



Effect of Harvest Time on Fruit Quantity and Quality of ‘Hass’ Avocados Stored in Cold Storage with ethylene treatment

Narges Ghorbanian¹ , Mahmood Ghasemnezhad^{2✉} , Abuzar Hashempour³ ,
Jeremy Burdon⁴ , Malek Ghasemi⁵

1. Department of Horticultural Science and Engineering, University Campus, University of Guilan, Guilan, Iran. E-mail: mghorbanian79@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Guilan, Iran. E-mail: gghasemnezhad@guilan.ac.ir
3. Department of Post-harvest Physiology and Technology, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: hashempour_1982@yahoo.com
4. Department of Postharvest, Plant and Food Research Institute, New Zealand E-mail: jermy.burdon@plantandfood.co.nz
5. Department of Genetic and Breeding, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: malekgh45@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	A primary challenge for avocado exporters is the incidence of grey pulp in fruits. This study investigated the effects of different harvest times (240, 270, and 300 days after full bloom, DAFB) and post-harvest ethylene treatments (0 and 100 ppm) on grey pulp development and other quality-related characteristics of ‘Hass’ avocado fruits during six weeks of cool storage at 5°C. Our findings indicate that delaying the harvest time increased the susceptibility of fruit flesh to graying, correlating with heightened sensitivity to ethylene. Specifically, fruits harvested at 270 and 300 DAFB exhibited 100% grey pulp when treated with 100 ppm ethylene and stored under cool conditions. Furthermore, delayed harvesting significantly enhanced fruit weight, skin weight, pulp weight, seed weight, dry matter percentage, and oil percentage. The highest concentration of oil phenols was observed in control fruits (no ethylene treatment), contrary to what might be expected when comparing with ethylene-treated fruits. The highest total flavonoid content and antioxidant activity in avocado oil were found in fruits from the second harvest time (270 DAFB) under control conditions. Enzyme activity analysis revealed that the highest POD and PPO activity (using Pyrogallol substrate) occurred in fruits from the third harvest time without ethylene treatment, or from the second harvest time with ethylene treatment. Correlation analysis demonstrated a positive association between grey pulp incidence and fruit weight, seed weight, oil flavonoid content, and PPO activity (using Pyrocatechol). In conclusion, while delaying harvest time in avocados generally improves fruit size and quality, it also increases fruit susceptibility to grey pulp, particularly in ethylene-contaminated environments during cool storage.
Article history: Received: 18 November 2024 Received in revised form: 25 January 2025 Accepted: 27 January 2025 Published online: Summer 2025	
Keywords: <i>Maturity, bioactive compounds, antioxidant activity, fruit ripening, dry matter.</i>	

Cite this article: Ghorbanian, N., Ghasemnezhad, M., Hashempour, A., Burdon, J. & Ghasemi, M. (2025). Effect of Harvest Time on Fruit Quantity and Quality of ‘Hass’ Avocados Stored in Cold Storage with ethylene treatment. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (2), 357-377. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385302.2229>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385302.2229>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

The postharvest quality of 'Hass' avocado (*Persea americana*) fruit may be compromised by physiological disorders that develop during storage and ripening. The extent to which these disorders occur is significantly influenced by storage conditions, including duration and temperature, as well as the maturity stage of the fruit at harvest. In general, 'Hass' avocado fruit are chilling sensitive, and symptoms of chilling injury may appear in both the skin and flesh. Skin chilling injury manifests as discrete patches of discolored skin, whereas flesh injury appears as diffuse discoloration or greying. These two symptoms are not directly linked: skin injury may occur well before greying, and it is associated with the onset of ripening at storage temperatures rather than with a simple time–temperature relationship. Therefore, the main objective of our study was to examine the effect of ethylene treatment on the incidence of grey pulp in partially ripened 'Hass' avocados during cold storage.

Materials and Methods

This study investigated the effects of different harvest times (240, 270, and 300 days after full bloom; DAFB) and postharvest ethylene treatment (0 and 100 ppm) on grey pulp incidence and other quality-related attributes of 'Hass' avocado fruits during cool storage at 5°C for 6 weeks. After 3 weeks of storage, ripe fruits were treated with 100 ppm ethylene. After an additional 2–3 weeks (5–6 weeks total), fruits were cut in half and evaluated for grey pulp severity and incidence. In addition, fruit size, peel weight, flesh weight, seed weight, dry matter content, and oil percentage (on both fresh and dry weight basis) were measured, along with total phenol, total flavonoid, and antioxidant activity in the oil. Enzyme activities, including POD, SOD, and PPO, were also determined using pyrogallol and pyrocatechol as substrates. Grey pulp was assessed by determining the percentage of the cut surface affected by disorders (rated on a scale of 0–100).

Results and Discussion

The results showed that delayed harvest increased grey pulp incidence in avocado fruits by enhancing fruit sensitivity to ethylene. Fruits harvested at 270 and 300 days after full bloom (DAFB) developed 100% grey pulp when treated with 100 mg L⁻¹ ethylene and stored under cool conditions. Delayed harvest also increased fruit weight, peel weight, pulp weight, seed weight, dry matter percentage, and oil percentage. The highest oil phenol content was observed in control fruits treated with ethylene. The highest total flavonoid content and antioxidant activity in avocado oil were found in fruits from the second harvest under the control treatment. The highest POD and PPO activities with pyrogallol as the substrate were observed in fruits from the third harvest without ethylene treatment and the second harvest with ethylene treatment. Correlation analysis showed a positive relationship between grey pulp incidence and fruit weight, seed weight, flavonoid content in oil, and PPO activity with pyrocatechol.

