

اثر زمان برداشت بر کمیت و کیفیت میوه آووکادو رقم 'هس' نگهداری شده در سردخانه تحت تأثیر اتیلن

چکیده

مهم‌ترین چالش صادرکنندگان میوه آووکادو، خاکستری شدن گوشت میوه‌ها می‌باشد. در این پژوهش، اثر زمان برداشت، دهم دی‌ماه (۲۴۰ روز پس از تمام گل)، دهم بهمن‌ماه (۲۷۰ روز پس از تمام گل) و دهم اسفندماه (۳۰۰ روز پس از تمام گل) و تیمار پس از برداشت اتیلن (۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) بر خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو رقم 'هس' در طی نگهداری در سردخانه ارزیابی شد. نتایج نشان داد تأخیر در برداشت درصد خاکستری شدن گوشت میوه‌ها را طریقی افزایش حساسیت به اتیلن افزایش داده است. میوه‌های که ۲۷۰ و ۳۰۰ روز بعد از تمام گل برداشت شدند، ۱۰۰ درصد خاکستری شدن را بعد از تیمار اتیلن نشان دادند. همچنین، تأخیر در برداشت میوه‌ها باعث افزایش معنی‌داری وزن میوه، وزن پوست، وزن گوشت، وزن هسته، درصد ماده خشک و درصد روغن میوه‌ها شده است. بیشترین میزان فنل روغن در برداشت سوم و در میوه‌های تیمار شده با اتیلن به دست آمد. بیشترین میزان فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن در برداشت دوم و در میوه‌های شاهد بود. بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های POD و PPO با پیش ماده پیروگالول در برداشت سوم بدون تیمار اتیلن و یا در برداشت دوم با اتیلن مشاهده شد. نتایج همبستگی صفات نشان داد که درصد خاکستری شدن میوه با وزن میوه در مرحله رسیدگی، وزن بذر، فلاونوئید کل روغن و فعالیت آنزیم‌های PPO با پیش ماده پیروکتکول همبستگی مثبت و معنی‌داری دارد. در مجموع، تأخیر در برداشت میوه آووکادو هر چند باعث بهبود اندازه و کیفیت درونی میوه می‌شود، اما حساسیت میوه‌ها را به اتیلن و نیز عارضه خاکستری شدن گوشت میوه را در سردخانه‌های افزایش خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: بلوغ، ترکیبات زیست‌فعال، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، رسیدگی میوه، ماده خشک

The effect of harvest time on fruit quantity and quality of avocado cv. Hass stored under cold storage with ethylene treatment

ABSTRACT

The most important challenge for avocado fruit exporters is the fruit grey pulp. Therefore, in this study, the effects of different harvest times (240, 270 and 300 days after full bloom, DAFB) and post-harvest ethylene treatment (0 and 100 ppm) on grey pulp incidence and other quality-related characteristics in 'Hass' avocado fruits during cool storage at 5°C for 6 weeks was investigated. The results showed that delaying harvest increased the percentage of graying of fruit flesh by increasing sensitivity to ethylene. Fruits harvested 270 and 300 days after full bloom (DAFB) showed 100 percentage grey pulp when treated with 100 mg L⁻¹ ethylene and placed in cool storage. Moreover, delay in fruit harvesting caused a significant increase in fruit weight, skin weight, pulp weight, seed weight, dry matter percentage and oil percentage of fruits. The highest amount of oil phenol was in control fruits when treated with ethylene. The highest total flavonoid and antioxidant activity in avocado oil was found in the second harvest time in control. The highest POD and PPO activity with Pyrogallol substrate was found at third harvest without ethylene or second harvest with ethylene. Correlation coefficients between traits showed a positive correlation between grey pulp incidence with fruit weight, seed weight, flavonoids content in oil and PPO activity with Pyrocatechol. Delaying harvest time in avocados improves fruit size and quality, but the sensitivity of fruits to grey pulp increases in contaminated environments to ethylene under cool storage.

Keywords: Maturity, bioactive compounds, antioxidant activity, fruit ripening, dry matter.

امروزه آووکادو (*Persea americana* Miller) یکی از اقتصادی‌ترین محصول نیمه گرمسیری و گرمسیری در جهان می‌باشد. با توجه به ارزش غذایی بالای آووکادو، میزان تولید و مصرف این محصول به طور چشمگیری در حال افزایش است (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران تنها بخش کوچکی از استان مازندران و استان گیلان مناسب کشت و پرورش آووکادو می‌باشد، اما سطح زیرکشت این میوه به طور چشمگیری در حال افزایش هست و در آینده نزدیک می‌تواند به عنوان میوه امیدبخش محسوب شود (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ حیات‌بخش و قاسمی، ۱۳۹۵).

میوه آووکادو به دلیل طعم و ترکیب تغذیه‌ای و همچنین سطح بالای چربی‌های غیراشباع، مشابه خشکبار برای سلامت قلب و عروق مفید است و در عین حال میزان کالری این میوه کم می‌باشد که همین امر باعث افزایش مصرف آن در جهان شده است (افشارمحمدیان و فلاح، ۱۴۰۱؛ Lieu et al., 2024). بطور کلی، ارزش غذایی بالای این میوه بیشتر به دلیل محتوای بالای روغن، چربی‌های غیراشباع، بتاکاروتن، توکوفرول، فیتوسترول‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین‌های محلول در چربی و انواع ترکیبات زیست‌فعال می‌باشند (Lin and Li, 2024). با این حال، کیفیت و میزان ترکیبات زیست‌فعال میوه آووکادو می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند نوع رقم، شرایط زراعی، بلوغ میوه و تیمارهای پس از برداشت قرار گیرد. میزان بلوغ میوه در زمان برداشت عامل بسیار مهمی است که طول عمر نگهداری و کیفیت میوه را تعیین می‌کند (Whiley et al., 2022; Hofman et al., 2022). زمان برداشت میوه با فرآیندهایی که در میوه در حال رشد رخ می‌دهد، مرتبط است. این فرآیندها شامل تجمع مواد خشک و اسیدهای چرب، افزایش مواد جامد محلول، کاهش اسیدهای آلی و تشکیل مواد فرار است. افزایش درجه بریکس با تبدیل پلی‌ساکاریدها و اسیدهای آلی به قندها یا اسیدهای زنجیره کوتاه مرتبط است. همچنین، اسیدها و کربوهیدرات‌ها برای تأمین انرژی مورد نیاز میوه در طول فرآیند رسیدن استفاده می‌شوند. این شاخص‌های رسیدگی در بین ارقام مختلف آووکادو متفاوت است، برخی از انواع زودتر از سایرین برداشت می‌شوند (Salameh et al., 2022; Gago et al., 2024).

دمای نگهداری نیز نقش مهمی بر کیفیت میوه آووکادو دارد. برای حفظ کیفیت مطلوب آووکادو رقم 'هس' توصیه می‌شود میوه‌های که در اوایل فصل برداشت می‌شوند در دمای حدود ۵ درجه سانتی‌گراد، و میوه‌هایی که در اواسط فصل برداشت می‌شوند در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شوند، اما میوه‌های که بالغ‌تر برداشت می‌شوند در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شوند. همچنین طول مدت انبارداری میوه جهت دوری از آسیب ناشی از دمای پایین نباید از ۲۸ روز تجاوز کند. بنابراین، برای میوه آووکادو 'هس' توصیه می‌شود که در دمای ۴-۶ درجه سانتی‌گراد به مدت حداکثر چهار هفته برای حفظ کیفیت مطلوب است (Hofman et al., 2022; Lieu et al., 2024).

در بین ارقام مختلف رقم 'هس' به عنوان پرمصرف‌ترین رقم آووکادو در بازارهای جهانی شناخته می‌شود و به دلیل کیفیت بالا، طعم مطلوب و قابلیت نگهداری مناسب، از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردار است. این رقم دیررس است و پس از رسیدن به حداقل بلوغ فیزیولوژیکی، برای بهره‌برداری از فرصت‌های بازار، به‌ویژه در مناطق سردتر، برای مدت‌های مختلف روی درخت نگهداری می‌شود. دیررسی در مناطق سردتر نیز به دلیل گلدھی و تشکیل میوه دیرتر است. برداشت دیر هنگام رقم 'هس' که معمولاً در زمستان در

مناطق نیمه گرم سیری گرم برداشت می شود، ممکن است منجر به همزمان بودن میوه های رسیده روی درخت با گلدهی و تشکیل محصول فصل بعد شود (حیات بخش و قاسمی، ۱۳۹۵؛ Newett et al., 2022).

