



Effects of Different Phenylalanine Concentrations on Selected Physiological and Biochemical Characteristics of 'Dargazi' Pear Fruit during Cold Storage

Kamal Amini Khoshalani¹ , Hamid Hassanpour² and Karim Manda-Hakki^{3✉}

1. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: kalamini349@urmia.ac.ir
2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: ha.hassanpour@urmia.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. Email: st_k.mandahaki@urmia.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Pear fruit has a relatively short postharvest life due to its susceptibility to mechanical damage, moisture loss, and rapid deterioration during storage and transportation. This study investigated the effects of different concentrations of the amino acid phenylalanine on the postharvest quality and storage life of 'Dargazi' pear fruit during cold storage at $0 \pm 1^\circ\text{C}$ and 90–95% relative humidity. The experiment was conducted as a factorial arrangement based on a completely randomized design with two factors: phenylalanine concentration (3 and 6 mM) and storage duration (30, 60, and 90 days), with three replications. Fruit firmness, weight loss, titratable acidity (TA), juice pH, ascorbic acid content, total soluble solids (TSS), total phenolic content, total flavonoid content, malondialdehyde (MDA), electrolyte leakage, and the activities of ascorbate peroxidase (APX), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), glutathione reductase (GR), and polyphenol oxidase (PPO) were evaluated. The results showed that treatment with 6 mM phenylalanine was the most effective in maintaining fruit quality during cold storage. Compared with the control, this treatment increased fruit firmness by 14.5% while reducing MDA content and electrolyte leakage by 69.8% and 16.6%, respectively. In addition, 6 mM phenylalanine significantly increased the activities of APX, GR, and PAL by 23.09%, 37.74%, and 30.35%, respectively. Overall, phenylalanine treatment enhanced antioxidant capacity, stimulated antioxidant enzyme activities, suppressed oxidative damage, and reduced membrane lipid peroxidation, thereby improving the storage performance of 'Dargazi' pear fruit.
Article history: Received: 10 November 2024 Received in revised form: 2 February 2025 Accepted: 17 February 2025 Published online: Autumn 2025	
Keywords: <i>antioxidant activity; electrolyte leakage; membrane lipid peroxidation; pear fruit; phenylalanine; postharvest storage.</i>	

Cite this article: Amini Khoshalani, K. Hassanpour, H. & Manda-Hakki, Karim (2025). Effects of Different Phenylalanine Concentrations on Selected Physiological and Biochemical Characteristics of 'Dargazi' Pear Fruit during Cold Storage. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 56 (3), 401-422. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384005.2220>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384005.2220>

Publisher: The University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Pear (*Pyrus communis* L.) is a commercially important fruit because of its desirable flavor, attractive appearance, and high antioxidant capacity. However, its postharvest storage life is limited due to its susceptibility to mechanical injury, moisture loss, and rapid deterioration during transportation and storage. Mechanical damage sustained during harvesting and handling often results in irreversible changes in fruit appearance, texture, and marketability. Numerous compounds have been investigated to delay fruit ripening and senescence and thereby extend the postharvest life of horticultural crops. Although many of these compounds have shown promising results under laboratory conditions, only a limited number have been adopted commercially because of safety concerns and regulatory restrictions. Among these compounds, the amino acid phenylalanine, a precursor of the phenylpropanoid pathway, has attracted considerable attention because of its ability to enhance the biosynthesis of phenolic compounds and improve the antioxidant defense system in plants.

Materials and methods

This study investigated the effects of different concentrations of phenylalanine on the postharvest quality and storage life of 'Dargazi' pear fruit during cold storage at $0 \pm 1^\circ\text{C}$ and 90–95% relative humidity. The experiment was conducted as a factorial arrangement based on a completely randomized design with two factors: phenylalanine concentration (3 and 6 mM) and storage duration (30, 60, and 90 days), with three replications. Fruit firmness, weight loss, titratable acidity (TA), juice pH, ascorbic acid content, total soluble solids (TSS), total phenolic content, total flavonoid content, malondialdehyde (MDA), electrolyte leakage, and the activities of ascorbate peroxidase (APX), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), glutathione reductase (GR), and polyphenol oxidase (PPO) were determined.

Results and Discussion

Phenylalanine treatment significantly improved the postharvest quality of 'Dargazi' pear fruit during cold storage, with the 6 mM treatment showing the greatest effectiveness. Compared with the control, fruit firmness increased by 14.5%, while malondialdehyde (MDA) content and electrolyte leakage decreased by 69.8% and 16.6%, respectively. Furthermore, treatment with 6 mM phenylalanine significantly enhanced the activities of ascorbate peroxidase, glutathione reductase, and phenylalanine ammonia-lyase by 23.09%, 37.74%, and 30.35%, respectively.

The enhanced antioxidant enzyme activities were accompanied by increased accumulation of phenolic compounds and flavonoids, indicating activation of the antioxidant defense system. Consequently, oxidative stress was alleviated through reduced free radical accumulation and lower membrane lipid peroxidation, thereby preserving membrane integrity and improving fruit quality during storage. These findings suggest that exogenous phenylalanine effectively delays postharvest deterioration by enhancing antioxidant metabolism and maintaining cellular integrity.

Conclusion

Exogenous application of phenylalanine effectively improved the postharvest storage performance of 'Dargazi' pear fruit by reducing chilling-induced damage, membrane lipid peroxidation, and electrolyte leakage while enhancing both enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems. Among the tested treatments, 6 mM phenylalanine was the most effective in preserving fruit quality and extending storage life. These results indicate that phenylalanine has considerable potential as a safe and practical postharvest treatment for improving the storage quality of pear fruit.

