمانی در میوه های موز و گلابی توسط برخی پژوهشگران (Yu *et al.*, 2014; Wang *et al.* 2016) گزارش شده است که نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج اشاره شده همسو است.

بررسی برهمکنش اثر مرحله برداشت، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی بر شاخص طعم میوه نشان داد که میوه‌های شاهد برداشت شده در مرحله نارنجی پس از ۲۱ روز انبارمانی بیشترین میزان شاخص طعم (۱۰/۵۷) را داشتند که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان داد. کمترین میزان شاخص طعم (۶/۲۸) در میوه‌های برداشت شده در مرحله سبز مایل به زرد غوطه‌ور شده در ۱۵ میلی‌مول در لیتر پس از ۷ روز نگهداری در انبار مشاهده شد. شاخص طعم فاکتور مهمی در تعیین کیفیت میوه و بازار پسندی محسوب می‌شود. افزایش آن در طول دوره انبارمانی به‌دلیل کاهش اسیدهای آلی و افزایش جزئی قندها می‌باشد. با این حال، میوه‌های تیمار شده به گابا در این پژوهش به طور قابل توجهی افزایش شاخص طعم را به تاخیر انداختند، که نشان دهنده تأثیر احتمالی بر کاهش فرآیند رسیدن پس از برداشت است (Habibi *et al.*, 2020). گابا با افزایش فعالیت اکسیدانی و با جلوگیری از اکسایش لیپیدی از تجزیه کربوهیدرات ها و قندها جلوگیری کرده و مانع از افزایش مواد جامد محلول کل میوه شد. همچنین با کاهش فعالیت آنزیم های ساکارز سنتتاز و اینورتاز که در تبدیل نشاسته به قندهای محلول نقش دارند، می تواند مانع افزایش مواد جامد محلول کل شود (Rezaei *et al.*, 2020). تیمار گابا از مصرف بیشتر قندها جلوگیری می‌کند و از این طریق باعث افزایش مواد جامد محلول کل در طول انبارداری می‌گردد (Zare and Sayyari, 2018). یافته‌های این پژوهش با پژوهش نیازی و همکاران (Niazi *et al.*, 2021) روی خرمالو همخوانی دارد که بیان کردند شاخص طعم کمتر در میوه خرمالو تیمار شده با ۷/۵ میلی مولار گابا با سفتی بالاتر میوه و به تأخیر رسیدن میوه همراه بوده که ممکن است به سرکوب بیوسنتز اتیلن نسبت داده شود.

**تاثیر گابا بر فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی میوه فیسالیس در طول دوره نگهداری در انبار**

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در دوره انبارمانی در مقایسه با میوه‌های شاهد گردید. بیشترین میزان فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گواياکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در میوه های تیمار شده با ۱۵ میلی مولار گابا در مقایسه با میوه‌های شاهد مشاهده گردید. در بسیاری از اندامک‌های یاخته گیاهی، مانند غشای پلاسمایی، پراکسیزوم، کلروپلاست و میتوکندری، گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط بدون تنش و

تنش ایجاد می‌شود. تولید بیش از حد آن‌ها سبب تنش اکسایشی در گیاهان می‌شود. گیاهان با تقویت سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی همانند آنزیم‌های سوپر اکسید دیسموتاز، کاتالاز، پراکسیداز، آسکوربات پراکسیداز و دهیدرو آسکوربات ردوکتاز به تنش‌ها پاسخ می‌دهند. گابا از طریق فعال کردن مسیرهای گلی‌اگسالاز و آنتی‌اکسیدانی، تحمل به تنش‌ها را افزایش می‌دهد (Hasan *et al.*, 2021).

رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن درطی متابولیسم طبیعی یاخته‌ها و نیز در پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده تجمع پیدا کرده، که آنتی اکسیدان‌ها درجاروب کردن و خنثی‌نمودن این رادیکال‌های آزاد نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند. از طرفی رادیکال‌های آزاد با روند پیری بافت و میوه‌ها در طول انبارمانی که در نتیجه افزایش فعالیت‌های متابولیکی می‌باشد همزمان افزایش می‌یابند که منجر به تنش اکسایشی و در نتیجه تخریب و پوسیدگی محصولات می‌شود. از این‌رو، هر عاملی که فعالیت‌های متابولیکی یاخته را کاهش و در نتیجه سبب کاهش میزان و تولید رادیکال‌های آزاد در یاخته و حفظ فعالیت سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی شود، می‌تواند در تعویق پیری و تخریب بافت میوه موثر باشد. در سیستم گیاهی، گابا به عنوان یک سیستم دفاعی می‌تواند در پاسخ به تنش‌های مختلف در یاخته تجمع یابد. از طرفی گابا نیز توانایی مهار و جاروب کردن گونه‌های فعال اکسیژن تولید شده تحت تنش را دارد. گابا فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد که می‌تواند به جاروب کردن رادیکال‌های آزاد شده منجر شود و بافت را در برابر تنش‌ها محافظت کند (Rastegar *et al.*, 2020).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میوه‌های فیسالیس تیمار شده در محلول ۲۰ میلی مولار گابا، سبب افزایش معنی‌دار فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و آسکوربات پراکسیداز شد که با نتایج برخی پژوهشگران که گزارش کردند هلوهای تیمار شده با گابا فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیرکاتالاز را به‌منظور مهار کردن پراکسید هیدروژن افزایش دادند (Soleimani Aghdam *et al.*, 2016).

سوپراکسید دیسموتاز به‌عنوان اولین سیستم دفاعی گیاه در برابر رادیکال‌های آزاد بوده و اکسیژن تک اتمی را به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. سپس پراکسید تولید شده توسط فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز مهار می‌شود. کاهش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز منجر به تجمع اکسیژن تک اتمی شده؛ در حالی‌که کاهش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز سبب تجمع پراکسید هیدروژن می‌شود. فعالیت بالاتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند مرتبط با حذف سریع‌تر و قوی‌تر پراکسید هیدروژن‌های تجمع یافته باشد که کاهش میزان آن در گل‌های شاخه بریده آنتوریوم تیمار شده با گابا مشاهده گردید. این نتایج مبین نقش گابا در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جاروب کردن رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد(Soleimani Aghdam *et al.*, 2016; Rastegar *et al.*, 2020).

در پژوهشی که روی میوه توت فرنگی انجام گرفت بیشترین فعالیت آنزیم فنیل آلانین‌آمونیالیاز در تیمار ترکیبی اسید سالیسیلیک و گابا (۰/۵ میلی‌مولار) مشاهده شد. تیمار میوه‌ها با اسید سالیسیلیک و گابا به طور معنی‌داری فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد افزایش داد به طوری که بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها در تیمار ترکیبی اسید سالیسیلیک و گابا (۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) مشاهده شد (Pereda *et al.*, 2019). در پژوهشی تیمار میوه های گیلاس رقم تک دانه مشهد با گلبا منجر به افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل، فنل کل، فلاوونوئید کل و فعالیت آنزیم های کلتالاز و گولیاکول پراکسیداز در میوه های تیمارشده نسبت به میوه های شاهد گردید (Gerailoo and Ghasemnezhad, 2011). در پژوهشی کاربرد پس از برداشت گابا روی میوه انبه بررسی گردید. نتایج نشان داد که کاربرد گابا در غلظت ۲۰۰ میکرومول در لیتر سبب حفظ سفتی بافت میوه، اسکوربیک اسید، محتوای فنل و فلاونویید شد. هم چنین میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد ظرفیت آنتی اکسیدانی بالاتری داشتند (Rastegar *et al.*, 2020).

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، کاربرد گابا باعث کاهش ضایعات و حفظ کیفیت پس از برداشت میوه فیسالیس می شود. کاربرد این تیمار می‌تواند کاهش وزن و نرم شدن میوه را به تاخیر اندازد. همچنین میزان پوسیدگی را به طور معنی داری کاهش داد. نتایج نشان داد کاربرد گابا باعث افزایش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی در طول دوره انبارمانی در مقایسه

با میوه های شاهد شد. بیشترین میزان فعالیت آنزیم های سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز، گوایاکول پراکسیداز و آسکوربات پراکسیداز در میوه های تیمار شده با ۱۵ میلی‌مولار گابا در مقایسه با میوه های شاهد مشاهده گردید. در نهایت کاربرد پس از برداشت گابا می‌تواند یک استراتژی امیدوارکننده برای حفظ کیفیت پس از برداشت میوه فیسالیس در طول زمان انبارمانی باشد.

## سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری نویسنده اول می باشد که به گروه علوم باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج ارائه شده است. بدینوسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی تشکر می‌گردد.

## منابع References

Abdipour, M., M. Hosseinifarahi and N. Naseri. (2019). Combination method of UV-B and UV-C prevents post-harvest decay and improves organoleptic quality of peach fruit. *Scientia Horticulture, 256*, 108564.

Abdipour, M., P.S. Malekhossini., M. Hosseinifarahi., and M. Radi. (2020). Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit. *Scientia Horticulture*, *264*, 109197.

Assar, P., A. Shekafandeh and L. Taghipour. (2021). Physiological and biochemical responses of citrus seedling rootstocks to drought stress and after rewatering. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 22*(3), 349-370.

Cárdenas-Barboza, L. C., A. C. Paredes-Córdoba, L. Serna-Cock, M. Guancha-Chalapud, and C. Torres-León. (2021). Quality of *Physalis peruviana* fruits coated with pectin and pectin reinforced with nanocellulose from *P. peruviana* calyces. *Heliyon*, *7*(9), e07988.

Gao, H., S. Wu., Q. Zeng., P. Li., and W. Guan. (2018). Effects of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on browning and food-borne pathogens in fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology, 146*: 1–8.

Gerailoo, S., and M. Ghasemnezhad. (2011). Effects of salicylic acid on antioxidant enzyme activity and petal senescence in Yellow Island cut rose flowers. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 19*(1), 183-193.

Ghasemi, B. and S. Alizade Salteh. (2018). Effect of thidiazuron application on size, quality and storage life of physalis fruit in hydroponic system. *Journal of Plant Interaction, 8*(4),103-116.

Habibi, F., Ramezanian, A., Guillén, F., Serrano, M., and Valero, D. (2020). Blood oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with γ-aminobutyric acid, methyl jasmonate or methyl salicylate during cold storage. *Food Chemistry, 306*, 125634.

Hasan, M., N. M Alabdallah, B. M. Alharbi, M. Waseem, G. Yao, X. D. Liu, and X. W. Fang. (2021). GABA: A key player in drought stress resistance in plants. *International Journal of Molecular Sciences, 22*(18), 10136.

Hosseini Farahi, M., M, Radi., F, Bagheri., and E. Jamshidi. (2018). Study of postharvest quality and organoleptic characteristics of strawberry with Aloe vera gel, acid acetic and UVB irradiation. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 19*(1), 99-114.

Hosseinifarahi, M., E. Jamshidi., S. Amiri., F. Kamyab., and M. Radi., (2020a). Quality, phenolic content, antioxidant activity, and the degradation kinetic of some quality parameters in strawberry fruit coated with salicylic acid and Aloe vera gel. *Journal of Food Processing and Preservation*, *44*, 1–14. https://doi.org/10.1111/jfpp.14647.

Hosseinifarahi, M., S.M. Mousavi., M. Radi., M.M. Jowkar and G. Romanazzi. (2020b). Postharvest application of hot water and putrescine treatments reduce brown rot and improve shelf life and quality of apricots. *Phytopathologia Mediterranea*, *59*, 319–329. https://doi.org/10.14601/Phyto-10751.

Ma, Z. X., L. Y. Yang., H. X. Yan., J. F. Kennedy., and X. H. Meng. (2013). Chitosan and oligochitosan enhance the resistance of peach fruit to brown rot. *Carbohydrate Polymers*, *94*(1), 272-277.

Mahjoory, F., A. Ebrahimzadeh., M. B. Hassanpouraghdam., and M. A. Aazami Mavaloo. (2019). Effects of postharvest γ-aminobutyric acid treatment on vase life and antioxidant enzymes activity of Anthurium cv. Sirion under chilling stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology, 20* (4), 435-446.

Mohammadi, M., M. Aelaei., and M. Saidi. (2021). The effect of time and stage of preharvest spraying by spermine and γ-aminobutyric acid on vase life and postharvest quality of "Stanza" cultivar of Gerbera cut flowers. *Iranian Journal of Horticultural Science, 51*(4), 753-771. doi: 10.22059/ijhs.2019.276705.1607.