پیشینه پژوهش

با وجود محبوبیت روزافزون آووکادو، یکی از مهم ترین چالش های تولیدکنندگان و صادرکنندگان این میوه، حفظ کیفیت آن طی مراحل پس از برداشت و نگهداری در سردخانه است. یکی از نابسامانی های فیزیولوژیکی مهمی که در طول نگهداری آووکادو رخ می دهد، عارضه خاکستری شدن گوشت است. این عارضه با تغییر رنگ گوشت میوه از سبز به قهوه ای مایل به خاکستری همراه است و باعث کاهش کیفیت ظاهری و بافت میوه شده و در نهایت منجر به کاهش ارزش تجاری آن می شود. این عارضه یکی از مهمترین عوامل محدودکننده تجارت و صادرات میوه آووکادو در سطح جهانی به شمار می آید. تحقیقات قبلی نشان داد خاکستری شدن گوشت در میوه هایی که از بلوغ بیشتری برخوردارند زودتر رخ می دهد و با طولانی تر شدن زمان انبارداری بروز و شدت آن افزایش می یابد (مقصودی، ۱۳۹۵؛ Ramírez-Gil et al., 2024; Woolf et al., 2020). علاوه بر کنترل بلوغ میوه آووکادو با برداشت میوه در زمان بهینه، استفاده از تیمارهای پس از برداشت نیز می تواند بر بروز عارضه خاکستری شدن گوشت و همچنین تغییرات بیوشیمیایی میوه تأثیرگذار می باشد (Ramírez-Gil et al., 2020). اتیلن نقش حیاتی در رسیدن میوه ها ایفاء می کند. این هورمون باعث تحریک تولید آنزیم های پکتولیتیک، افزایش تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی دیگر در میوه می شود (Liu et al., 2023). در آووکادو، اتیلن باعث نرم شدن بافت، تغییر رنگ پوست و گوشت و افزایش عطر و طعم میوه شده و در نهایت باعث تسریع فرآیند رسیدن و هماهنگ سازی رسیدن میوه ها آووکادو در یک محموله می شود (Gwanpua et al., 2018; Hu et al., 2024). با این حال، استفاده بیش از حد از اتیلن یا استفاده از آن در زمان نامناسب می تواند باعث بروز عوارض جانبی مانند افزایش تولید اتیلن درون زه، تسریع پیری میوه، افزایش حساسیت میوه به اختلالات فیزیولوژیکی و در نتیجه بروز عارضه خاکستری شدن گوشت شود (Arpaia et al., 2024).

با توجه به اینکه آووکادو یکی از میوه های امیدبخشی هست که کشت و کار آن در ایران به طور قابل ملاحظه ای در حال افزایش است. آینده بازارهای داخلی جوابگو حجم تولید اضافی نخواهد بود و ما نیازمند صادرات خواهیم شد. در نتیجه همانند سایر کشورهای تولید کننده، صادرات میوه آووکادو حتی به نزدیکترین بازار هدف نیز سه الی چهار هفته نگهداری در دمای پایین جهت رسیدن به بازار هدف صادراتی دارد. این مدت انتقال بدون شک باعث بروز عارضه خاکستری شدن گوشت خواهد شد. بنابراین، از اهداف این پژوهش شناسایی چگونگی وقوع این عارضه در دمای سردخانه خواهد بود و در ادامه توصیه های کاربردی جهت کاهش این عارضه می باشد.

روش شناسی پژوهش

طرح آزمایشی و تیمار مورد استفاده

پژوهش حاضر در یک باغ تجاری واقع در روستای کتراء، شهرستان تنکابن، استان مازندران با طول جغرافیایی ۵۰ درجه، ۵۸ دقیقه و ۲۳ ثانیه شرقی و عرض ۳۶ درجه، ۴۴ دقیقه و ۱۹ ثانیه شمالی در سال ۱۴۰۱ انجام شد. میوه های آووکادو رقم 'هس' به فاصله زمانی یک ماهه شامل دهم دی ماه (۲۴۰ روز پس از تمام گل)، دهم بهمن ماه (۲۷۰ روز پس از تمام گل) و دهم اسفند ماه (۳۰۰ روز

پس از تمام گل طی سه مرحله برداشت شدند. در هر زمان برداشت میوه‌های هم‌اندازه و سالم از چهار طرف درخت جمع‌آوری شدند. میوه‌های برداشت شده در هر زمان بلافاصله به آزمایشگاه فنی مهندسی پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، رامسر منتقل شدند. پژوهش حاضر در دو قسمت اجرا شد. در قسمت اول آزمایش میوه‌های برداشت شده در هر مرحله، ابتدا در زمان برداشت مورد ارزیابی صفاتی مانند وزن میوه، وزن بذریه پوشت و گوشت، درصد ماده خشک و درصد روغن در ماده خشک و تر میوه مورد ارزیابی قرار گرفتند. این بخش از آزمایش با سه تکرار و هر تکرار شامل ۱۰ عدد میوه اجرا شد. در ادامه، میوه‌های هر مرحله برداشت ابتدا در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به مدت ۶-۴ هفته نگهداری شدند و در هفته سوم تحت تیمار اتیلن به میزان ۱۰۰ پی‌پی‌ام قرار گرفتند. زمانی که میوه‌ها شروع به رسیدن و نرم شدن کردند، بلافاصله از وسط به دو نیم تقسیم و سپس ابتدا میزان عارضه خاکستری شدن میوه اندازه‌گیری شدند. در پایان پس از استخراج روغن از میوه‌های رسیده خصوصیات مانند میزان فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن نیز اندازه‌گیری شدند.

روش اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

وزن میوه آوکادو در زمان برداشت توسط ترازوی دیجیتال (مدل GE 2102- Sartorius ساخت آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری وزن پوست، گوشت و هسته میوه، ابتدا پوست، گوشت و هسته هر میوه با چاقو جدا شد و جداگانه وزن گردید. همچنین، درصد گوشت، پوست و هسته با توجه به وزن اولیه میوه، محاسبه شد.

برای تعیین ماده خشک گوشت میوه را به مکعب‌های کوچک خرد شده و به میزان ۲۰ تا ۳۰ گرم از بافت گوشت میوه را در پتری‌دیش ریخته شد. پتری‌دیش‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا به وزن پایدار برسد. با استفاده از فرمول زیر میزان ماده خشک (DM) میوه بر حسب درصد محاسبه شد (Waissbluth et al., 2007):

$$DM\% = (M3 - M1) / (M2 - M1) \times 100$$

(M1 وزن ظرف، M2 وزن ظرف به همراه وزن میوه تر و M3 وزن ظرف به اضافه وزن میوه خشک)

درصد روغن گوشت میوه با استفاده از دستگاه سوکسله (مدل Gerhardt، ساخت آلمان) و حلال n-هگزان اندازه‌گیری شد. بدین منظور، در هر مرحله تعداد سه میوه از هر تکرار نمونه‌برداری و وزن شد. سپس گوشت میوه‌ها در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس به وسیله چکش آسیاب شدند. پس از آن، دو گرم از نمونه خشک شده (گوشت) در دستگاه سوکسله قرار داده و از ۲۵۰ میلی‌لیتر حلال n-هگزان برای استخراج روغن استفاده شد. پس از ۸ ساعت دستگاه خاموش و به منظور خشک کردن، نمونه‌ها به آون منتقل کرده. پس از خشک شدن، اقدام به توزین دوباره می‌گردد و از راه کسر ایجاد شده درصد روغن بر حسب ماده خشک و همچنین ماده تر تعیین شد (Brühl, 1996).

درصد عارضه خاکستری شدن گوشت میوه با شمارش تعداد میوه‌های دارای این آسیب فیزیولوژیکی در مقایسه با تعداد کل میوه‌های برداشت شده در هر زمان برداشت برای هر تیمار محاسبه شد (شکل ۱-۲). سپس میوه‌های دارای این عارضه را از مقیاس صفر تا صد گروه‌بندی نموده و شدت عارضه تعیین گردید (۰-۲۵ گروه با شدت ۱، ۲۵-۵۰ گروه با شدت ۲، ۵۰-۷۵ گروه با شدت ۳، ۷۵-۱۰۰ گروه با شدت ۴).

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از دستگاه سفتی سنج (پنترومتر) با نوک (پروب) ۱۱ میلی‌متر استفاده شد و بر حسب کیلوگرم نیرو بیان گردید.

برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال روغن به ۰/۷ گرم روغن، ۷۰۰ میکرولیتر متانول خالص اضافه شد و پس از مخلوط کردن به مدت یک دقیقه با دستگاه ورتکس (مدل Heidolph، ساخت آلمان)، به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ (مدل Mikro-Hettich 200R، ساخت آلمان) شد و فاز بالایی جدا و در میکروتیوپ دیگری جمع‌آوری گردید. عمل استخراج از نمونه سه بار تکرار شد. سپس ۷۰۰ میکرولیتر استونیتریل و ۷۰۰ میکرولیتر n-هگزان برای حذف چربی‌ها به آن اضافه شد و به مدت یک دقیقه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. بعد از آن به مدت پنج دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. فاز بالایی برداشته و دور ریخته شد و به فاز پایینی دوباره ۷۰۰ میکرولیتر هگزان اضافه گردید. سپس با دستگاه ورتکس مخلوط و سپس سانتریفیوژ مجدد شد. این مرحله بار سوم هم انجام شد و در نهایت فاز جمع‌آوری شده در دستگاه تقطیر در خلأ قرار داده شد تا عصاره غلیظ شود. عصاره بدست آمده با متانول به حجم یک میلی‌لیتر رسانده شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در تاریکی نگهداری گردید.

برای اندازه‌گیری میزان فنل کل از طریق سنجش توسط معرف فولین سیوکالتو انجام شد (Singleton et al., 1999). میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت، مقدار فنل کل از روی منحنی استاندارد گالیک اسید بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در کیلوگرم روغن بیان شد.