Conclusion

The grey pulp disorder can be seen when the fruit is cut, although it may darken further during storage. It is a major limiting factor for avocado production and export during cold-chain transport. Previous studies have reported that grey pulp is generally associated with senescence or ageing. In this study, we found that delaying harvest improved fruit size and quality, but increased the fruit's sensitivity to ethylene during cold storage. As a result, delayed-harvest fruits showed a higher incidence of grey pulp than early-harvest fruits. Overall, ethylene exposure during cold storage increased the susceptibility of ripened fruits to grey pulp incidence.

Author Contributions

Methodology, N.Ghorbanian., M. Ghasemnezhad., A. Hashempour, J. Burdon and M.Ghasemi.; data curation; M.Ghorbanian.; writing—original draft preparation, N.Ghorbanian, M. Ghasemnezhad; Conceptualization, M.Ghasemnezhad; Investigation, M.Ghasemnezhad; resources, M.Ghasemnezhad, and J. Burdon; writing – review & editing, M.Ghasemnezhad and A. Hashempour; All authors provided critical feedback and helped shape the research, analysis and manuscript.

Data Availability Statement

The authors will make the results available if requested.

Acknowledgements

The authors appreciate the University of Guilan for the financial support of this research..

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



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

نرگس قربانیان^۱ | محمود قاسم نژاد^۲ | ابودر هاشم پور^۳ | جرمی بوردون^۴ | مالک قاسمی^۵

۱. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: mghorbanian79@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. رایانامه: ghasemnezhad@guilan.ac.ir

۳. گروه فیزیولوژی و فناوری پس از برداشت، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم. رامسر، ایران. رایانامه: hashempour_1982@yahoo.com

۴. گروه فیزیولوژی پس از برداشت، مؤسسه تحقیقات گیاه و غذا کشور نیوزیلند، رایانامه: jeremy.burdon@plantandfood.co.nz

۵. گروه ژنتیک و به‌نژادی، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم. رامسر، ایران. رایانامه: malekgh45@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۸ تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۴ کلیدواژه‌ها: بلوغ، ترکیبات زیست‌فعال، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، رسیدگی میوه، ماده خشک.	مهم‌ترین چالش صادرکنندگان میوه آووکادو، خاکستری‌شدن 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 پس‌ازبرداشت اتیلن (۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) بر خاکستری‌شدن گوشت میوه آووکادو رقم «هس» طی نگهداری در سردخانه ارزیابی شد. نتایج نشان داد تأخیردربرداشت، درصد خاکستری‌شدن گوشت میوه‌ها را ازطریق افزایش حساسیت به اتیلن افزایش داده است. میوه‌های که ۲۷۰ و ۳۰۰ روز بعد از تمام گل برداشت شدند، صددرصد خاکستری‌شدن را بعد از تیمار اتیلن نشان دادند. همچنین، تأخیردربرداشت میوه‌ها باعث افزایش معنی‌دار 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 به‌دست آمد. بیشترین میزان فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن در برداشت دوم و در میوه‌های شاهد بود. بالاترین میزان فعالیت آنزیم‌های POD و PPO با پیش‌ماده پیروگالول در برداشت سوم بدون تیمار اتیلن یا در برداشت دوم با اتیلن مشاهده شد. نتایج هم‌بستگی صفات نشان داد که درصد خاکستری‌شدن میوه با وزن میوه در مرحله رسیدگی، وزن بذر، فلاونوئید کل روغن و فعالیت آنزیم‌های PPO با پیش‌ماده پیروکتکول هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری دارد. در مجموع، تأخیردربرداشت میوه آووکادو هر چند باعث ارتقاء اندازه و کیفیت درونی میوه می‌شود، اما حساسیت آن را به اتیلن و نیز عارضه خاکستری‌شدن گوشت میوه را در سردخانه‌ها افزایش خواهد داد.

استناد: قربانیان، نرگس؛ قاسم نژاد، محمود؛ هاشم پور، ابودر؛ بوردون، جرمی و قاسمی، مالک (۱۴۰۴). اثر زمان برداشت بر کمیت و کیفیت میوه آووکادو رقم «هس» نگهداری شده در سردخانه تحت تأثیر اتیلن. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۲)، ۳۷۷-۳۵۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385302.2229>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.385302.2229>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

امروزه آووکادو از اقتصادی‌ترین محصول نیمه‌گرمسیری و گرمسیری در جهان است و باتوجه به ارزش غذایی بالا، میزان تولید و مصرف آن به‌طور چشمگیری روبه‌افزایش است (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۴۰۱). در ایران، امروزه تنها بخش کوچکی از استان‌های مازندران و گیلان مناسب کشت و پرورش آووکادو می‌باشد، اما سطح زیرکشت این میوه در حال توسعه است و انتظار می‌آورد در آینده نزدیک، به‌عنوان میوه امیدبخش در بازار تولید و مصرف ظاهر شود (افشارمحمدیان و همکاران، ۱۴۰۱؛ حیات‌بخش و قاسمی، ۱۳۹۵).