Moradi, M., F. Razavi., V. Rabiei., M. Soleimani Aghdam., and L. Salehi. (2020). Effects of gamma-aminobutyric acid treatment on postharvest chilling injury on tomato fruit. *Journal of Horticultural Science, 34*(2),221-230. doi: 10.22067/jhorts4.v34i2.78718.

Nadri, M., A, Ebrahimzadeh., and SM, Zahedi. (2022). Effect of postharvest application of melatonin on reducing chilling injury in cucumber (*Cucumis sativus* L. "Nagin"). *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 23* (1), 99-114.

Nazoori, F., E. Zamani Bahramabadi., S.H. Mirdehghan., and A. Rafie. (2020). Extending the shelf life of pomegranate (*Punica granatum* L.) by GABA coating application. *Journal of Food Measurement and Characterization, 14*, 2760–2772. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00521-1

Niazi, Z., Razavi, F., Khademi, O., and Aghdam, M. S. (2021). Exogenous application of hydrogen sulfide and γ-aminobutyric acid alleviates chilling injury and preserves quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki*, cv. Karaj) during cold storage. *Scientia Horticulture, 285*, 110198.

Palma, F., F. Carvajal., R. Jiménez-Muñoz., A. Pulido., M. Jamilena., and D. Garrido. D. (2019). Exogenous γ-aminobutyric acid treatment improves the cold tolerance of zucchini fruit during postharvest storage. *Plant Physiology and Biochemistry, 136*, 188-195.

Parsa, Z., S. Roozbehi., M. Hosseinifarahi., and S. Amiri. (2020). Integration of pomegranate peel extract (PPE) with calcium sulphate ($CaSO_4$): A friendly treatment for extending shelf-life and maintaining postharvest quality of sweet cherry fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(1), 1–15.

Pereda, M., S.B., Nazareno, M.A., and C.I. Viturro, (2019). Nutritional and antioxidant properties of *Physalis peruviana* L. fruits from the Argentinean Northern Andean region. Plant. Foods. Hum. *Nutrition, 74*(1), 68-75.

Rastegar, S., H, Khankahdani., and M. Rahimzadeh. (2020). Effect of γ-aminobutyric acid on the antioxidant system and biochemical changes of mango fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14* (2), 778-789.

Rezaei, A., H. Seyedhajizadeh., A. Farokhzad., and F. Gholizadeh Vakilkandi. (2020). Effect of postharvest treatments of GABA and salicylic acid in antioxidant quality and marketability of Strawberry. *Journal of Plant Process and Function, 9* (38), 113-128.

Saeedi, M., S.H. Mirdehghan., F. Nazoori., M. Esmaeilizadeh., and M.K. Saba. 2022. Impact of calcium and γ-aminobutyric acid (GABA) on qualitative attributes and shelf life characteristics of fresh in-hull pistachio during cold storage. *Postharvest Biology and Technology, 187*, 111863.

Singh, N., S. Singh., P. Maurya., M. Arya., F. Khan., D. H., Dwivedi., D. H. and S.A. Saraf. (2019). An updated review on *Physalis peruviana* fruit: Cultivational, nutraceutical and pharmaceutical aspects. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, *10*(2), 97-110.

Soleimani Aghdam, M., F. Razavi., and F. Karamneghad. (2015). Maintaining the postharvest nutritional quality of peach fruits by γ-Aminobutyric acid. *Iranian Journal of Plant Physiology, 5*(4), 1457-1463.

Soleimani Aghdam, M., R. Naderi., A. Jannatizadeh., M.A. Askari Sarcheshmeh., and M. Babalar. (2016). Enhancement of postharvest chilling tolerance of anthurium cut flowers by γ -aminobutyric acid (GABA) treatments. *Scientia Horticulture, 198*, 52-60.

Taghipour, L., and P. Assar. (2021). Postharvest hot water treatment as a non-chemical alternative to fungicide: physicochemical changes and adaptability t oxidative stress in sweet lime fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology, 22*(4), 483-496.