برای اندازه‌گیری فلاونوئید کل مطابق روش‌ها شمپور و همکاران (۱۴۰۰) در طول موج ۵۰۶ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu مدل UV-1800، ساخت ژاپن) انجام شد. در نهایت، غلظت فلاونوئید کل بر حسب استاندارد کاتچین (میلی‌گرم کاتچین در کیلوگرم روغن) محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن از خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی‌فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده شد. میزان جذب استاندارد و نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد (Najafian et al., 2007).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها مقدار ۰/۵ گرم از بافت گوشت میوه در هاون چینی در حضور نیتروژن مایع آسیاب شد. سپس یک میلی‌لیتر حلال بافر فسفات پتاسیم به آن اضافه گردید. پس از هموژنایز کردن، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون لیپید استفاده شد. فعالیت SOD به روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از روش Giannopolitis و Ries (1977) و با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. محلول واکنش شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، متیونین ۱۳ میلی‌مولار و NBT ۷۵ میکرومولار و ریبوفلاوین ۲ میکرومولار و ۱۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. محلول واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در معرض نور فلورسانس قرار گرفته و سپس جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۶۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV-1800) خوانده شد. فعالیت این آنزیم به صورت واحد آنزیم در گرم وزن تر (U/ g FW) بیان شد. فعالیت آنزیم POD با استفاده از روش Chance و Maehly (1955) همراه با تغییراتی سنجش شد. فعالیت POD به مدت ۱ دقیقه در محلول واکنشی حاوی ۴۹۰ میکرولیتر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار و ۴۹۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۲۲۵ میلی‌مولار و ۲۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مورد سنجش قرار گرفت. فعالیت

POD در طول موج ۴۷۰ با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. فعالیت این آنزیم بر حسب یک واحد آنزیمی (میکرومول) در گرم وزن تر در دقیقه بیان شد.

سنجش فعالیت منوفنلازی و دی فنلازی آنزیم PPO با دو سوبسترای مختلف پیروکتکول و پیروگالول به روش اسپکتروفتومتری انجام شد. سنجش دی فنولازی آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول مطابق روش Hashempour و همکاران (2014) با کمی تغییرات انجام گرفت. برای سنجش ۵۰ میکرولیتر محلول پیروکتکول ۰/۵ مولار، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار و ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی است. مخلوط بالانک حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم و ۵۰ میکرولیتر محلول پیروکتکول بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر پس از یک دقیقه قرائت شد. فعالیت دی فنولازی این آنزیم با استفاده از قانون بیرلامبرت و ضریب خاموشی آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول (cm^{-1} 1400 M^{-1}) بر حسب $\mu\text{mol}/100\text{g FW.min}$ محاسبه شد. سنجش منوفنلازی آنزیم PPO مطابق روش Hashempour و همکاران (2014) با کمی تغییرات انجام شد. ۵۰۰ میکرولیتر حجم کل سنجش عبارت است از ۵۰ میکرولیتر محلول پیروگالول، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار، ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی. مخلوط بالانک حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم و ۵۰ میکرولیتر محلول پیروگالول بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر پس از یک دقیقه قرائت شد. فعالیت مونو فنولازی این آنزیم با استفاده از قانون بیرلامبرت و ضریب خاموشی آنزیم PPO با پیش ماده پیروگالول (cm^{-1} 247 M^{-1}) بر حسب $\mu\text{mol}/100\text{g FW.min}$ محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

بخش اول آزمایش به صورت طرح بلوک کامل تصادفی و بخش دوم به صورت طرح فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز آماری آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.1 2002–2003, SAS Institute, Cary, NC) صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. لازم به ذکر است که قبل از تجزیه آماری، داده‌ها از لحاظ نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌های پژوهش

وزن میوه، وزن بذر، وزن پوست و وزن گوشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد وزن میوه آووکادو رقم 'هس' به طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر زمان برداشت قرار گرفت (جدول ۱). مقایسات میانگین نشان داد که با تأخیر در برداشت میوه وزن میوه آووکادو افزایش پیدا کرد (جدول ۲). وزن میوه در برداشت اول (دهم دی ماه) ۱۰۰/۵۸ گرم بود که در برداشت دوم (دهم بهمن ماه) اندکی افزایش یافت و به ۱۰۲/۸۶ گرم رسید، اما در زمان سوم برداشت (دهم اسفند ماه) به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد و به ۱۱۴/۳۵ گرم رسید (جدول ۲). مشخص شد که زمان برداشت به طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد وزن بذر میوه آووکادو را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). تأخیر در برداشت میوه باعث افزایش معنی‌دار وزن بذر میوه گردید، به طوری که وزن بذر در برداشت اول ۱۲/۱۳ گرم بود که در برداشت‌های دوم و سوم به ترتیب به ۱۶/۸۲ و ۲۰/۶۷ گرم افزایش یافت (جدول ۲).

بر اساس جدول ۱، وزن پوست میوه آووکادو رقم 'هس' نیز تحت تأثیر زمان برداشت قرار گرفت (جدول ۱). بطوری که با تأخیر در زمان برداشت و افزایش سن فیزیولوژیکی میوه‌ها میزان وزن پوست میوه نیز افزایش معنی‌داری پیدا کرد، به طوری که از ۱۵/۰۶ گرم در زمان اول برداشت به ۱۹/۰۷ گرم در زمان سوم برداشت رسید (جدول ۲).

نتایج حاکی از آن بود که زمان برداشت به طور معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد بر میزان وزن گوشت میوه تأثیر معنی‌داری داشت (جدول ۱). وزن گوشت میوه در زمان اول برداشت ۶۸/۲۴ گرم بود که با تأخیر در برداشت میوه و در زمان سوم به ۷۴/۶۲ گرم افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۲).

درصد ماده خشک

مطابق جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، در صد ماده خشک میوه آووکادو رقم 'هس' به طور معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر زمان برداشت میوه بود. مقایسات میانگین نیز نشان داد که تأخیر در برداشت میوه آووکادو باعث افزایش معنی‌دار در صد ماده خشک میوه گردید، به طوری که از ۳۰/۵۴ درصد در زمان اول برداشت به صورت معنی‌داری به ۳۴/۹۱ درصد در زمان سوم برداشت افزایش پیدا کرد (جدول ۲).

درصد روغن در وزن خشک و تر میوه

نتایج نشان داد که زمان برداشت میوه به طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد بر میزان روغن در ماده خشک و تر میوه آووکادو رقم 'هس' معنی‌دار بود (جدول ۱). مشخص شد که تأخیر در برداشت میوه باعث افزایش معنی‌دار در صد روغن در ماده خشک و تر میوه آووکادو گردید به طوری که بیشترین میزان روغن در ماده خشک و تر میوه به ترتیب با ۵۹/۱۷ و ۲۰/۶۹ درصد در زمان سوم برداشت (دهم اسفندماه) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر زمان برداشت بر برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه آووکادو رقم 'هس'.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن میوه	وزن بذر	وزن پوست	وزن گوشت	ماده خشک	میزان روغن در ماده خشک
بلوک	۲	۳/۶۰ ^{ns}	۲/۲۲ ^{ns}	۱/۲۵ ^{ns}	۲/۳۰ ^{ns}	۰/۹۸ ^{ns}	۱/۰۲ ^{ns}
زمان برداشت	۲	۱۶۳/۵۸ ^{**}	۵۴/۷۸ ^{**}	۱۲/۰۱ [*]	۳۴/۳۱ [*]	۱۶/۷۱ [*]	۳۶۲/۲۴ ^{**}
خطای آزمایشی	۴	۶/۹۵	۳/۲۰	۱/۵۵	۷/۲۴	۴/۶۱	۰/۹۱
ضرب تغییرات	–	۲/۴۹	۲/۷۵	۷/۲۹	۵/۲۳	۶/۶۷	۲/۰۵

^{**} و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر زمان برداشت بر برخی خصوصیات کمی و کیفی میوه آووکادو رقم 'هس'.

	وزن میوه (گرم)	وزن بذر (گرم)	وزن پوست (گرم)	وزن گوشت (گرم)	ماده خشک (درصد)	میزان روغن در ماده خشک (درصد)	میزان روغن در ماده تر (درصد)
دهم دی	۱۰۰/۵۸b [*]	۱۲/۱۳c	۱۵/۰۶b	۶۸/۲۴b	۳۰/۵۴b	۳۹/۵۰b	۱۲/۳۰b
دهم بهمن	۱۰۲/۸۶b	۱۶/۸۲b	۱۷/۱۸ab	۷۳/۳۸a	۳۱/۱۶ab	۴۰/۸۳b	۱۲/۳۷b
دهم اسفند	۱۱۴/۳۵a	۲۰/۶۷a	۱۹/۰۷a	۷۴/۶۲a	۳۴/۹۱a	۵۹/۱۷a	۲۰/۶۹a

^{*} در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در سطوح متناظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.
(منبع: یافته های تحقیق)

خاکستری شدن گوشت میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و همچنین برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر درصد خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو رقم 'هس' در طی انبارداری سرد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در برداشت میوه و پیشرفت بلوغ فیزیولوژیکی میوه‌ها درصد و شدت خاکستری شدن گوشت میوه نیز به طور معنی‌داری در مرحله نگهداری افزایش یافت (شکل‌های ۱ و ۲). این حالت خاکستری شدن گوشت میوه فقط در میوه‌های تیمار شده با اتیلن ۱۰۰ پی‌پی‌ام و پس از نگهداری در دمای پایین مشاهده شد و در میوه‌های شاهد که در معرض اتیلن قرار نگرفته بودند، مشاهده نشد (شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به نتایج می‌توان عنوان کرد با تأخیر در برداشت میوه، حساسیت آن‌ها به تیمار پس از برداشت اتیلن افزایش پیدا کرده است و به همین دلیل عارضه خاکستری شدن در میوه‌ها تیمار شده با اتیلن با تأخیر در برداشت افزایش معنی‌داری یافت، به طوری که میوه‌های که در بهمن و اسفند برداشت شده بودند بعد از قرار گرفتن در معرض اتیلن، ۱۰۰ درصد عارضه خاکستری شدن گوشت را نشان دادند.