میوه آووکادو به‌دلیل طعم و ترکیب تغذیه‌ای و سطح بالای چربی‌های غیراشباع، مشابه خشکبار برای سلامت قلب و عروق مفید است و درعین‌حال، میزان کالری کم، موجب افزایش مصرف آن در جهان شده است (افشارمحمدیان و فلاح، ۱۴۰۱؛ Lieu et al., 2024). به‌طور کلی، ارزش غذایی بالای آووکادو مشخصاً به‌دلیل محتوای بالای روغن، چربی‌های غیراشباع، بتاکاروتن، توکوفرول، فیتوسترول‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین‌های محلول در چربی و انواع ترکیبات زیست‌فعال می‌باشند (Lin and Li, 2024). باین‌حال، کیفیت و میزان ترکیبات زیست‌فعال آن می‌تواند متأثر از عوامل مختلفی مانند گونه (رقم)، شرایط زراعی، بلوغ میوه و تیمارهای پس‌از برداشت قرار گیرد. میزان بلوغ میوه در زمان برداشت عاملی 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 دوره رشد آن 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. اسیدها و کربوهیدرات‌ها برای تأمین انرژی موردنیاز میوه طی فرآیند رسیدن استفاده می‌شوند. این شاخص‌های رسیدگی، بسته به ارقام مختلف آووکادو متفاوت است؛ برخی 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 میوه‌هایی که در اوایل فصل برداشت می‌شوند، در دمای حدود پنج درجه سانتی‌گراد، میوه‌هایی که در اواسط فصل برداشت می‌شوند در دمای چهار درجه سانتی‌گراد؛ اما میوه‌هایی که بالغ‌تر برداشت می‌شوند در دمای هفت 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»، دمای ۴-۶ درجه سانتی‌گراد به‌مدت حداکثر چهار هفته برای حفظ کیفیت مطلوب است (Hofman et al., 2022; Lieu et al., 2024).

بین ارقام مختلف، رقم «هس» به‌عنوان پرفرودارترین رقم آووکادو در بازارهای جهانی شناخته می‌شود و به‌دلیل کیفیت بالا، طعم مطلوب و قابلیت نگهداری مناسب، از اهمیت اقتصادی قابل‌توجهی برخوردار است. این رقم دیررس است و پس از رسیدن به حداقل بلوغ فیزیولوژیک، برای بهره‌برداری از فرصت‌های بازار، به‌ویژه در مناطق سردتر، برای مدت‌های مختلف روی درخت نگهداری می‌شود؛ شایان‌ذکر است که دیررسی در مناطق سردتر ناشی از گل‌دهی و تشکیل میوه دیرتر است. برداشت دیر هنگام رقم «هس» که معمولاً در زمستان در مناطق نیمه‌گرمسیری برداشت می‌شود، ممکن است منجر به هم‌زمانی میوه‌های رسیده روی درخت و گل‌دهی و تشکیل محصول فصل بعد شود (حیات‌بخش و قاسمی، ۱۳۹۵؛ Newett et al., 2022).

پیشینه پژوهش

با وجود محبوبیت روزافزون آووکادو، از مهم‌ترین چالش‌های تولیدکنندگان و صادرکنندگان این میوه، حفظ کیفیت آن طی مراحل پس‌از برداشت و نگهداری در سردخانه است. یکی از نابسامانی‌های فیزیولوژیک شاخصی که طی نگهداری آووکادو رخ

می‌دهد، عارضه خاکستری شدن گوشت است که عبارت است از تغییر رنگ گوشت میوه از سبز به قهوه‌ای مایل به خاکستری و باعث کاهش کیفیت ظاهری و بافت میوه بوده و در نهایت، منجر به کاهش ارزش تجاری آن می‌شود. این عارضه از آسیب‌زاترین عوامل محدودکننده تجارت و صادرات میوه آووکادو در سطح جهان به‌شمار می‌آید. تحقیقات قبلی نشان داده خاکستری شدن گوشت در میوه‌هایی که از بلوغ بیشتری برخوردارند زودتر رخ می‌دهد و با طولانی‌تر شدن زمان انبارداری، بروز و شدت آن افزایش می‌یابد (مقصودی، ۱۳۹۵؛ Woolf et al., 2020; Ramírez-Gil et al., 2024). علاوه بر کنترل بلوغ میوه آووکادو با برداشت آن در زمان بهینه، استفاده از تیمارهای پس‌از برداشت نیز می‌تواند بر بروز عارضه خاکستری شدن گوشت و تغییرات بیوشیمیایی میوه تأثیرگذار می‌باشد (Ramírez-Gil et al., 2020). ماده اتیلن نقش حیاتی در رسیدن میوه‌ها ایفاء می‌کند؛ این هورمون باعث تحریک تولید آنزیم‌های پکتولیتیک، افزایش تنفس و تغییرات فیزیولوژیک دیگر در میوه می‌شود (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 فرایند رسیدن و هماهنگ‌سازی رسیدن میوه‌های آووکادو در یک محموله می‌شود (Gwanpua et al., 2018; Hu et al., 2024). علی‌رغم این، استفاده بیش‌ازحد از اتیلن یا استفاده از آن در زمان نامناسب می‌تواند باعث بروز عوارض جانبی مانند افزایش تولید اتیلن درون‌زا، تسریع پیری میوه، افزایش حساسیت میوه به اختلالات فیزیولوژیک و در نتیجه، بروز عارضه خاکستری شدن گوشت شود (Arpaia et al., 2024).

باتوجه به این که کشت و کار آووکادو در ایران به‌طور قابل ملاحظه‌ای در حال افزایش است و این میوه، از محصولات امیدبخش تلقی می‌شود، آینده بازارهای داخلی جوابگو حجم تولید اضافی نخواهد بود و کشور، نیازمند صادرات خواهد شد. لذا همانند سایر کشورهای تولیدکننده، صادرات آووکادو حتی به نزدیک‌ترین بازار هدف نیز نیازمند پیش‌بینی سه‌الی چهار هفته نگهداری در دمای پایین جهت رسیدن به بازار هدف صادرات است. این مدت انتقال، بدون شک باعث بروز عارضه خاکستری شدن گوشت خواهد شد؛ بنابراین، اهداف این پژوهش شناسایی چگونگی وقوع این عارضه در دمای سردخانه خواهد بود و توصیه‌های کاربردی جهت کاهش این عارضه ارائه خواهد شد.