Author Contributions

Kamal Amini Khoshalani: Conceptualization, Investigation, Data curation. Hamid Hassanpour: Project administration, Supervision, Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Validation, Discussion, Writing, review and editing. Karim Manda-Hakki: Formal analysis, Discussion, Writing.

Data Availability Statement

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgements

We appreciate and thank all those who were with us in this project, especially the officials of Horticulture Laboratory, Faculty of Agriculture, Urmia University.

Ethical considerations

Not applicable.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



بررسی اثر غلظت‌های مختلف اسید آمینه فنیل آلانین بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گلابی رقم «درگزی» طی دوره انبارمانی

کمال امینی خوشالانی^۱ | حمید حسن پور^۲ | کریم منداحکی^۳✉

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: kamalamini349@urmia.ac.ir

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: ha.hassanpour@urmia.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: st_k.mandahaki@urmia.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	عمر انبارمانی گلابی به دلیل حساس بودن به صدمات حین حمل و نقل، کاهش رطوبت و فسادپذیر بودن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا در پژوهش حاضر، تاثیر اسید آمینه فنیل آلانین در غلظت‌های مختلف بر عمر پس از برداشت و کیفیت میوه گلابی رقم «درگزی» طی دوره نگهداری در انبار سرد با دمای 1 ± 0 درجه سانتی-گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد بررسی شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل برپایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور اسید آمینه فنیل آلانین (سه و شش میلی‌مولار) و زمان نمونه برداری (سی، شصت و نود روز) و با سه تکرار انجام شد. صفاتی از قبیل سفتی میوه، کاهش وزن، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)، pH آب میوه، محتوی اسید آسکوربیک، محتوی مواد جامد کل (TSS)، فنل، فلاونوئید کل، پراکسیداسون لیپید، نشت یونی، فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، فنیل آلانین آمونیا لایاز، گلوتاتیون ردوکتاز و پلی فنل اکسیداز مورد اندازه گیری قرار گرفتند. نتایج پژوهش نشان داد که تیمار اسید آمینه فنیل آلانین شش میلی‌مولار بهتر از سایر تیمارها عمل کرده و کیفیت میوه گلابی رقم «درگزی» را طی دوره انبارمانی سرد حفظ نمود. در اثر کاربرد تیمار فوق، میزان سفتی، $14/5$ درصد افزایش در مقایسه با تیمار شاهد را نشان داد. همچنین در اثر کاربرد اسید آمینه فنیل آلانین شش میلی‌مولار، سطح مالون دی‌آلدئید ($69/8$ درصد) و نشت یونی ($16/6$ درصد) در مقایسه با شاهد کاهش داشتند. علاوه بر این نتایج، پژوهش حاکی از آن است که تیمار اسید آمینه فنیل آلانین شش میلی‌مولار منجر به افزایش قابل توجهی در میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز ($23/09$ درصد)، گلوتاتیون ردوکتاز ($37/74$ درصد) و فنیل آلانین آمونیا لایاز ($30/35$ درصد) در مقایسه با شاهد شد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند که تیمارهای مذکور طی نگهداری انبار سرد تا حدی در افزایش محتوای آنتی‌اکسیدانی و فعالیت‌های آنزیمی اثرگذار بوده و توانسته‌اند با مهار رادیکال‌های آزاد و کاهش سطح پراکسیداسون لیپید غشاء به میزان $69/8$ درصد صدمات حاصل از دوره انبارمانی را به حداقل رسانده و سیستم دفاعی میوه را فعال نگه دارند.

کلیدواژه‌ها:
فعالیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آمینه، پراکسیداسون لیپید غشاء، انبارمانی، میوه گلابی.

استاد: امینی خوشالانی، کمال؛ حسن پور، حمید و منداحکی، کریم (۱۴۰۴). ارزیابی ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌های دابل‌هاپلوئید خیار و قدرت هیبریدهای حاصل از آن‌ها. نشریه علوم باغبانی ایران، ۵۶ (۳)، ۴۰۱-۴۲۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384005.2220>



© نویسندگان.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijhs.2025.384005.2220>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

گلابی با نام علمی *Pyrus communis* از خانواده Rosaceae بوده و بعد از سیب، مهم‌ترین میوه دانه‌دار در سطح جهان به‌شمار می‌آید (Abdullahi, 2008). میوه گلابی به‌خاطر طعم و مزه، همچنین قابلیت هضم بالا دارای محبوبیت قابل‌توجهی نزد مصرف‌کنندگان است (Ahmed & Anjum, 2010). تولید میوه گلابی در سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری در جهان داشته و در مناطق معتدل، بعد از انگور و سیب، رتبه سوم بازاریابی را به خود اختصاص داده است (FAO, 2018)؛ این میوه دارای ارقام متنوع با خصوصیات متفاوتی است که از میان آنها رقم «درگری» از لحاظ رنگ، زرد طلایی با گونه قرمز، کمی ریگ‌دار و درشت بوده و درختی هرمی‌شکل و بسیار پر محصول دارد (Nosrati et al., 2009)؛ اما متأسفانه میوه طی دوره نگهداری در انبار دچار ناهنجاری‌های مختلف شده و کیفیت میوه پایین می‌آید. در سال‌های گذشته، طیف وسیعی از ترکیبات توسط پژوهشگران زیادی مورد مطالعه قرار گرفته و با مهار رسیدن و یا پیری، عمر محصولات پس از برداشت محصولات باغی را افزایش دادند. با این حال، با وجود این که چنین ترکیباتی عموماً در محیط آزمایشگاهی موثرتر هستند، اما تعداد کمی از آن‌ها به دلیل مسائل ایمنی و نظارتی به صورت تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از این ترکیبات می‌توان به اسیدهای آمینه مانند فنیل‌آلانین اشاره نمود (Hancock, 2017).