جدول ۳. تجزیه واریانس برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		درصد خاکستری شدن	سفتی بافت	فصل کل روغن	فلاونوئید روغن
زمان برداشت	۲	۳۴۷۲**	۰/۳۳۴*	۱۹۴۶۵۰**	۶۱۲/۸**
تیمار اتیلن	۱	۲۵۴۶۱**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱۷۶۵۸*	۷۰/۳ ^{ns}
زمان × تیمار	۲	۳۲۵۸**	۰/۰۱۶ ^{ns}	۴۳۶۴**	۶۵۶/۴**
خطای آزمایشی	۱۲	۱۴	۰/۰۹۶	۲۸۶	۴۳/۲۷
ضرب تغییرات	-	۳/۲۶	۸/۵۲	۶/۵۲	۱۰/۴۹
* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری.					



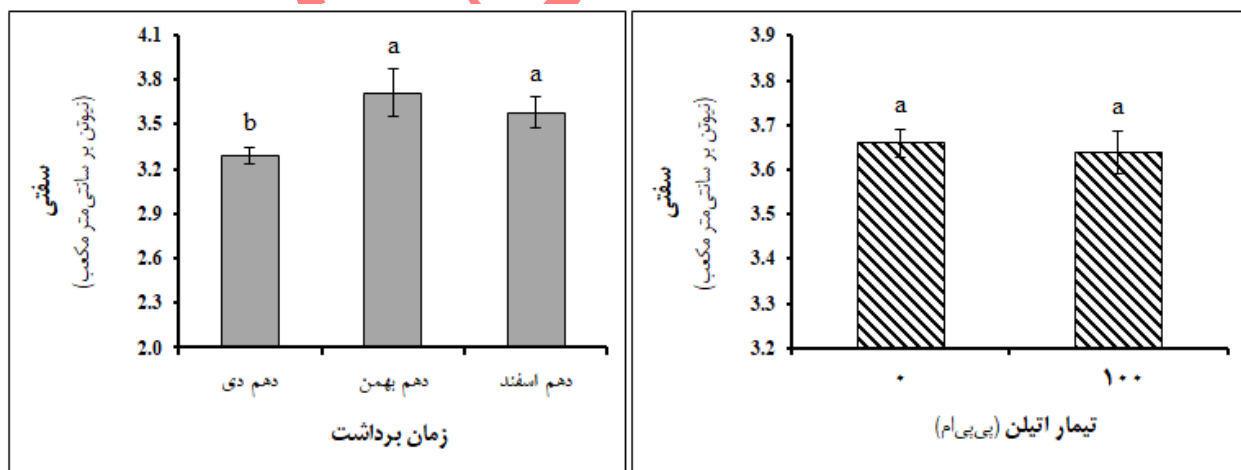
شکل ۱. برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر درصد (سمت راست) و شدت خاکستری شدن (سمت چپ) میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.



شکل ۲. علائم خسارت عارضه خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو (سمت چپ) و در مقایسه با میوه‌های سالم (سمت راست).

سفتی بافت میوه

نتایج حاکی از آن بود که فقط اثر ساده زمان برداشت بر میزان سفتی بافت میوه میوه آووکادو رقم 'هس' معنی‌دار بود (جدول ۳). با تأخیر در برداشت میوه آووکادو، سفتی بافت میوه افزایش یافت و از ۳/۳۹ نیوتن بر سانتی‌متر مکعب در زمان اول برداشت به ۳/۸۵ نیوتن بر سانتی‌متر مکعب در زمان سوم برداشت رسید (شکل ۳). همچنین مشخص شد که میوه‌های تیمار شده با اتیلن (۳/۶۴ نیوتن بر سانتی‌متر مکعب) و تیمار نشده (۳/۶۶ نیوتن بر سانتی‌متر مکعب) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری از نظر سفتی بافت میوه در دوره تیمار نداشتند (شکل ۳).



شکل ۳- اثرات ساده زمان برداشت (سمت چپ) و تیمار پس از برداشت اتیلن (سمت راست) بر سفتی بافت میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.

میزان فنل کل روغن

نتایج نشان داد که میزان فنل کل روغن میوه تحت تأثیر اثرات ساده و همچنین اثر متقابل زمان برداشت و تیمار اتیلن در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که با تأخیر در برداشت میزان فنل کل روغن افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین میزان فنل کل روغن در زمان برداشت سوم و در میوه‌های تیمار شده با اتیلن (۱۵۶/۵۹ میلی گرم گالیک اسید در کیلوگرم روغن) مشاهده شد (جدول ۴).

فلاونوئید کل روغن

بر اساس جدول ۳، میزان فلاونوئید روغن میوه آووکادو رقم 'هس' فقط تحت تأثیر اثر ساده زمان برداشت و اثر متقابل زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بود. تغییرات میزان فلاونوئید کل روغن میوه با توجه به زمان برداشت و تیمار اتیلن متفاوت بود که در این میان بیشترین میزان در زمان دوم برداشت و در میوه‌های بدون تیمار اتیلن (۸۴/۶۲ میلی گرم کوئرستین در کیلوگرم روغن) مشاهده شد که البته با زمان سوم برداشت و میوه‌های تیمار شده با اتیلن (۷۲/۴۵ میلی گرم کوئرستین در کیلوگرم روغن) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر برخی ترکیبات زیست‌فعال روغن میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.

زمان برداشت	تیمار پس از برداشت اتیلن (پی‌پی‌ام)	فنل کل روغن (میلی گرم گالیک اسید در کیلوگرم روغن)	فلاونوئید کل روغن (میلی گرم کوئرستین در کیلوگرم روغن)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن (درصد بازدارندگی DPPH)
دهم دی	۰	۱۳۸/۳۶d *	۵۳/۴۱c	۶۰/۰۲abc
	۱۰۰	۱۳۹/۱۲d	۵۰/۴۱c	۶۴/۷۰ab
دهم بهمن	۰	۱۳۰/۰۳d	۸۴/۶۲a	۶۵/۳۴ab
	۱۰۰	۲۱۷/۵۰c	۵۹/۲۸bc	۷۲/۳۸a
دهم اسفند	۰	۴۱۶/۸۹b	۵۳/۹۷c	۵۸/۸۴bc
	۱۰۰	۵۱۶/۵۹a	۷۲/۴۵ab	۵۱/۷۶c

* در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

(منبع: یافته‌های تحقیق)

ظرفیت آنتی‌اکسیدان کل روغن

نتایج همچنین نشان داد که اثر ساده زمان برداشت و اثرات متقابل زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن میوه معنی‌دار بود (جدول ۳). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن میوه نسبت به زمان اول برداشت، در زمان دوم برداشت افزایش معنی‌داری نشان داد، ولی در زمان سوم برداشت به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴). بالاترین میزان عددی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن به ۷۲/۳۸ درصد بازدارندگی DPPH در زمان دوم برداشت و در میوه‌های بدون تیمار اتیلن مشاهده شد که از لحاظ آماری تفاوتی با برخی دیگر از تیمارها نداشت (جدول ۴).

فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فعالیت آنزیم POD گوشت میوه آووکادو تحت تأثیر اثر ساده تیمار و همچنین برهمکنش زمان برداشت و تیمار اتیلن قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میوه‌های برداشت شده در اسفند بدون تیمار اتیلن (۰/۶۸۶ گرم وزن تر در دقیقه) و نیز برداشت دوم یعنی دهم بهمن همراه با تیمار ۱۰۰ پی‌پی‌ام اتیلن (۰/۶۲۳ گرم وزن تر در دقیقه) بیشترین فعالیت آنزیم POD میوه را دارا بودند (جدول ۶).