روش‌شناسی پژوهش

طرح آزمایشی و تیمار مورد استفاده

پژوهش حاضر در یک باغ تجاری واقع در روستای کترا، 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. میوه‌های آووکادو رقم «هس» به فاصله زمانی یک‌ماهه از 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) طی سه مرحله برداشت شدند. در هر مرحله برداشت، میوه‌های هم‌اندازه و سالم از چهار طرف درخت جمع‌آوری شدند. میوه‌های برداشت‌شده بلافاصله به آزمایشگاه فنی مهندسی پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه گرمسیری رامسر منتقل شدند. پژوهش در دو قسمت اجرا شد. ابتدا: آزمایش میوه‌های برداشت‌شده در هر مرحله در زمان برداشت مورد ارزیابی صفاتی مانند وزن میوه، وزن بذر پوست و گوشت، درصد ماده خشک و درصد روغن در ماده خشک و تر میوه قرار گرفتند. این بخش از آزمایش با سه تکرار و هر تکرار شامل ۱۰ عدد میوه اجرا شد. دوم: میوه‌های هر مرحله برداشت ابتدا در دمای پنج درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به مدت ۴-۶ هفته نگهداری شدند و در هفته سوم، تحت تیمار اتیلن به میزان صد پی‌پی‌ام قرار گرفتند. زمانی که میوه‌ها شروع به رسیدن و نرم شدن کردند، بلافاصله از وسط به دو نیم تقسیم و سپس، میزان عارضه خاکستری شدن میوه اندازه‌گیری شد. در پایان، پس از استخراج روغن از میوه‌های رسیده، خصوصیات مانند میزان فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن نیز اندازه‌گیری شد.

روش اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه

وزن میوه آووکادو 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 باتوجه به وزن اولیه میوه، محاسبه شد. برای تعیین ماده خشک، گوشت میوه به مکعب‌های کوچک خرد شد و به‌میزان بیست تا سی گرم از بافت گوشت میوه در پتری‌دیش ریخته شد. پتری‌دیش‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا به وزن پایدار برسد. با استفاده از فرمول زیر میزان ماده خشک (DM) میوه برحسب درصد محاسبه شد (Waissbluth et al., 2007):

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

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

درصد روغن گوشت میوه با استفاده از دستگاه سوکسله مدل Gerhardt، ساخت آلمان و حلال n- هگزان اندازه‌گیری شد. بدین‌منظور، در هر مرحله، تعداد سه میوه از هر تکرار نمونه‌برداری و وزن شد. سپس گوشت میوه‌ها در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس به‌وسیله چکش آسیاب شدند. پس از آن، دو گرم از نمونه خشک شده (گوشت) در دستگاه سوکسله قرار گرفته و از ۲۵۰ میلی‌لیتر حلال n- هگزان برای استخراج روغن استفاده شد. دستگاه پس از هشت ساعت خاموش شده و به‌منظور خشک‌کردن، نمونه‌ها به آون منتقل شدند. پس از خشک‌شدن، اقدام به توزین دوباره گشت و از راه کسر ایجادشده، درصد روغن برحسب ماده خشک و ماده تر تعیین شد (Brühl, 1996).

درصد عارضه خاکستری‌شدن گوشت میوه با شمارش تعداد میوه‌های دارای این آسیب فیزیولوژیک درمقایسه با تعداد کل میوه‌های برداشت‌شده 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 سفتی‌سنج (پنترومتر) با نوک (پروب) یازده میلی‌متر استفاده شد و برحسب 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 به‌مدت یک دقیقه با دستگاه ورتکس مدل Heidolph، ساخت آلمان، به‌مدت ده دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور در دقیقه با دستگاه مدل Mikro-Hettich 200R، ساخت آلمان سانتریفیوژ شد؛ فاز بالایی جدا شده 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 به‌مدت یک دقیقه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. بعد از آن، به‌مدت پنج دقیقه با دور ۵۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. فاز بالایی، برداشته و دور ریخته شد و به فاز پایینی، مجدداً ۷۰۰ میکرولیتر هگزان اضافه گردید. سپس با دستگاه ورتکس مخلوط و سانتریفیوژ شد. این مرحله برای بار سوم هم انجام شد و درنهایت، فاز جمع‌آوری‌شده در دستگاه تقطیر در خلأ قرار گرفت تا عصاره غلیظ شود. عصاره به‌دست‌آمده با متانول به حجم یک میلی‌لیتر رسانده شد و تا زمان اندازه‌گیری در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در تاریکی نگهداری گردید.

اندازه‌گیری میزان فنل کل، از طریق سنجش توسط معرف فولین‌سیوکالتو انجام شد (Singleton et al., 1999). میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. درنهایت، مقدار فنل کل از روی منحنی استاندارد گالیک‌اسید برحسب میلی‌گرم گالیک‌اسید در کیلوگرم روغن بیان شد.