اسیدآمینه فنیل‌آلانین^۱ یکی از بیست اسیدآمینه ضروری بوده و یک آلفاآمینواسید^۲ معطر است (Portu et al., 2015) که علاوه بر آن که یک جزء ضروری برای سنتز پروتئین می‌باشد، به‌عنوان پیش‌ساز برای بیوسنتز^۳ طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه^۴ در گیاهان از جمله فنیل‌پروپانویدها، فلاونوئیدها، لیگنین^۵ و آنتوسیانین‌ها نیز مطرح است (Tzin & Galili, 2010). اخیراً، کاربرد خارجی فنیل‌آلانین از طریق تحریک تجمع ترکیبات فنلی^۶ فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها برای ازبین‌بردن رادیکال‌های آزاد^۷ بسیار موردتوجه قرار گرفته و به‌عنوان روشی مفید به‌منظور افزایش کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها تلقی می‌شود (Portu et al., 2015). طی دوره پس‌از برداشت، کاربرد فنیل‌آلانین به‌صورت خارجی منجر به تحریک فعالیت مسیر فنیل‌پروپانویدها شده و در نتیجه، منجر به تحمل تنش سرمازدگی و کاهش پوسیدگی قارچی، تأخیر پیری و حفظ کیفیت محصول می‌گردد (Aghdam et al., 2019).

پیشینه پژوهش

در پژوهشی که روی میوه انار^۸ برداشت‌شده صورت گرفته، تأثیر اسیدآمینه فنیل‌آلانین منجر به افزایش ویتامین ث، اسیدتیئیک قابل‌تیتراسیون و محتوای فلاونوئید شد (Keshavarz Afshar, 2017). در پژوهشی دیگر تأثیر همین ماده در غلظت‌های ۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار به‌صورت غوطه‌وری روی کیفیت و انبارمانی بادنجان^۹ بررسی شد که نتایج بیان‌گر حفظ ویتامین ث، آنتوسیانین کل^{۱۰} و سفتی بافت بادنجان بود و از کاهش وزن میوه جلوگیری نموده و باعث حفظ مواد جامد محلول^{۱۱} و کاهش شاخص سرمازدگی نیز شد (Najafi et al., 2020).

1. Amino acid phenylalanine
2. α-amino acid (alpha-amino acid)
3. Biosynthesis
4. Secondary metabolites
5. Phenylpropanoids
6. Flavonoids
7. Lignin
8. Anthocyanins
9. Phenolic compounds
1. Free radicals 0
1. *Rnica granatum* L. 1
1. *Solanum melongena* 2
1. Total anthocyanin content (TAC) 3
1. Total soluble solids (TSS) 4

در مطالعه‌ای دیگر، کاربرد فنیل‌آلانین در غلظت‌های ۲/۵، ۵ و ۷/۵ میلی‌مولار به‌صورت غوطه‌وری بر کاهش صدمات سرمزدگی در مرحله پس‌از برداشت در میوه آلو بررسی شد و نتایج نشان داد که این تیمار به‌طور چشم‌گیری میزان صدمه ناشی از سرمزدگی را از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، همچنین افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالاز^۲ کاهش داد. همچنین میوه‌های تیمار شده با فنیل‌آلانین میزان بیشتری از اسیدآسکوربیک^۳، آنتوسیانین، فلاونوئید و فنل‌ها را در مقایسه با شاهد دارا بودند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله سوپراکسید دیسموتاز^۴، کاتالاز^۵، آسکوربات پراکسیداز^۶ و پرولین^۷ در اثر کاربرد فنیل‌آلانین در غلظت ۷/۵ میلی‌مولار افزایش یافتند؛ این درحالیست که میزان پراکسید هیدروژن^۸ کاهش داشته است. به‌علاوه، گزارش شد که کاربرد فنیل‌آلانین از طریق حفظ تمامیت غشاء باعث کاهش نشت الکترولیت و تجمع مالون‌دی‌آلدئید^۹ شده است (Sogvar et al., 2020a). در مطالعه‌ای دیگر درخصوص تأثیر تیمار پس‌از برداشت فنیل‌آلانین (در غلظت‌های دو، چهار و شش میلی‌مولار) بر برخی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی میوه زغال‌اخته طی دوره انبارمانی سرد مشخص شد که تیمار مذکور اثر مثبتی بر حفظ صفات کیفی میوه در دوره انبارمانی ۲۱ روزه داشته است. تیمارهای چهار و شش میلی‌مولار فنیل‌آلانین در افزایش میزان آنتوسیانین، فنل و فلاونوئید کل، همچنین سفتی بافت میوه و محتوی پرولین اثرگذاری قابل‌توجهی داشتند (Ahmadkhani et al., 2021).

درنهایت، نظربه آن‌که میوه‌های گلابی برداشت‌شده نسبت به قهوه‌ای‌شدن بسیار حساس و آسیب‌پذیرند و این پدیده بر میزان بازارپسندی آنها اثرگذار است، تنها برای مدت محدودی قابلیت نگهداری دارند. لذا در این پژوهش تأثیر اسیدآمین ه فنیل‌آلانین بر افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت گلابی رقم «درگری» مورد مطالعه قرار گرفت تا مشخص شود تا چه اندازه این تیمارها بر افزایش عمر انبارمانی میوه مؤثر خواهند بود.