نتایج نشان داد که اثر ساده و همچنین برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر فعالیت آنزیم SOD گوشت میوه تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

فعالیت آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول و پیروگالول

نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول تحت تأثیر اثر ساده و همچنین برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان داد که میوه‌های برداشت شده در دهم دی (برداشت اول) همراه با تیمار ۱۰۰ پی‌پی‌ام اتیلن بیشترین فعالیت آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول (۰/۰۸۵۳ میکرومول بر ۱۰۰ گرم وزن تر در دقیقه) را دارا بود (جدول ۶). همچنین اثر ساده زمان برداشت و تیمار اتیلن و همچنین برهمکنش این دو بر فعالیت آنزیم PPO با پیش ماده پیروگالول معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میوه‌های برداشت شده در اسفند بدون تیمار اتیلن بالاترین میزان عددی فعالیت آنزیم PPO-پیروگالول (۴/۳۹ میکرومول بر ۱۰۰ گرم وزن تر در دقیقه) را دارا بود که البته از لحاظ آماری با برخی دیگر از تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر فعالیت برخی آنزیم‌های گوشت میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		POD	SOD	PPO-پیروکتکول	PPO-پیروگالول
زمان برداشت	۲	۰/۰۴۵۹**	۲۶/۹۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۰۸**	۰/۰۰۰۳۷۰**
تیمار اتیلن	۱	۰/۰۸۴۰**	۲۶/۸۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۱۵*	۰/۰۰۰۱۶۸**
زمان × تیمار	۲	۰/۱۰۲۹**	۷/۳۹ ^{ns}	۰/۰۰۱۲۹**	۰/۰۰۰۰۱۲*
خطای آزمایشی	۱۲	۰/۰۰۰۷	۱۵/۷۱	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۵/۰۴	۵/۶۲	۷/۰۴	۷/۰۱

*, ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی‌داری.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات برهمکنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر فعالیت برخی آنزیم‌های میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد.

زمان برداشت	تیمار پس از برداشت اتیلن (پی‌پی‌ام)	POD (واحد بر گرم وزن تر در دقیقه)	SOD (واحد بر گرم وزن تر)	PPO - پیروکتکول (میکرومول بر ۱۰۰ گرم وزن تر در دقیقه)	PPO - پیروگالول (میکرومول بر ۱۰۰ گرم وزن تر در دقیقه)
دهم دی	+	۰/۴۳۳d	۶۶/۸۷a*	۰/۰۶۲۳b	۳/۸۶ab
	۱۰۰	۰/۶۲۰b	۷۱/۸۰a	۰/۰۸۵۳a	۳/۱۳c
دهم بهمن	+	۰/۲۵۳e	۷۲/۵۳a	۰/۰۶۵۳b	۳/۷۸b
	۱۰۰	۰/۶۲۳ab	۷۳/۲۰a	۰/۰۲۹۷b	۴/۰۳ab
دهم اسفند	+	۰/۶۸۶a	۶۸/۲۰a	۰/۰۶۷۶b	۴/۳۹a
	۱۰۰	۰/۵۴۰c	۶۹/۹۳a	۰/۰۶۲۶b	۳/۸۷ab

*در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

همبستگی بین صفات

بر اساس ضرایب همبستگی بین صفات مشخص شد که در صد خاکستری شدن میوه با وزن میوه در زمان رسیدن و وزن بذر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). همچنین شدت خاکستری شدن گوشت میوه نیز با فلاونوئید کل روغن ارتباط مثبت و معنی‌داری را نشان داد. وزن میوه در زمان رسیدن با وزن پوست، گوشت و بذر و فنل کل روغن همبستگی مثبت و با فلاونوئید کل روغن همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. وزن بذر با وزن گوشت و فنل کل همبستگی مثبت و با فلاونوئید کل روغن همبستگی منفی و معنی‌داری را نشان داد. وزن پوست با فنل کل همبستگی مثبت و با فلاونوئید روغن همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. وزن گوشت میوه آووکادو با سفتی بافت، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و فنل کل روغن ارتباط مثبت و با میزان روغن در ماده تر و فلاونوئید کل روغن ارتباط منفی و معنی‌دار را نشان داد. ماده خشک میوه با میزان روغن در ماده خشک همبستگی قوی مثبت و معنی‌دار داشت. میزان روغن در ماده تر با فلاونوئید کل روغن همبستگی مثبت و با ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل و فنل کل روغن منفی و معنی‌داری را نشان داد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه را فنل کل روغن همبستگی مثبت و با فلاونوئید کل روغن همبستگی منفی و معنی‌داری داشت. در نهایت بین فلاونوئید کل روغن با فنل روغن ارتباط منفی قوی و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷).

بر اساس نتایج جدول همبستگی، بین فعالیت آنزیم PPO - پیروکتکول با روغن در ماده خشک و تر و از همه مهم‌تر با درصد و شدت خاکستری شدن گوشت میوه ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. در نهایت بین فعالیت آنزیم PPO - پیروگالول با روغن در ماده خشک و تر و فعالیت آنزیم PPO - پیروکتکول و همچنین با درصد و شدت خاکستری شدن گوشت میوه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

جدول ۷. همبستگی بین صفات میوه آووکادو رقم 'هس' طی انبارداری سرد تحت تأثیر زمان‌های مختلف برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن.

وزن رسیدگی	وزن بذر	وزن پوست	وزن گوشت	سفتی	درصد خاکستری	شدت خاکستری	ماده خشک	روغن ماده خشک	روغن ماده تر	آنتی‌اکسیدان	فلاونوئید روغن	فنل کل روغن	PPO- پیروکتیکول
۱													
۰/۹۲**	۱												
۰/۵۲*	۰/۲۵ ^{ns}	۱											
۰/۷۹**	۰/۷۴**	۰/۳۲ ^{ns}	۱										
۰/۴۰ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۷۲**	۱									
۰/۵۵*	۰/۶۶**	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۱								
۰/۲۸ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱							
۰/۰۷ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۱						
۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}	۰/۹۱**	۱						
۰/۴۱ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۴۸*	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱					
۰/۴۲ ^{ns}	۰/۳۹ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۰/۴۸*	۰/۲۸ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۱				
۰/۷۶**	۰/۶۴**	۰/۷۱**	۰/۶۶**	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۲۴ ^{ns}	۰/۷۸**	۰/۳۲ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۵۱*	۱			
۰/۸۱**	۰/۶۹**	۰/۷۴**	۰/۶۸**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۴۹*	۰/۴۸*	۱		
۰/۱۳ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۱۹ ^{ns}	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۷۰**	۰/۶۳**	۰/۱۱ ^{ns}	۰/۶۲**	۰/۴۹*	۰/۳۹ ^{ns}	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۱
۰/۳۲ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۱۷ ^{ns}	۰/۴۰ ^{ns}	۰/۱۴ ^{ns}	۰/۵۶*	۰/۴۹*	۰/۳۰ ^{ns}	۰/۷۱**	۰/۶۸**	۰/۵۵*	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۶۸**

^{ns}، * و ** به ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار، تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

بحث

اتیلن یک هورمون گازی است که در میوه‌ها نقش مهمی در فرآیند رسیدن ایفاء می‌کند. این هورمون با تحریک واکنش‌های بیوشیمیایی، باعث تغییراتی مانند نرم شدن بافت، تغییر رنگ، افزایش تولید قند و تولید ترکیبات آروماتیک می‌شود. در مورد آووکادو، تیمار پس از برداشت با اتیلن معمولاً برای تسریع رسیدن میوه‌هایی که به طور طبیعی کند می‌رسند، استفاده می‌شود. اما این تیمار در برخی موارد می‌تواند عوارضی نیز به همراه داشته باشد. اتیلن با تحریک تنفس میوه، منجر به افزایش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود. این رادیکال‌ها بسیار واکنش‌پذیر هستند و می‌توانند به ترکیبات موجود در بافت میوه آسیب رسانده و منجر به بروز عارضه خاکستری شدن شوند. همچنین، اتیلن می‌تواند تعادل هورمونی در میوه را بهم‌زده و باعث افزایش تولید برخی هورمون‌های دیگر شود که به نوبه خود بر فرآیندهای فیزیولوژیکی میوه تأثیر می‌گذارند. اتیلن می‌تواند فعالیت برخی آنزیم‌ها را تغییر دهد که این امر می‌تواند بر متابولیسم میوه و در نتیجه بر بروز عارضه خاکستری شدن تأثیر بگذارد. اتیلن می‌تواند باعث تغییراتی در ساختار غشای سلولی شود که این تغییرات می‌تواند به نفوذپذیری غشا نسبت به برخی ترکیبات آسیب‌رسان کمک کند و باعث تشدید عارضه خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو شود (Iqbal *et al.*, 2017; Cocetta and Natalini, 2022; Liu *et al.*, 2023).

تأخیر در برداشت میوه به آن فرصت می‌دهد تا به طور کامل رشد کند. میوه‌ها در طول مراحل رشد خود وزن می‌گیرند. اگر برداشت زودهنگام انجام شود، ممکن است میوه‌ها به طور کامل رشد نکرده و وزن کمتری داشته باشند. درختان، مواد مغذی را در میوه‌های خود ذخیره می‌کنند. باقی ماندن میوه‌ها روی درخت به میوه‌ها فرصت می‌دهد تا مواد مغذی بیشتری را از درخت جذب کنند و وزن آن‌ها افزایش یابد. به عنوان مثال، تأخیر در برداشت میوه البته تا یک زمان مشخص، ممکن است باعث افزایش میزان ساکاروز در میوه شود که منجر به افزایش وزن آن می‌شود. همچنین، باقی ماندن میوه‌ها روی درخت می‌تواند به آن‌ها اجازه دهد تا آب بیشتری را جذب کنند و آن را در ساختار خود نگه دارند. این می‌تواند منجر به افزایش وزن میوه‌ها شود (Pedreschi *et al.*, 2019; Ladaniy, 2022). مشخص شده است که تأخیر در برداشت تا زمان مشخص، به میوه‌ها فرصت می‌دهد تا به طور کامل رشد کنند. در طول مراحل رشد خود، میوه‌ها طول و قطر خود را افزایش می‌دهند. اگر برداشت زودهنگام انجام شود، ممکن است میوه‌ها به طور کامل رشد نکرده و طول و قطر کمتری داشته باشند. همچنین، باقی ماندن میوه‌ها روی درخت به میوه‌ها فرصت می‌دهد تا مواد مغذی و آب بیشتری را از درخت جذب کنند و طول و قطر آن‌ها افزایش یابد (Ladaniy, 2022; Osorio *et al.*, 2023).