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

برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن از خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی‌فنیل ۱-پیکریل‌هیدرازیل (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 و پس از هم‌وژنایز کردن، نمونه‌ها به مدت پانزده دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و با دور ۱۴۰۰۰ در دقیقه ساترifiوژ شد. از محلول رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و پراکسیداسیون لیپید استفاده شد. فعالیت SOD به روش اسپکتروفتومتری و ستفاده از روش Giannoplitis و Ries (۱۹۹۷) با کمی تغییر اندازه‌گیری شد. محلول واکنش شامل EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، بافر فسفات پنجان میلی‌مولار، سیزده میلی‌مولار، ۷۵ NBT میکرومولار، ریبوفلاوین دو میکرومولار و ده میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. محلول واکنش به مدت پانزده 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 توسط روش Maehly و Chance (۱۹۹۵) همراه با تغییراتی سنجش شد. فعالیت POD به مدت یک دقیقه در محلول واکنشی حاوی ۴۹۰ میکرولیتر گایاکول ۴۵ میلی‌مولار و ۴۹۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۰/۲۲۵ میلی‌مولار و بیست 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 دی‌فنلازی آنزیم PPO با دو سوبسترای پیروکتکول و پیروگالول به روش اسپکتروفتومتری انجام شد. سنجش دی‌فنلازی آنزیم PPO با پیش‌ماده پیروکتکول مطابق روش Hashempour و همکاران (۲۰۱۴) با کمی تغییرات انجام گرفت. محلول برای سنجش، شامل پنجاه میکرولیتر محلول پیروکتکول ۰/۵ مولار، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار و پنجاه میکرولیتر عصاره آنزیمی است. مخلوط بلانک حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم و پنجاه میکرولیتر محلول پیروکتکول بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر پس از یک دقیقه قرائت شد. فعالیت دی‌فنلازی این آنزیم با استفاده از قانون بیرلامبرت و ضریب خاموشی آنزیم PPO با پیش‌ماده پیروکتکول ($1400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) بر حسب $\mu\text{mol}/100\text{g FW} \cdot \text{min}$ محاسبه شد. سنجش منوفنلازی آنزیم PPO مطابق روش Hashempour و همکاران (۲۰۱۴) با کمی تغییرات انجام شد. ۵۰۰ میکرولیتر حجم کل سنجش عبارت‌است از ۵۰ میکرولیتر محلول پیروگالول، ۴۰۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۰/۱ مولار، پنجاه میکرولیتر عصاره آنزیمی. مخلوط بلانک حاوی ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم و پنجاه میکرولیتر محلول پیروگالول بود. تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر پس از یک دقیقه قرائت شد. فعالیت مونوفنلازی این آنزیم ز قانون بیرلامبرت و ضریب خاموشی آنزیم PPO با پیش‌ماده پیروگالول ($2/47 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) بر حسب $\mu\text{mol}/100\text{g FW} \cdot \text{min}$ محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

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

یافته‌های پژوهشی

وزن میوه، وزن بذر، وزن پوست و وزن گوشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد وزن میوه آووکادو رقم «هس» به‌طورمعنی‌دار و درسطح احتمال یک‌درصد تحت‌تأثیر زمان برداشت قرار گرفت (جدول ۱). مقایسات میانگین نشان داد که با تأخیردر برداشت، وزن میوه آووکادو افزایش پیدا کرد (جدول ۲). وزن میوه در برداشت اول (دهم دی‌ماه) ۱۰۰/۵۸ گرم بود که در برداشت دوم (دهم بهمن‌ماه) اندکی افزایش یافت و به ۱۰۲/۸۶ گرم رسید، اما در زمان سوم برداشت (دهم اسفندماه) افزایش معنی‌دارتر بود و به ۱۱۴/۳۵ گرم رسید (جدول ۲). مشخص شد که زمان برداشت به‌طورمعنی‌دار و درسطح احتمال یک‌درصد، وزن بذر میوه آووکادو را تحت‌تأثیر قرار داد (جدول ۱). تأخیردر برداشت میوه باعث افزایش معنی‌دار وزن بذر میوه گردید، به‌طوری‌که وزن بذر در برداشت اول ۱۲/۱۳ گرم بود که در برداشت‌های دوم و سوم به‌ترتیب به میزان‌های ۱۶/۸۲ و ۲۰/۶۷ گرم افزایش یافت (جدول ۲).

بر اساس جدول ۱، وزن پوست میوه آووکادو رقم «هس» نیز تحت‌تأثیر زمان برداشت قرار گرفت (جدول ۱) به‌طوری‌که با تأخیردر زمان برداشت و افزایش سن فیزیولوژیک میوه‌ها، میزان وزن پوست نیز افزایش معنی‌داری پیدا کرد بدین‌صورت‌که از عدد ۱۵/۰۶ گرم در برداشت اول به عدد ۱۹/۰۷ گرم در برداشت سوم رسید (جدول ۲).

نتایج حاکی‌از آن بود که زمان برداشت به‌طورمعنی‌دار و درسطح احتمال پنج‌درصد بر میزان وزن گوشت میوه تأثیر داشته است (جدول ۱). وزن گوشت میوه در زمان اول برداشت ۶۸/۲۴ گرم بود که با تأخیردر برداشت، به عدد ۷۴/۶۲ گرم در زمان سوم افزایش معنی‌داری یافته بود (جدول ۲).

درصد ماده خشک

مطابق جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، درصد ماده خشک میوه آووکادو رقم «هس» به‌طورمعنی‌دار و درسطح احتمال پنج‌درصد تحت‌تأثیر زمان برداشت میوه بود؛ مقایسات میانگین نیز نشان داد که تأخیردر برداشت میوه آووکادو باعث افزایش معنی‌دار درصد ماده خشک میوه گردید، به‌طوری‌که از ۳۰/۵۴ درصد در زمان اول برداشت 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 به‌طورمعنی‌دار و درسطح احتمال یک‌درصد بر میزان روغن در ماده خشک و تر میوه آووکادو رقم «هس» اثرگذار بود (جدول ۱)؛ مشخص شد که تأخیردر برداشت میوه باعث افزایش معنی‌دار درصد روغن در ماده خشک و تر میوه آووکادو گردید به‌طوری‌که بیشترین میزان روغن در ماده خشک و تر میوه به‌ترتیب 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					میزان روغن در ماده تر
		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
ضریب تغییرات	-	۲/۴۹	۲/۷۵	۷/۲۹	۵/۲۳	۶/۶۷	۲/۰۵
							۵/۱۱