روش‌شناسی

مطالعه حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه و سردخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه انجام شد. فاکتورهای موردبررسی شامل سطوح مختلف فنیل‌آلانین (صفر، سه و شش میلی‌مولار) و زمان نمونه‌برداری (سی، شصت و نود روز) بود. نگهداری میوه‌ها در سردخانه با شرایط دمایی 1 ± 0 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد به‌مدت سه ماه انجام گرفت. میوه‌های گلابی رقم «درگری» موردآزمایش براساس شاخص سفتی میوه (۷/۹۳ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و محتوای کل مواد جامد محلول (۱۴/۸۳ درصد) از یک باغ تجاری در شهرستان ارومیه برداشت شدند. صفات مربوط به کیفیت ظاهری میوه مورد مطالعه شامل سفتی میوه توسط دستگاه سفتی‌سنج مدل TA.XT Plus Stable Micro System با پروپ شش (Vargas et al., 2006)، بازارپسندی میوه به‌روش تست پنل و میزان کاهش وزن میوه توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد که درواقع، نتیجه کاهش رطوبت میوه‌ها می‌باشد و از طریق فرمول زیر محاسبه گردید (Ali et al., 2011):

$$100 \times \text{وزن اولیه} / (\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}) = \text{درصد کاهش وزن}$$

1. *Punus domestica*
2. Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)
3. Ascorbic acid
4. Superoxide dismutase (SOD)
5. Catalase (CAT)
6. Ascorbate peroxidase (APX)
7. Boline
8. Hydrogen peroxide (H₂O₂)
9. Malondialdehyde (MDA)
1. *Carmus mas*

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون^۱ از روش تیتراسیون با محلول ۰/۱ نرمال سدیم هیدروکسید^۲ استفاده شد و نتایج برحسب گرم اسید مالیک^۳ در صد میلی لیتر آب میوه طبق فرمول زیر محاسبه شد.

$$A = \frac{S \times N \times F \times E}{C} \times 100$$

در این فرمول، A مقدار اسیدهای آلی^۴ موجود در عصاره میوه (گرم در صد میلی لیتر)؛ S، مقدار سدیم هیدروکسید مصرف شده (میلی لیتر)؛ N، نرمالیه سدیم هیدروکسید؛ F، فاکتور سدیم هیدروکسید؛ C، مقدار عصاره میوه (میلی لیتر) و E، اکی‌والان^۵ اسید مورد نظر (اسید مالیک) می‌باشد (Ayala-Zavala et al., 2007).

همچنین برای اندازه‌گیری pH آب میوه از دستگاه pH متر دیجیتال مدل (pH-Meter CG824) و برای تعیین میزان مواد جامد محلول کل نیاز رفراکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده گردید (Jalili Marandi, 2008).
روش تیوباربیتوریک اسید^۶ برای اندازه‌گیری محتوای مالون دی‌آلدئید استفاده شد. میزان جذب نمونه‌ها به ترتیب در طول موج های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر به روش اسپکتروفتومتری قرائت شد. مقدار مالون دی‌آلدئید برحسب میکرومولار بر گرم وزن تر بیان شد (Heath & Packer., 1985).

$$MDA = \frac{A_{532} - A_{600}}{155} \times 1000$$

A = اعداد خوانده شده در دستگاه در طول موج ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر و $155 \text{ Mm}^{-1}\text{Cm}^{-1}$ ضریب خاموشی
برای اندازه‌گیری شاخص پایداری غشاء از روش (Lutts et al., 1995) استفاده شد. ابتدا ۰/۱ گرم از بافت میوه به قطعات مساوی کوچک‌تر تقسیم و در لوله‌ای کوچک در پوشدار قرار داده شدند و سپس، به هر کدام پانزده میلی لیتر آب مقطر اضافه گردیده و به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند؛ پس از آن، هدایت الکتریکی محلول حاصله با دستگاه EC متر مدل Metrhom (ساخت سوئیس) اندازه‌گیری شد (EC_1). در مرحله بعد، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد فریز شده و ۲۴ ساعت دیگر در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند و مجدداً هدایت الکتریکی محلول حاصله اندازه‌گیری شد (EC_2). در پایان، میزان نشت یونی با استفاده از فرمول $EC_1/EC_2 \times 100$ برحسب درصد محاسبه گردید.

برای اندازه‌گیری محتوای اسید آسکوربیک نیز از روش پتاسیم یدید^۷ استفاده شد (Omeye et al., 1979) محاسبه محتوای آن طبق فرمول زیر برحسب میلی گرم در صد گرم وزن تر صورت گرفت:

$$F = A/B \times N \times 88.1$$

F = فاکتور مخلوط ید، N = نرمالیه مخلوط ید، A = مقدار اسید آسکوربیک خالص (میلی گرم)، B = مقدار مخلوط ید مصرف شده (میلی گرم).

در ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH، از روش (Chiou et al., 2007) استفاده شد. ابتدا پنجاه میکرولیتر عصاره متانولی را با ۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و بعد از ۱۰ پانزده تا سی دقیقه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت و براساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد بازدارندگی} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs sample}}{\text{Abs control}} \times 100$$

که در این فرمول، Abs sample میزان جذب نمونه و Abs control میزان جذب کنترل می‌باشد.

1. Titratable acidity (TA)

2. Sodium hydroxide (NaOH)

3. Mic acid

4. Organic acids

5. Equivalent

6. Thiobarbituric acid (TBA)

7. Potassium iodide method

تعیین محتوی فنل کل با استفاده از روش فولین سیوکالتیو^۱ انجام شد؛ بدین منظور ۰/۱ میلی لیتر از عصاره را برداشته و روی آن سه میلی لیتر آب مقطر و به دنبال آن، ۰/۵ میلی لیتر واکنش گر فولین سیوکالتیو^۲ ده درصد اضافه شد و پس از قرار دادن به مدت سه تا پنج دقیقه در دمای اتاق، ۱/۵ میلی لیتر محلول کربنات سدیم به آن اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. سپس جذب نمونه‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Pharmacia LKB. NovapecII) در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008). مقدار فنل کل در هر یک از نمونه‌ها برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر معادل اسید گالیک گزارش شد.