سفتی بافت میوه آووکادو با تأخیر در برداشت افزایش یافت، زیرا این میوه بعد از برداشت به فرآیند رسیدن خود ادامه می‌دهد. با افزایش سن میوه روی درخت، غلظت برخی پلی‌ساکاریدها، مانند پکتین و همی‌سلولز، در دیواره‌های سلولی افزایش می‌یابد که به سخت‌تر شدن بافت میوه منجر می‌شود. همچنین، تأخیر در برداشت ممکن است باعث کاهش آب در بافت‌ها شود که خود عامل دیگری برای سفت‌تر شدن میوه است. پس از برداشت، آنزیم‌هایی مانند پلی‌گالاکتوروناز و سلولاز فعال می‌شوند که این ترکیبات را تجزیه کرده و بافت میوه را نرم‌تر می‌کنند؛ اما اگر برداشت دیرتر انجام شود، فعالیت این آنزیم‌ها نمی‌تواند به اندازه کافی بافت میوه را نرم کند و میوه سفت‌تر باقی می‌ماند (Woltering and Paillart, 2019; Mishra *et al.*, 2021).

با افزایش زمان باقی ماندن میوه روی درخت، فرآیند رسیدن به طور طبیعی پیشرفت می‌کند. در طول این فرآیند، آب درون میوه تبخیر شده و مواد جامد مانند قندها، چربی‌ها و فیبرها غلیظ‌تر می‌شوند. این غلظت مواد جامد منجر به افزایش نسبت ماده خشک به آب در میوه می‌شود. در طول رسیدن میوه، تغییرات متابولیکی گسترده‌ای رخ می‌دهد. این تغییرات شامل افزایش فعالیت آنزیم‌هایی

است که کربوهیدرات‌ها را به قندهای ساده‌تر تبدیل می‌کنند. این قندها در نهایت به سایر ترکیبات مانند چربی‌ها و ترکیبات فنلی تبدیل می‌شوند و در نتیجه ماده خشک میوه افزایش می‌یابد. همچنین، در مراحل پایانی رسیدن، میوه مواد ذخیره‌ای مانند نشاسته، چربی‌ها و پروتئین‌ها را تجمع می‌دهد و باعث افزایش ماده خشک میوه می‌شود (Pedreschi et al., 2019; Tang et al., 2020).

هرچه میوه بیشتر روی درخت بماند، فرآیند رسیدن به طور کامل‌تری انجام می‌شود. در طی این فرآیند، تغییرات متابولیکی گسترده‌ای در میوه رخ می‌دهد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها، تبدیل قندها به چربی (روغن) است. با رسیدن میوه، فعالیت آنزیم‌های خاصی که در تبدیل قندها به چربی نقش دارند، افزایش می‌یابد. این آنزیم‌ها باعث شکسته شدن پیوندهای مولکول‌های قند و تشکیل مولکول‌های چربی می‌شوند. همچنین، در مراحل پایانی رسیدن، آووکادو مواد ذخیره‌ای مانند روغن را به عنوان منبع انرژی تجمع می‌دهد. این تجمع مواد ذخیره‌ای باعث افزایش قابل توجه میزان روغن در میوه می‌شود (Rodríguez-López et al., 2017; Sarma et al., 2020).

به تعویق انداختن برداشت میوه به ماندگاری طولانی‌تر میوه روی درخت اجازه می‌دهد و فرآیندهای متابولیکی مداوم، از جمله بیوسنتز ترکیبات فنلی را امکان‌پذیر می‌کند. قرار گرفتن طولانی مدت میوه در معرض عوامل محیطی مانند نور خورشید، نوسانات دما و استرس اکسیداتیو باعث فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی درون میوه و در نتیجه افزایش تولید ترکیبات فنلی می‌شود. این افزایش در محتوای فنل را می‌توان به پاسخ تطبیقی میوه به عوامل تنش‌زا محیطی به منظور کاهش آسیب اکسیداتیو نسبت داد (Li et al., 2019; Tadeo et al., 2020; Kolton et al., 2022).

تیمار پس از برداشت آووکادو با اتیلن باعث افزایش میزان فنل کل و بهبود کیفیت روغن میوه می‌شود زیرا اتیلن به عنوان یک هورمون گیاهی، فرایندهای زیستی مختلفی را در میوه تحریک می‌کند. اتیلن در آووکادو باعث تسریع در فرایند رسیدن می‌شود و این فرایندها به فعال‌سازی آنزیم‌هایی منجر می‌شوند که در تولید ترکیبات فنلی و مواد آنتی‌اکسیدانی نقش دارند. ترکیبات فنلی، که به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی عمل می‌کنند، به مقاومت در برابر اکسیداسیون روغن کمک می‌کنند و پایداری و کیفیت آن را بهبود می‌بخشند. بنابراین، تیمار اتیلن باعث افزایش فعالیت متابولیک در سلول‌های آووکادو و در نتیجه سنتز بیشتر ترکیبات فنلی می‌شود. همچنین، اتیلن با افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مانند پلی‌فنل اکسیداز و فعال کردن مسیرهای سنتز این ترکیبات، به تولید فنل‌های بیشتری در میوه کمک می‌کند (Ke et al., 2018; Li et al., 2022; Liu et al., 2023).

با تأخیر در برداشت میوه آووکادو، میزان فلاونوئیدهای موجود در روغن میوه افزایش می‌یابد، زیرا فلاونوئیدها ترکیبات ثانویه‌ای هستند که در مراحل پایانی رشد میوه، تولید بیشتری پیدا می‌کنند. این ترکیبات در واکنش به استرس‌های محیطی و شرایط مختلف فیزیولوژیکی در میوه تولید می‌شوند، و هرچه میوه زمان بیشتری روی درخت باقی بماند، فرایندهای متابولیکی منجر به افزایش سنتز فلاونوئیدها تقویت می‌شود. از آنجا که فلاونوئیدها به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی عمل می‌کنند، افزایش آن‌ها به بهبود کیفیت روغن آووکادو کمک می‌کند و باعث پایداری بهتر آن می‌شود. فلاونوئیدها همچنین به حفظ عطر و طعم روغن کمک می‌کنند و ارزش غذایی آن را نیز افزایش می‌دهند. بنابراین، برداشت به موقع و نه زود هنگام آووکادو منجر به افزایش فلاونوئیدهای کل در روغن می‌شود و کیفیت و ماندگاری آن را ارتقا می‌دهد (Blakey et al., 2014; Sarma et al., 2020).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن آووکادو در زمان دوم برداشت افزایش می‌یابد، اما در زمان سوم برداشت کاهش پیدا می‌کند. این تغییرات به دلیل تأثیر زمان برداشت بر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در میوه است. در مرحله دوم برداشت، میوه به بلوغ بیشتری می‌رسد، و

در نتیجه غلظت ترکیبات آنتی اکسیدانی در روغن به اوج می‌رسد. این ترکیبات به حفاظت از سلول‌ها در برابر اکسیداسیون کمک می‌کنند و ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن را افزایش می‌دهند. اما در مرحله سوم برداشت، میوه‌ها به بیش‌ر سیدگی نزدیک می‌شوند، که می‌تواند باعث تخریب برخی از ترکیبات آنتی اکسیدانی یا کاهش تولید آن‌ها شود. همچنین، رسیدن بیش از حد میوه می‌تواند باعث اکسیداسیون اولیه در خود بافت میوه شود، که در نتیجه آن ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن کاهش می‌یابد (Woltering and Paillart, 2019; Tang et al., 2020; Osorio et al., 2023).

تیمار اتیلن پس از برداشت می‌تواند میزان فعالیت آنزیم‌های POD و SOD را در میوه آووکادو طی رسیدن و نگهداری تغییر دهد، زیرا این آنزیم‌ها نقش مهمی در پاسخ به استرس اکسیداتیو و تنظیم فرآیندهای مرتبط با رسیدن دارند. اتیلن با تحریک متابولیسم و افزایش فعالیت‌های زیستی میوه، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند سوپراکسید و پراکسید هیدروژن را افزایش می‌دهد (HersHKovitz et al., 2010; Zhu et al., 2019). برای کنترل این گونه‌های اکسیژن فعال، آنزیم‌های آنتی اکسیدانی نظیر SOD و POD فعال‌تر می‌شوند.