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

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)
۱۰۰/۵۸b*	۱۲/۱۳c	۱۵/۰۶b	۶۸/۲۴b	۳۰/۵۴b	۳۹/۵۰b	۱۲/۳۰b
۱۰۲/۸۶b	۱۶/۸۲b	۱۷/۱۸ab	۷۳/۳۸a	۳۱/۱۶ab	۴۰/۸۳b	۱۲/۳۷b
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 چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

خاکستری شدن گوشت میوه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و برهم‌کنش زمان برداشت و تیمار پس‌از برداشت اتیلن بر درصد خاکستری شدن گوشت میوه آووکادو رقم «هس» طی انبارداری سرد در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که با تأخیر در برداشت میوه و پیشرفت بلوغ فیزیولوژیک میوه‌ها، درصد و شدت خاکستری شدن گوشت میوه نیز به‌طور معنی داری در مرحله نگهداری افزایش یافت (شکل‌های ۱ و ۲). این حالت خاکستری شدن گوشت میوه فقط در میوه‌های تیمار شده با اتیلن صد پی پی ام 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 پس‌از برداشت اتیلن افزایش پیدا کرده است و به همین دلیل، عارضه خاکستری شدن در میوه‌ها تیمار شده با اتیلن با تأخیر در برداشت افزایش معنی داری یافت، به طوری که میوه‌هایی که در بهمن و اسفند برداشت شده بودند، بعد از قرار گرفتن در معرض اتیلن، صدد درصد عارضه خاکستری شدن گوشت را نشان دادند.

جدول ۳. تجزیه واریانس برهم‌کنش زمان برداشت و تیمار پس‌از برداشت اتیلن بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه آووکادو رقم «هس» طی انبارداری سرد.

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				ظرفیت آنتی-اکسیدانی روغن
		درصد خاکستری شدن	سفتی بافت	فنل کل روغن	فلاونوئید روغن	
زمان برداشت	۲	۳۴۷۲**	۰/۳۳۴*	۱۹۴۶۵۰**	۶۱۲/۸**	۲۷۵/۷**
تیمار اتیلن	۱	۲۵۴۶۱**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۱۷۶۵۸**	۷۰/۳ ^{ns}	۱۰/۸ ^{ns}
زمان × تیمار	۲	۳۲۵۸**	۰/۰۱۶ ^{ns}	۴۳۶۴**	۶۵۶/۴**	۸۵/۶*
خطای آزمایشی	۱۲	۱۴	۰/۰۹۶	۲۸۶	۴۳/۳۷	۲۵/۸
ضریب تغییرات	–	۳/۲۶	۸/۵۲	۶/۵۲	۱۰/۴۹	۸/۱۷

*** و * به ترتیب: معنی داری در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم معنی داری.



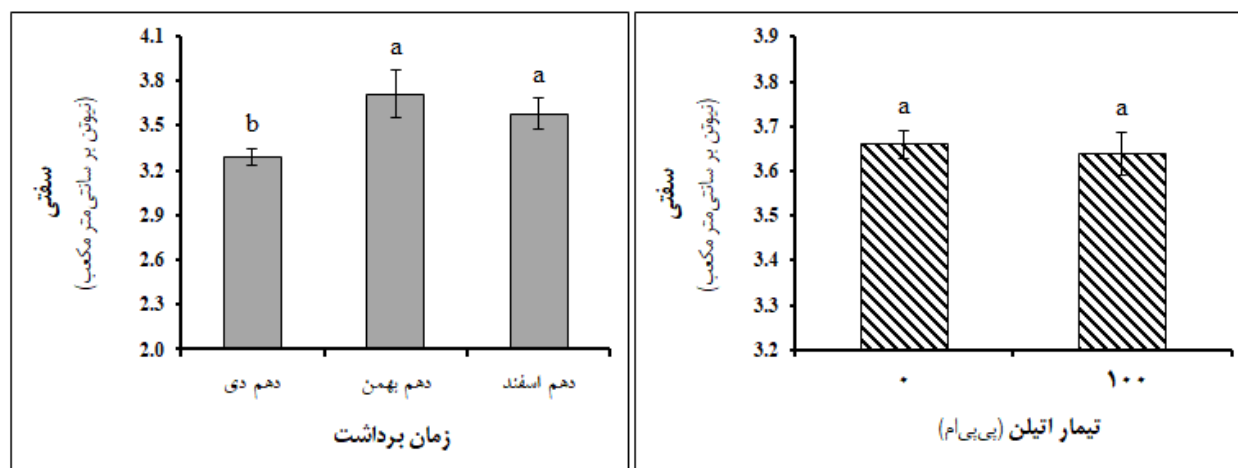
شکل ۱. برهم کنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت اتیلن بر درصد (سمت راست) و شدت خاکستری شدن (سمت چپ) میوه آووکادو رقم «هس» طی انبارداری سرد.



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

سفتی بافت میوه

نتایج حاکی از آن است که فقط اثر ساده زمان برداشت بر میزان سفتی بافت میوه آووکادو رقم «هس» معنی دار بود (جدول ۳). با تأخیر در برداشت میوه آووکادو، سفتی بافت میوه افزایش یافت و از ۳/۳۹ نیوتن بر سانتی متر مکعب در زمان اول برداشت به ۳/۸۵ نیوتن بر سانتی متر مکعب در زمان سوم برداشت رسید (شکل ۳). همچنین مشخص شد که میوه های تیمار شده با اتیلن (۳/۶۴ نیوتن بر سانتی متر مکعب) و تیمار نشده (۳/۶۶ نیوتن بر سانتی متر مکعب) از لحاظ آماری اختلاف معنی داری به لحاظ سفتی بافت میوه در دوره تیمار نداشتند (شکل ۳).