برای ارزیابی فلاونوئید کل از روش (Shin *et al.*, 2003) استفاده شد. پانصد میکرولیتر عصاره تهیه شده را با ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت سدیم^۳ پنج درصد مخلوط کرده و بعد از پنج دقیقه سیصد میکرولیتر کلرید آلومینیوم^۴ ده درصد به آن اضافه شد و بعد از پنج دقیقه یک میلی لیتر سود (سدیم هیدروکسید) یک مولار اضافه شد و در نهایت، حجم نهایی را به پنج میلی لیتر رسانده و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید. مقدار فلاونوئید کل برحسب میلی گرم بر گرم وزن تر معادل کاتچین به دست آمد.

فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها ابتدا باید عصاره پروتئین تهیه نمود. برای تهیه عصاره پروتئین ابتدا یک گرم بافت گیاهی را در هاون حاوی پنج میلی لیتر بافر تریس-HCl ۰/۰۵ مولار با pH=۷/۵ سائیده تا محلول همگنی به دست آید. سپس محلول را به لوله سانتریفیوژ منتقل نموده و بعد از ده دقیقه، مخلوط حاصل به مدت ۲۵ دقیقه در ده هزار دور در دمای چهار درجه سانتی گراد با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ یخچال دار، سانتریفیوژ نموده، سپس محلول رویی را در لوله آزمایش ریخته و عصاره پروتئینی برای سنجش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی مورد استفاده قرار گرفت (Bradford, 1992).

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز براساس اکسیداسیون اسید آسوربیک و کاهش جذب در ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای سنجش فعالیت آنزیم، سیصد میکرولیتر از بافر فسفات سدیم^۵ (pH=۷) حاوی ۰/۲ میلی مولار EDTA، دویست میکرولیتر اسید آسکوربیک با غلظت ۰/۵ میلی مولار، دویست میکرولیتر آلبومین سرم گاوی^۶ و پنجاه میکرولیتر عصاره آنزیمی با هم مخلوط شد و واکنش به وسیله افزودن پنجاه میکرولیتر پراکسید هیدروژن با غلظت ۲۵۰ میلی مولار آغاز گردید. تغییرات جذب به مدت سه دقیقه توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی اسید آسکوربیک (mmol⁻¹ cm⁻¹) برحسب واحد $\mu\text{M ascorbic acid mg}^{-1}\text{protein min}^{-1}$ محاسبه شد (Nakano & Asada, 1981).

سنجش فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز^۷ بر اساس روش Foyer *et al.*, 1994 انجام شد. مبنای این روش، اندازه‌گیری کاهش جذب نوری در طول موج ۳۴۰ نانومتر طی یک دقیقه، در اثر اکسیداسیون NADPH است. مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پنجاه میلی مولار، کلرید منیزیم^۸ ۲،۵ میلی مولار، NADPH با غلظت ۰،۲ میلی مولار، گلوکاتایون اکسید شده^۹ با غلظت نیم میلی مولار و ۰/۳ میلی لیتر عصاره استخراجی بود. فعالیت آنزیم نیز برحسب نانومول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین (nmol min⁻¹ mg⁻¹ protein) محاسبه شد.

1. Folin-Ciocalteu method
2. Folin-Ciocalteu reagent
3. Sodium nitrite
4. Aluminum chloride
5. Sodium phosphate buffer
6. Bovine serum albumin (BSA)
7. Glutathione reductase (GR)
8. Magnesium chloride (MgCl₂)
9. Oxidized glutathione (GSSG)

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نیز دو میلی‌لیتر بافر فسفات نمکی ($\text{pH}=6/8$)، دویست میکرولیتر پیروگالول^۱ ۰/۰۲ مولار و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی با هم مخلوط شده و بعد از پنج دقیقه در ۲۵°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و میزان جذب در ۴۲۰ نانومتر قرائت شد (Luh & Phithakpol, 1972). فعالیت آنزیم نیز بر حسب واحد در دقیقه در صد گرم وزن تر میوه محاسبه گردید.

برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز از روش Ke & Saltveit, 1986 با کمی تغییر استفاده شد. نیم گرم از بافت تازه میوه را با استفاده از ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (بافر بورات ۰/۱ مولار، ۰/۱ درصد پلی‌وینیل‌پیرولیدون^۲ و ۱/۴ میلی‌مولار مرکاپتواتانول^۳ با $\text{pH}=7$) ساییده شد سپس به مدت پانزده دقیقه در دوازده هزار دور در دقیقه در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس عصاره رویی برای سنجش آنزیم استفاده گردید. محتوی نمونه برای سنجش آنزیم حاوی سی میکرولیتر عصاره آنزیمی، یک میلی‌لیتر بافر سنجش (بافر بورات ۰/۱ مولار، ۰/۱ درصد پلی‌وینیل‌پیرولیدون^۲ و ۱/۴ میلی‌مولار و مرکاپتواتانول^۳ با $\text{pH}=8/8$ و یک یلی لیتر L-فنیل آلانین^۴ دوازده میلی‌مولار بود که به مدت سی دقیقه در ۲۵°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و جذب در طول موج ۲۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید. فعالیت آنزیم نیز بر حسب نانومول معادل اسیدسینامیک بر صد گرم وزن تر میوه محاسبه شد.