آنزیم‌های PPO نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مرتبط با رشد و بلوغ میوه دارند. در مراحل اولیه رشد، میزان فعالیت این آنزیم‌ها ممکن است پایین‌تر باشد، اما با بلوغ میوه، فعالیت آنزیم‌ها افزایش می‌یابد. این امر به دلیل افزایش تولید پلی‌فنل‌ها و همچنین تغییرات در ترکیب شیمیایی میوه است که به بلوغ مربوط می‌شود. میزان ترکیبات فنولی در آووکادو در زمان‌های مختلف برداشت متفاوت است. ترکیبات فنولی، بسترهای آنزیم PPO هستند، بنابراین افزایش یا کاهش این ترکیبات می‌تواند فعالیت آنزیم را تحت تأثیر قرار دهد (Rodríguez-López et al., 2017). تیمار اتیلن پس از برداشت می‌تواند بر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز (PPO) در میوه آووکادو طی فرآیند رسیدن و نگهداری تأثیر بگذارد. اتیلن نفوذپذیری غشاهای سلولی را افزایش می‌دهد و باعث تخریب بافت‌ها می‌شود. این تغییرات فیزیکی، ترکیبات فنولی و آنزیم‌های PPO را در تماس مستقیم با یکدیگر قرار می‌دهد و واکنش قهوه‌ای شدن را تسریع می‌کند (HersHKovitz et al., 2009).

در مورد آووکادو، به نظر می‌رسد که هرچه میوه سنگین‌تر باشد و بذری آن بزرگ‌تر باشد، احتمال خاکستری شدن آن نیز بیشتر است. میوه‌های بزرگ‌تر معمولاً مواد مغذی بیشتری را ذخیره می‌کنند. این مواد مغذی ممکن است در فرآیندهای اکسیداتیو که منجر به خاکستری شدن می‌شوند، نقش داشته باشند. میوه‌های بزرگ‌تر ممکن است سریع‌تر رشد کنند و در نتیجه ممکن است برخی از مکانیسم‌های دفاعی در برابر اکسیداسیون در آن‌ها کمتر فعال باشد. از طرف دیگر، بذری منبع مهمی از هورمون‌های گیاهی است که می‌تواند بر رشد و بلوغ میوه تأثیر بگذارد. برخی از این هورمون‌ها ممکن است با فرآیندهای اکسیداتیو مرتبط باشند (Blakey et al., 2014; Rodríguez-López et al., 2017; Osorio et al., 2023). مشخص شده است که خاکستری شدن گوشت آووکادو معمولاً ناشی از اکسیداسیون ترکیباتی مانند فلاونوئیدها است. این فرآیند می‌تواند منجر به تغییر رنگ و ایجاد لکه‌های قهوه‌ای در گوشت میوه شود. بنابراین، هرچه میزان فلاونوئیدها بیشتر باشد، احتمال اکسیداسیون و در نتیجه خاکستری شدن نیز افزایش می‌یابد. همچنین، فلاونوئیدها به عنوان آنتی اکسیدان‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند در محافظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو مؤثر باشند. با این حال، در شرایط خاص، افزایش میزان فلاونوئیدها می‌تواند به افزایش فعالیت آنزیم‌های اکسیداز منجر شود که در نهایت به خاکستری شدن گوشت میوه کمک می‌کند (Chiorcea-Paquim, 2023; Chen et al., 2023).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عارضه خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو رقم 'هس' فقط در شرایط انبارداری سرد و آنهم پس از تیمار با اتیلن مشاهده شد و اما در دمای اتاق هیچگونه عارضه خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو حتی در تیمار با اتیلن مشاهده نشد. تأخیر در برداشت و پیشرفت در بلوغ میوه‌ها در صد عارضه خاکستری شدن گوشت میوه‌ها را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. در حقیقت حساسیت میوه‌ها به اتیلن با تأخیر در برداشت میوه‌ها در دمای پایین افزایش پیدا می‌کند. در حقیقت تأخیر در برداشت میوه باعث افزایش وزن میوه، وزن پوست، گوشت، وزن بذر، درصد ماده خشک، میزان روغن، سفتی بافت میوه و فنل کل روغن می‌شود. بیشترین میزان ماده خشک، روغن و آب میوه در برداشت سوم و در میوه‌های بدون تیمار اتیلن مشاهده شد. در مقابل، بیشترین میزان فنل کل روغن در سومین زمان برداشت و در میوه‌های تیمار شده با اتیلن به دست آمد. همچنین، بیشترین میزان فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن میوه در دومین زمان برداشت و در میوه‌های بدون تیمار اتیلن اندازه‌گیری شد. بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های POD و PPO-پیروگالول در برداشت سوم بدون تیمار اتیلن و یا در برداشت دوم با تیمار اتیلن مشاهده شده است. بر اساس نتایج همبستگی بین در صد خاکستری شدن بافت گوشت میوه آووکادو با افزایش وزن میوه و وزن بذر و همچنین میزان فلاونوئید کل و میزان فعالیت آنزیم PPO با پیش ماده پیروکتکول ارتباط مثبت و معنی‌داری وجود داشت. در مجموع، تأخیر در برداشت میوه آووکادو هر چند باعث بهبود اندازه و کیفیت درونی میوه می‌شود، اما حساسیت میوه‌ها را به اتیلن و نیز عارضه خاکستری شدن گوشت میوه را در سردخانه‌های افزایش خواهد داد. با توجه به نتایج این مطالعه، به منظور حفظ بهتر کیفیت میوه و کاهش عارضه خاکستری شدن گوشت، برداشت آووکادو رقم 'هس' اندکی زودتر در دی ماه انجام شود.

منابع

- افشارمحمدیان، منصور؛ و فلاح، سیده فاطمه (۱۴۰۱). آووکادو: کشت، پرورش و ارزش غذایی. انتشارات مهم. ۲۲۰ صفحه.
- حیات‌بخش، عنایت؛ و قاسمی، مالک (۱۳۹۵). کشت و پرورش آووکادو. نشر آموزش کشاورزی. ۳۶ صفحه.
- مقصودی، شهرام (۱۳۹۵). آووکادو. انتشارات آقای کتاب. ۱۱۵ صفحه.
- هاشم‌پور، ابودر؛ عظیمی، محمود؛ و اسدی‌صنم، سمانه. (۱۴۰۰). ارزیابی پروفایل اسیدهای چرب روغن برخی از رقم‌ها و ژنوتیپ‌های امیدبخش زیتون در منطقه طارم استان زنجان. عوم باغبانی ایران. ۴(۵۲)، ۹۳۷-۹۴۹.

References

- Arpaia, M. L., Collin, S., Sievert, J. & Obenland, D. (2018). 'Hass' avocado quality as influenced by temperature and ethylene prior to and during final ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 140: 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.015>
- Blakey, R. J., Tesfay, S. Z., Bertling, I. & Bower, J. P. (2014). Ripening physiology and quality of 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) after cold storage at 1°C. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 89(6): 655-662. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513134>
- Brühl, L. (1996). Official methods and recommended practices of the American oil chemist's society physical and chemical characteristics of oils, fats and waxes, (section I. Ed). The AOCS method editor and the AOCS technical department. (54 pages). AOCS Press, Champaign.
- Chance, B. and Maehly, A.C. (1955) Assay of Catalase and Peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-775. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(55\)02300-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(55)02300-8)

- Chen, S., Wang, X., Cheng, Y., Gao, H. & Chen, X. (2023). A review of classification, biosynthesis, biological activities and potential applications of flavonoids. *Molecules*. 28(13): 4982. <https://doi.org/10.3390/molecules28134982>
- Chiorcea-Paquim, A. M. (2023). Electrochemistry of flavonoids: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(21): 15667. <https://doi.org/10.3390/ijms242115667>
- Cocetta, G. & Natalini, A. (2022). Ethylene: Management and breeding for postharvest quality in vegetable crops. A review. *Frontiers in Plant Science*. 13: 968315. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.968315>
- Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K. 1977. Superoxide dismutases I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*. 59: 309 -314. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- Gago, C., Guerreiro, A., Souza, M., Martins, N., Fonseca, D., Cabrita, M. J., Miguel, M. D. G. & Antunes, M. D. (2024). Effectiveness of sodium alginate and carnauba wax nanoemulsions with Lemongrass essential oil on the quality of 'Hass' avocado fruit from early, middle, and late harvest season during prolonged cold storage. *Scientia Horticulturae*. 333: 113237. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113237>
- Guo, M. (2025). Antioxidants and antioxidant-rich foods. *Functional Foods* (Second Edition). In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 7-53. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-19100-8.00001-4>
- Gwanpua, S. G., Qian, Z. & East, A. R. (2018). Modeling ethylene regulated changes in 'Hass' avocado quality. *Postharvest Biology and Technology*. 136: 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.002>
- Hashempour, A., Ghasemnezhad, M., Fotouhi Ghazvini, R. et al. The physiological and biochemical responses to freezing stress of olive plants treated with salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology*. 61, 443–450 (2014). <https://doi.org/10.1134/S1021443714040098>
- HersHKovitz, V., Friedman, H., Ben-Arie, R., Feygenberg, O., Pesis, E. and Goldschmidt, E.E. 2010. The role of ethylene receptors in avocado ripening. 858: *Acta Horticulturae*. 143-147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.858.17>
- HersHKovitz, V., Friedman, H., Goldschmidt, E.E. and Pesis, E. 2009. The role of the embryo and ethylene in avocado fruit mesocarp discoloration. *Journal of Experimental Botany*. 60(3): 791-799.
- Hofman, P. J., Fuchs, Y. & Milne, D. L. (2022). Harvesting, packing, postharvest technology, transport and processing. In: *The avocado: botany, production and uses*. Wiley, A. W., Schaffer, B. & Wolstenholme, B. N. (Eds). pp. 363-401. <https://doi.org/10.1079/9781845937010.0489>
- Hu, J., Liu, D., Zhu, Y., Chen, Z., Zhang, X., Han, X. & Zhou, P. (2024). Establishing a maturity prediction model for respiratory fruits via ethylene-regulated physiology: A case investigation of avocado. *Food Bioscience*. 59: 104097. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104097>
- Iqbal, N., Khan, N. A., Ferrante, A., Trivellini, A., Francini, A. & Khan, M. I. R. (2017). Ethylene role in plant growth, development and senescence: Interaction with other phytohormones. *Frontiers in Plant Science*. 8: 475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00475>
- Ke, S. W., Chen, G. H., Chen, C. T., Tzen, J. T. C. & Yang, C. Y. (2018). Ethylene signaling modulates contents of catechin and ability of antioxidant in *Camellia sinensis*. *Botanical Studies*. 59: 11. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0226-x>
- Kolton, A., Długosz-Grochowska, O., Wojciechowska, R. & Czaja, M. (2022). Biosynthesis regulation of folates and phenols in plants. *Scientia Horticulturae*. 291: 110561. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110561>
- Ladaniya, M. (2022). *Citrus Fruit, Biology, Technology, and Evaluation*, 2nd Edition, Academic Press, 858 pages. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06022-X>
- Li, X., Jin, L., Pan, X., Yang, L. & Guo, W. (2019). Proteins expression and metabolite profile insight into phenolic biosynthesis during highbush blueberry fruit maturation. *Food Chemistry*. 290: 216-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.115>
- Li, X., Li, B., Li, M., Fu, X., Zhao, X., Min, D., Li, F. & Zhang, X. (2022). Ethylene pretreatment induces phenolic biosynthesis of fresh-cut pitaya fruit by regulating ethylene signaling pathway. *Postharvest Biology and Technology*. 192: 112028. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112028>