شکل ۳. اثرات ساده زمان برداشت (سمت چپ) و تیمار پس از برداشت ایتیلن (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 ایتیلن 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 ایتیلن (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 ایتیلن بود. تغییرات میزان فلاونوئید کل روغن میوه با توجه به زمان برداشت و تیمار ایتیلن متفاوت بود که در این میان، بیشترین میزان در زمان دوم برداشت و در میوه‌های بدون تیمار ایتیلن (۸۴/۶۲ میلی گرم کوئرستین در کیلوگرم روغن) مشاهده شد که البته با زمان سوم برداشت و میوه‌های تیمار شده با ایتیلن (۷۲/۴۵ میلی گرم کوئرستین در کیلوگرم روغن) اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم کنش زمان برداشت و تیمار پس از برداشت ایتیلن بر برخی ترکیبات زیست فعال روغن میوه آووکادو رقم «هس» طی انبارداری سرد.

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

* در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم معنی داری در سطوح متناظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد. (منبع: یافته‌های تحقیق)

ظرفیت آنتی اکسیدان کل روغن

نتایج همچنین نشان داد که اثر ساده زمان برداشت و اثرات متقابل زمان برداشت و تیمار پس از برداشت ایتیلن بر ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن میوه معنی دار بود (جدول ۳). ظرفیت آنتی اکسیدانی روغن میوه نسبت به زمان اول برداشت، در زمان دوم

برداشت افزایش معنی‌داری نشان داد، ولی در زمان سوم برداشت به‌طور 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 برداشت‌شده 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 پیش‌ماده پیروکتکول و پیروگالول

نتایج نشان داد که فعالیت آنزیم PPO با پیش‌ماده 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 برداشت‌شده در دهم دی (برداشت اول) همراه با تیمار ۱۰۰ پی‌پی‌ام اتیلن بیشترین فعالیت آنزیم PPO با پیش‌ماده 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 پیش‌ماده پیروگالول معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میوه‌های برداشت‌شده 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	۰/۴۳۳d	۶۶/۸۷a*	۰/۰۶۲۳b	۲/۸۶ab
	۱۰۰	۰/۶۲۰b	۷۱/۸۰a	۰/۰۸۵۳a	۳/۱۳c
دهم بهمن	۰	۰/۲۵۳e	۷۲/۵۳a	۰/۰۶۵۳b	۳/۷۸b
	۱۰۰	۰/۶۲۳ab	۷۳/۲۰a	۰/۰۲۹۷b	۴/۰۳ab
دهم اسفند	۰	۰/۶۸۶a	۶۸/۲۰a	۰/۰۶۷۶b	۴/۳۹a
	۱۰۰	۰/۵۴۰c	۶۹/۹۳a	۰/۰۶۲۶b	۳/۸۷ab

* در هر ستون حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشد.

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 خاکستری‌شدن گوشت میوه ارتباط مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. درنهایت، بین فعالیت آنزیم PPO- پیروگالول با روغن در ماده خشک و تر و فعالیت آنزیم PPO- پیروکتکول و همچنین با درصد و شدت خاکستری‌شدن گوشت میوه هم‌بستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت (جدول ۷).

وزن رسیدگی	وزن بذر	وزن پوست	وزن گوشت	سفتی	درصد خاکستری شدن	شدت خاکستری شدن	ماده خشک	روغن ماده خشک	آنتی اکسیدان	فلاونوئید	فنل کل	PPO
۱												
۰/۹۳**	۱											
۰/۵۲*	۰/۲۵ ^{ns}	۱										
۰/۷۹**	۰/۷۴**	۰/۲۳ ^{ns}	۱									
۰/۴۰ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۰/۷۴**	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}	۱						
۰/۲۳ ^{ns}	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۱۰ ^{ns}		۱					
۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۰۳۶ ^{ns}	۰/۰۴۸*	۰/۲۷ ^{ns}	۰/۰۱۷ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}				
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			
۰/۰/۶۴**	۰/۰/۶۴**	۰/۰/۷۱**	۰/۰/۶۶**	۰/۰/۴۱ ^{ns}	۰/۰/۲۴ ^{ns}	۰/۰/۷۸**	۰/۰/۲۲ ^{ns}	۰/۰/۱۲ ^{ns}	۰/۰/۵۱*	۰/۰/۹۹**		
۰/۸۱**	۰/۶۹**	۰/۷۴**	۰/۶۸**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۳۱ ^{ns}	۰/۱۲ ^{ns}	۰/۲۵ ^{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}	۰/۶۳**	۰/۴۹*	۰/۳۹ ^{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**	۰/۵۵*	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۲۰ ^{ns}	۰/۶۸**