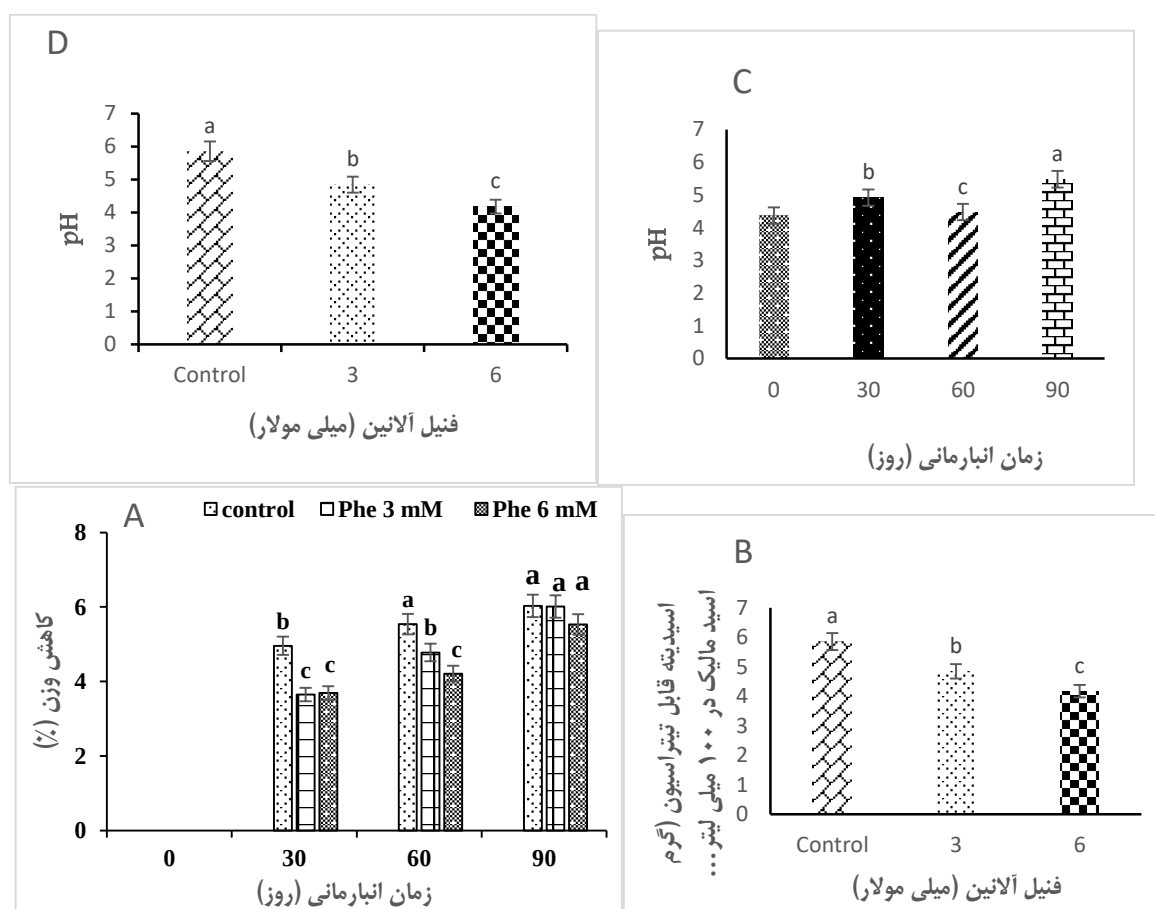
جهت ارزیابی حسی میوه‌ها، از هر ژنوتیپ سه عدد میوه انتخاب و توسط افراد مختلف جهت تعیین کیفیت ظاهری و عطر و طعم بر اساس نمره یک تا پنج به ترتیب ذیل به‌طور تصادفی تست شدند: (۱) نامناسب، (۲) متوسط، (۳) خوب، (۴) خیلی خوب و (۵) عالی. در پایان، نمرات داده‌شده توسط هر فرد، جمع‌آوری و با توجه به آن، وضعیت میوه در امتیازهای نامناسب، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی تعیین گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Martin Romero et al., 2007). همه میوه‌های مورد تست، تاحدودی ظاهر مناسب داشتند. میوه‌های قهوه‌ای قابل تست نبوده و فقط به‌صورت میوه کل محاسبه شدند. درنهایت، داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

بحث

کاهش وزن میوه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان کاهش وزن میوه طی دوره انبارمانی در میوه‌های شاهد زمان نود روز مشاهده گردید و کمترین میزان آن در تیمار سه میلی‌مولار فنیل آلانین در روز سی‌ام انبارمانی مشاهده شد (شکل A1).