- Lieu, M. D., Phuong, T. V., Nguyen, T. T. B., Dang, T. K. T. & Nguyen, T. H. (2024). A review of preservation approaches for extending avocado fruit shelf-life. *Journal of Agriculture and Food Research*. 16: 101102. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101102>
- Lin, X. & Li, Z. (2024). Key components and multiple health functions of avocado oil: A review. *Journal of Functional Foods*. 122: 106494. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106494>
- Liu, M., Wang, C., Ji, H., Sun, M., Liu, T., Wang, J., Cao, H. & Zhu, Q. (2024). Ethylene biosynthesis and signal transduction during ripening and softening in non-climacteric fruits: An overview. *Frontiers in Plant Science*. 15: 1368692. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1368692>
- Mishra, P., Paillart, M., Meesters, L., Woltering, E., Chauhan, A. & Polder, G. (2021). Assessing avocado firmness at different dehydration levels in a multi-sensor framework. *Infrared Physics & Technology*. 118: 103901. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2021.103901>
- Najafian, L., Hadad Khodaparast, M. H. & Ghodsvai, A. (2007). Olive oil extraction from three olive varieties using enzyme processing. *Journal of Food Sciences and Technology*. 4: 45 -53.
- Newett, S. D. E., Crane, J. H. & Balerdi, C. F. (2022). Cultivars and rootstocks. In: The avocado: botany, production and uses. Whiley A. W., Schaffer B., Wolstenholme B. N. (Eds). pp. 161-187. <https://doi.org/10.1079/9780851993577.01>
- Osorio, S., Costa, F., Gibon, Y., Usadel, B. & Vicente, A. (2023). Advances in fruit development and ripening. *Journal of Experimental Botany*. 74(20): 6205-6206. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad379>
- Pedreschi, R., Uarrotta, V., Fuentealba, C., Alvaro, J. E., Olmedo, P., Defilippi, B. G. 2019. Campos-Vargas, R. (2019). Primary metabolism in avocado fruit. *Frontiers in Plant Science*. 10: 795. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00795>
- Ramírez-Gil, J. G., López, J. H. & Henao-Rojas, J. C. (2020). Causes of Hass avocado fruit rejection in preharvest, harvest, and packinghouse: economic losses and associated variables. *Agronomy*. 10(1): 8. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010008>
- Ramírez-Gil, J. G., Henao-Rojas, J. C. & Morales-Osorio, J. G. (2021). Postharvest diseases and disorders in avocado cv. Hass and their relationship to preharvest management practices. *Heliyon*. 7(1): e05905. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05905>
- Rodríguez-López, C. E., Hernández-Brenes, C., Treviño, V. & Díaz de la Garza R. I. (2017). Avocado fruit maturation and ripening: dynamics of aliphatic acetogenins and lipidomic profiles from mesocarp, idioblasts and seed. *BMC Plant Biology*. 17(1): 159. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1103-6>
- Salameh, M., Nacouzi, D., Lahoud, G., Riachy, I. & El Kayal, W. (2022). Evaluation of postharvest maturity indices of commercial avocado varieties grown at various elevations along Lebanon's Coast. *Frontiers in Plant Science*. 13: 895964. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.895964>
- Sarma, B., Das, K. & Bora, S. S. (2020). Physiology of fruit development. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 9(6): 504-521. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.066>
- Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R. S. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin- Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 299: 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Tadeo, F. R., Terol, J., Rodrigo, M. J., Licciardello, C. & Sadka, A. (2020). Fruit growth and development. In: The genus citrus. Eds. Talón, M., Caruso, M. and Gmitter, F. (Cambridge, UK: Woodhead Publishing), 245-289. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812163-4.00012-7>
- Tang, D., Gallusci, P. & Lang, Z. (2020). Fruit development and epigenetic modifications. *New Phytologist*. 228(3): 839-844. <https://doi.org/10.1111/nph.16724>
- Waissbluth, R. & Valenzuela, J. (2007). Determination of the minimum percentage of dry matter to authorize the harvest of Hass avocado pears for export. Proceedings VI World Avocado Congress Viña Del Mar, Chile. 12-16 Nov.
- Whiley, A.W., Schaffer, B. & Wolstenholme, B.N. (2022). The avocado: botany, production and uses. 416 pages.
- Woltering, E. & Paillart, M. (2019). Dynamics of ripening of avocado fruit Green. Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen, GreenCHAINge WP6. March 2019, 22 pages.

The effect of harvest time on the quantity and quality of avocado cv. Hass fruit stored in a cold storage under the influence of ethylene

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The postharvest quality of 'Hass' avocado (*Persea americana*) fruits may be reduced by physiological disorders that develop during storage and ripening stage. The degree to which physiological disorders develop is significantly affected by the storage conditions, including duration and temperature, and the fruit's maturity at harvest. In general, 'Hass' avocado fruits are chilling sensitive, with the skin and the flesh showing symptoms of chilling injury. Skin chilling injury occurs as discrete patches of discolored skin, whereas in the flesh, the symptom is diffuse discoloration or greying. The two symptoms are not linked; skin injury can occur well before greying, and it is associated with the fruit starting to ripen at storage temperatures rather than a simple time-by-temperature relationship. Therefore, the main objective of our study was to examine the effect of ethylene treatment on grey pulp incidence of partially-ripened avocados Hass avocado during cold storage.

Materials and Methods

In this study, the effects of different harvest times (240, 270 and 300 days after full bloom, DAFB) and post-harvest ethylene treatment (0 and 100 ppm) on grey pulp incidence and other quality-related characteristics in 'Hass' avocado fruits during cool storage at 5°C for 6 weeks was investigated. After 3 weeks' storage, the ripe fruits were treated with 100 ppm ethylene. Then, ripened fruits were cut in half after 5 to 6 weeks and evaluated for grey pulp severity and incidence. Furthermore, characteristics like fruit size, peel weight, flesh weight, seed weight, dry matter, oil percentage in fresh and dry weight, total phenol, total flavonoid and antioxidant activity in oil and the enzymes activities such as POD, SOD, PPO with pyrogallol and pyrocatechol as a substrate were measured. Grey pulp was rated by assessing the percentage (scale of 0 to 100) of the cut surface of the fruit affected by disorders.

Results and Discussion

The results showed that delay in harvest time increased grey pulp incidence in avocado fruits by increasing fruit sensitivity to ethylene. Fruits harvested 270 and 300 days after full bloom (DAFB) showed 100 percent grey pulp when treated with 100 mg L⁻¹ ethylene and placed in cool storage. Delays in harvest increased fruit weight, skin weight, pulp weight, seed weight, dry matter percentage and oil percentage of fruits. The highest amount of oil phenol was in control fruits when treated with ethylene. The highest total flavonoid and antioxidant activity in avocado oil was found in the second harvest in control. The highest POD and PPO activity with Pyrogallol substrate was found at third harvest without ethylene or second harvest with ethylene. Correlation coefficients between traits showed a positive correlation between grey pulp incidence with fruit weight, seed weight, flavonoids content in oil and PPO activity with Pyrocatechol.

Conclusion

Grey pulp disorder is visible when the fruit is cut but can darken further. It is a main limiting factor for avocado production and export during cool chain transport. Previous studies showed that grey pulp is generally associated with senescence or ageing. In this study, we found that delaying the harvest time of avocados improved fruit size and quality, but the sensitivity to ethylene increased during cold storage. These fruits will show more grey pulp incidence than the early harvested ones. Overall, when exposed to ethylene during cold storage, ripened fruits will be more exposed to grey pulp incidence.

Keywords: *Maturity, bioactive compounds, antioxidant activity, fruit ripening, dry matter.*

فیلد استادی