ns, * و ** به ترتیب نبود تفاوت معنی دار، تفاوت معنی دار در سطح احتمال یک و پنج 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 پس‌از برداشت با اتیلن معمولاً برای تسریع رسیدن میوه‌هایی که به‌طور طبیعی کند می‌رسند، استفاده می‌شود. اما این تیمار در برخی موارد می‌تواند عوارضی نیز همراه داشته باشد از جمله آن که 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 خاکستری‌شدن شوند. همچنین، اتیلن می‌تواند تعادل هورمونی در میوه را به‌هم‌زده و باعث افزایش تولید برخی هورمون‌های دیگر شود که به‌نوبه‌خود بر فرآیندهای فیزیولوژیک میوه تأثیر می‌گذارند. اتیلن می‌تواند فعالیت برخی آنزیم‌ها را تغییر دهد که این امر می‌تواند بر متابولیسم میوه و در نتیجه بربروز عارضه خاکستری‌شدن تأثیر بگذارد. اتیلن می‌تواند باعث تغییراتی در ساختار غشای سلولی شود که این تغییرات می‌تواند به نفوذپذیری غشاء نسبت به برخی ترکیبات آسیب‌رسان کمک کند و باعث تشدید عارضه خاکستری‌شدن 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 به‌طور کامل رشد کند. میوه‌ها طی مراحل رشد خود وزن می‌گیرند. اگر برداشت زود هنگام انجام شود، ممکن است میوه‌ها به‌طور کامل رشد نکرده و وزن کم‌تری داشته باشند. درختان، مواد مغذی را در میوه‌های خود ذخیره می‌کنند. باقی‌ماندن میوه‌ها روی درخت به میوه‌ها فرصت می‌دهد تا مواد مغذی بیشتری را از درخت جذب کنند و وزن آن‌ها افزایش یابد؛ به‌عنوان 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، باقی‌ماندن 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 به‌طور کامل رشد کنند. طی مراحل رشد خود، میوه‌ها طول و قطر خود را افزایش می‌دهند. اگر برداشت زود هنگام انجام شود، ممکن است میوه‌ها به‌طور کامل رشد نکرده و طول و قطر کم‌تری داشته باشند. همچنین، باقی‌ماندن 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 باقی‌ماندن میوه روی درخت، فرآیند رسیدن به‌طور طبیعی پیشرفت می‌کند؛ طی 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 شامل افزایش فعالیت آنزیم‌هایی 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 کامل تری انجام می‌شود. طی این فرآیند، تغییرات متابولیک گسترده‌ای در میوه رخ می‌دهد که 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 و ماندگاری طولانی‌تر آن روی درخت اجازه می‌دهد و فرآیندهای متابولیک مداوم از جمله بیوسنتز ترکیبات فنلی امکان‌پذیر شود. 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 تنش‌زای 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، فرآیندهای زیستی مختلفی را در میوه تحریک می‌کند. اتیلن در آووکادو باعث تسریع در فرآیند رسیدن می‌شود و این فرآیندها 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 پلی‌فنل‌اکسیداز 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 فیزیولوژیک در میوه تولید می‌شوند و هرچه میوه، زمان بیشتری روی درخت باقی بماند، فرآیندهای متابولیک منجر به افزایش سنتز فلاونوئیدها تقویت می‌شود. از آنجاکه 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 ارتقاء 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 آنتی‌اکسیدانی در روغن به اوج می‌رسد. این ترکیبات به حفاظت از سلول‌ها در برابر اکسیداسیون کمک می‌کنند و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی روغن را افزایش می‌دهند. اما در مرحله سوم برداشت، میوه‌ها به بیش‌رسیدگی نزدیک می‌شوند که می‌تواند باعث تخریب برخی از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی 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 آنتی‌اکسیدانی 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 آنتی‌اکسیدانی نظیر SOD و POD فعال‌تر می‌شوند.

آنزیم‌های PPO نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیک 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 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 بذر 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، بذر، 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 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 آنتی‌اکسیدان‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند در محافظت از سلول‌های گیاهی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو مؤثر باشند. باین‌حال، 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» تنها 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 درصد عارضه خاکستری شدن گوشت میوه‌ها را به‌طور 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. براساس نتایج، هم‌بستگی بین درصد خاکستری شدن بافت گوشت میوه آووکادو با افزایش وزن میوه و وزن بذر و همچنین میزان فلاونوئید کل و میزان فعالیت آنزیم PPO با پیش‌ماده 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 خاکستری‌شدن گوشت میوه را در سردخانه افزایش خواهد داد. باتوجه به نتایج این مطالعه، به منظور حفظ بهتر کیفیت میوه و کاهش عارضه خاکستری‌شدن گوشت، برداشت آووکادو رقم «هس» اندکی زودتر در دی‌ماه انجام شود.

منابع

- افشارمحمدیان، منصور و فلاح، سیده فاطمه (۱۴۰۱). آووکادو: کشت، پرورش و ارزش غذایی. مهم. ۲۲۰ صفحه.
- حیات‌بخش، عنایت و قاسمی، مالک (۱۳۹۵). کشت و پرورش آووکادو. آموزش کشاورزی. ۳۶ صفحه.
- مقصودی، شهرام (۱۳۹۵). آووکادو. آفای کتاب. ۱۱۵ صفحه.
- هاشم‌پور، ابوذر؛ عظیمی، محمود و اسدی‌صنم، سمانه. (۱۴۰۰). ارزیابی پروفایل اسیدهای چرب روغن برخی از رقم‌ها و ژنوتیپ‌های امیدبخش زیتون در منطقه طارم استان زنجان. علوم باغبانی ایران، ۵۲(۴): 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. & 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. & 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. (2014). The physiological and biochemical responses to freezing stress of olive plants treated with salicylic acid. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61, 443–450. <https://doi.org/10.1134/S1021443714040098>
- HersHKovitz, V.; Friedman, H.; Ben-Arie, R.; Feygenberg, O.; Pesis, E. & Goldschmidt, E.E. (2010). The role of ethylene receptors in avocado ripening. *Acta Horticulturae*, 858: 143-147. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.858.17>
- HersHKovitz, V.; Friedman, H.; Goldschmidt, E.E. & Pesis, E. 2009. The role of the embryo and ethylene in avocado fruit mesocarp discoloration. *Journal of Experimental Botany*, 60(3): 791-799. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp352>
- 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): 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>
- Kołton, 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*. Wiley A. W., Schaffer B., Wolstenholme B. N. (Eds): 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. & 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 p.
- Woltering, E. & Paillart, M. (2019). *Dynamics of ripening of avocado fruit Green*. Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen, GreenCHAINge WP6. March 2019, 22 p.
- Woolf, A. B.; Arpaia, M. L.; Defilippi, B. G. & Bower, J. P. (2020). Subtropical fruits: Avocados. *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*: 389-397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00026-0>