1. Pyrogallol
2. Bain-Marie (Water bath)
3. Polyvinylpyrrolidone (PVP)
4. Mercaptoethanol (ME)
5. L-Phenylalanine



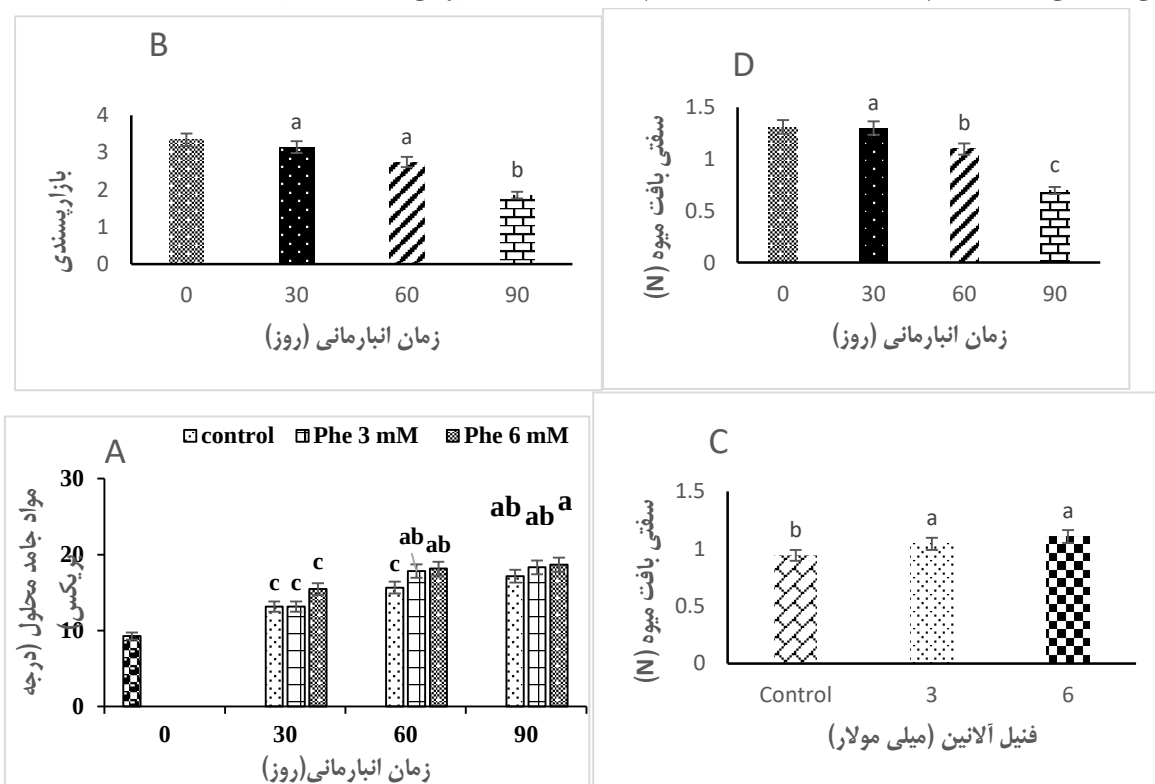
شکل ۱. اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن (A)، اثر تیمار فنیل آلانین بر اسیدیته قابل تیتراسیون (B) و اثرات تیمار فنیل آلانین (C) و زمان انبارمانی (D) بر pH میوه گلابی رقم درگری طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری است.

کاهش وزن میوه طی دوره انبارمانی به دلیل تبخیر آب از سطح میوه می باشد. در دوره پس از برداشت، دو عامل مهم باعث ازدست رفتن آب و کاهش وزن محصول می شود: اول، قطع شدن رابطه آبی میوه با گیاه مادر و دوم، افزایش تخرق در سطح میوه یا سبزی که یک فرآیند فیزیکی است و منجر به ازدست رفتن رطوبت و در نتیجه، کاهش وزن محصول می شود (Zhang *et al.*, 2017). همچنین، افزایش شدت تنفس باعث تسریع فرآیندهای رسیدگی و پیری شده و به تبع آن، مصرف مواد غذایی میوه افزایش پیدا می کند (Gao *et al.*, 2014) که این باعث کاهش وزن میوه طی دوره انبارمانی می گردد (Pathare & Al-Dairi, 2022). برخی مطالعات گزارش داده اند که فنیل آلانین باعث جلوگیری از کاهش وزن میوه توت فرنگی در انبار سرد می گردد (Manda-Hakki and Hassanpour., 2024)؛ همچنین نتایج آزمایش Keshavarz Afshar (2017) نشان داده که فنیل آلانین باعث ممانعت از کاهش وزن میوه انار در شرایط انبارمانی می گردد که با خروجی مطالعه حاضر هم راستاست.

pH و اسیدیته قابل تیتراسیون

طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، کمترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در دوره انبارمانی در میوه های شاهد مشاهده گردید به طوری که میوه های تیمار شده با اسید آمینه فنیل آلانین شش میلی مولار، میزان اسیدیته قابل تیتراسیون بیشتری را طی نود روز انبارمانی نشان دادند (شکل B1). همچنین میوه های تیمار شده با فنیل آلانین دارای pH کمتری بودند (شکل C1)؛ این درحالیست که افزایش دوره انبارمانی منجر به افزایش pH شد (شکل D1). افزایش قندها و کاهش اسیدهای آلی در طول دوره نگهداری در برخی از میوه ها منجر به افزایش اسیدیته می شود ولی این افزایش در میوه های مختلف متفاوت است چون علاوه بر اسیدها، سایر مواد موجود در میوه ها نظیر قندها نیز امکان تأثیر بر اسیدیته را دارند (Perkins-Vaezie, 2007).

گزارش شده که کاربرد اسیدهای آمینه از قبیل ال-سیستئین ۱ نیم درصد قادر است با بهبود اسیدیته میوه هلو، کیفیت میوه را طی انبارمانی حفظ نماید (Ommol Banin et al., 2020)؛ نتیجه‌ای که با خروجی مطالعه حاضر مطابقت دارد.



شکل ۲ اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر میزان مواد جامد محلول (A)، اثر زمان انبارمانی بر بازارپسندی (B) اثرات تیمار فنیل آلانین (C) و زمان انبارمانی (D) بر سفتی بافت میوه گلابی رقم درگز طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی داری است.