Taghipour, L., M. Rahemi, and P. Assar. (2015). Determining the physicochemical changes and time of chilling injury incidence during cold storage of pomegranate fruit. *The Journal of Agricultural Science, 60* (4), 465-476.

Taghipour, L., M. Rahemi, P. Assar, S.H.M. Mirdehghan and A. Ramezanian. (2021). Intermittent warming as an efficient postharvest treatment affects the enzymatic and non-enzymatic responses of pomegranate during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization, 15*, 12-22.

Valero, D., and M. Serrano. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC press.288p.

Valdenegro, M., L. Fuentes, R. Herrera and M. A. Moya-León. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biology and Technology, 67*, 110-117.

Wang, Y., Z. Luo., X. Huang., K. Yang., S.H. Gao., and R. Du. (2014). Effect of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulture, 168*, 132-137.

Yıldız, G., N. İzli., H. Ünal., and V. Uylaşer. (2015). Physical and chemical characteristics of goldenberry fruit (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Food Science and Technology, 52*, 2320–2327.

Yu, C., L. Zeng., K. Sheng., F. Chen. T. Zhou., X. Zheng and and T. Yu, T. (2014). γ-Aminobutyric acid induces resistance against *Penicillium expansum* by priming of defence responses in pear fruit. *Food Chemistry, 159*, 29-37.

Zare, S. and M. Sayyari. (2018). The effect of calcium ascorbate on fruit firmness, cell wall-degrading enzymes activities and postharvest quality of tomato cv. Rio Grande. *Iranian Journal of Horticultural Science, 49*(3), 669-679.

Zhang, H., L. Ma., L. Wang., S. Jiang., Y. Dong., and X. Zheng. (2008). Biocontrol of gray mold decay in peach fruit by integration of antagonistic yeast with salicylic acid and their effects on postharvest quality parameters. *Biological Control, 47*(1), 60-65.

Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 24 (3): 403-418
Research article

# The Effect of Postharvest Treatments of Gamma-Aminobutyric Acid (GABA) on the Physico-Chemical Characteristics of *Physalis peruviana* Fruit during the Storage

**Parisa Hayati[1], Mehdi Hosseinifarahi[1,2*], Gholamreza Abdi*[3], Mohsen Radi[2,4] and Leila Taghipour[5]**

1. Department of Horticultural Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj.
2. Sustainable Agriculture and Food Security Research Group, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj.
3. Department of Biotechnology, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr.
4. Department of Food Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj.
5. Horticultural Science, Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, PO Box: 74135-111, Jahrom, Iran.

* Corresponding Author, Email: (mehdi.hosseinifarahi@iau.ac.ir, abdi@pgu.ac.ir).

Physalis (*Physalis peruviana* L.) is a popular fruit, which has received great attention due to its nutritional and medicinal properties. This valuable fruit has a short shelf life and so far, very little research has been done on postharvest physiology of shelf life. For this purpose, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications. The first factor was the different levels of γ- aminobutyric acid (GABA) concentrations (0, 5, 10 and 15 mM), the second factor was the storage time in three levels (7, 14 and 21 days) and the third factor was the harvesting stage (based on the appearance color of the fruit into two levels: yellowish green and orange). The obtained results showed that the weight loss in fruit treated with GABA at the end of the storage period was lower than untreated fruit, and the most weight loss (12.62%) was found in fruit harvested in the orange stage without any treatment. At the end of the storage period, the fruit firmness in fruit treated with GABA showed a lower decrease compared to the untreated fruit, so that the maximum decrease was observed in the orange stage after 21 days of storage in the untreated fruits. The application of GABA significantly reduced the fruit decay. The highest fruit decay (43.83%) was observed in the fruit harvested at the orange stage without GABA at the end of storage. The results showed that the application of GABA increased the activity of antioxidant enzymes during the storage period compared to untreated fruit. The highest activity of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), guaiacol peroxidase (GPX) and ascorbate peroxidase (APX) enzymes was observed in fruit treated with 15 mM GABA compared to untreated fruit. Overall, application of GABA after harvesting at a concentration of 15 mM is recommended to maintain the quality of physalis fruit.

**Keywords:** Flavour index, Decay percentage, Superoxide dismutase, Catalase, Guaiacol peroxidase and ascorbate peroxidase.