مواد جامد محلول

طبق نتایج به‌دست‌آمده در این آزمایش، کمترین میزان مواد جامد محلول طی دوره انبارمانی در میوه‌های شاهد و بیشترین میزان مواد جامد محلول در میوه‌های تیمار شده با اسید آمینه فنیل آلانین شش میلی‌مولار پس از نود روز انبار سرد مشاهده گردید (شکل A2). میزان مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون و قندها به‌عنوان ویژگی‌های مهم به‌منظور کمک به کیفیت کلی میوه‌ها و سبزیجات شناخته می‌شوند (Fallik & Ilic, 2018). تغییر مواد جامد محلول در زمان انبارمانی به شرایط نگهداری، رقم، شرایط اقلیمی منطقه رشد درخت و بلوغ میوه در زمان برداشت بستگی دارد (Kader, 2006). مطالعات قبلی در این خصوص حاکی از آن است که در مدت انبارمانی در میوه انار رقم مجلس ساوه، مواد جامد محلول میوه افزایش یافت، درحالی که تیمار فنیل آلانین و سولفید هیدروژن^۲ باعث حفظ مواد جامد محلول میوه شده (Keshavarz Afshar, 2017)؛ Wang et al., 2023) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

بازارپسندی

با توجه به شکل B2، فقط زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر بازارپسندی میوه گلابی داشت. میوه‌های نگهداری‌شده، در روز نود انبارمانی دارای کمترین میزان بازارپسندی بوده و میوه‌های روز سی‌ام، دارای بیشترین بازارپسندی بودند. کنترل قهوه‌ای شدن آنزیمی به‌دلیل ایجاد اثرات نامطلوبی که روی خواص ظاهری، بازارپسندی و کیفیت محصول می‌گذارد، همیشه به‌عنوان یک چالش مطرح بوده است. تخریب‌های آنزیمی در اثر گذشت زمان در انبار اجتناب‌ناپذیر بوده و کاربرد ترکیبات مختلف تنها

1. L-Cysteine
2. Hydrogen sulfide (H₂S)

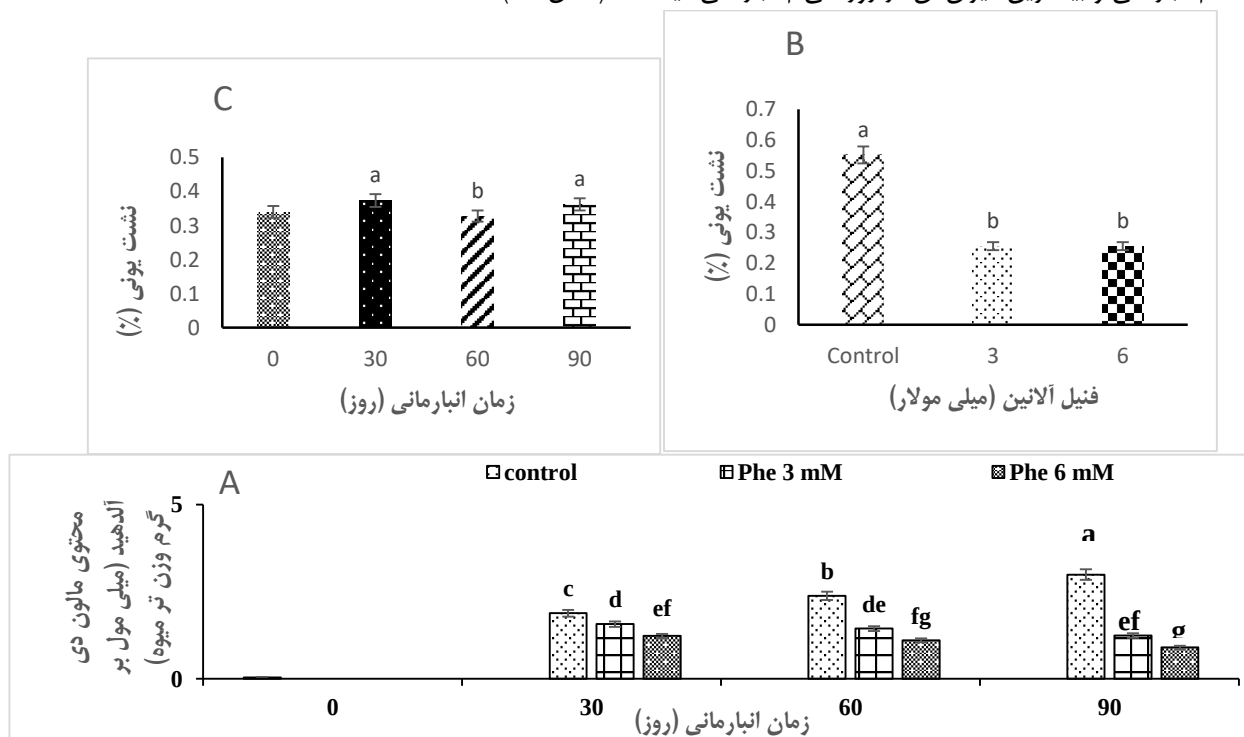
می‌تواند تا حدودی، سرعت تخریب را مدیریت نماید (Oliveira et al., 2011). در مطالعه حاضر نیز نتایج نشان داد که افزایش دوره نگهداری میوه در انبار منجر به کاهش بازارپسندی آن گردیده چنان‌که قبلاً در مطالعه‌ای گزارش شده که نگهداری میوه آلو در انبار سرد، منجر به افزایش قهوه‌ای شدن و کاهش بازارپسندی می‌شود (Sogvar et al., 2020b)، نتایجی که با یافته‌های مطالعه حاضر هم‌راستاست.

سفتی بافت میوه

طبق نتایج حاصل، تمامی تیمارها کاهش سفتی را در طول دوره انبارمانی نشان دادند، اما میوه‌های تیمارنشده با فنیل آلانین کاهش سفتی بیشتری داشتند. براساس شکل C2، کمترین میزان سفتی بافت میوه در گروه شاهد و بیشترین میزان آن در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین مشاهده شد. همچنین کمترین میزان کاهش سفتی در روز سی‌ام انبارمانی و بیشترین میزان کاهش آن نیز در روز نود انبارمانی مشاهده گردید (شکل D2). نرم شدن میوه یک فرآیند برگشت‌ناپذیر است که با افزایش حل شدن پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی همراه است و سفتی میوه، شاخص پیچیده‌ای است که با ضخامت دیواره سلولی، فشردگی بافت و ضخامت کوتیکول مرتبط می‌باشد (Lara et al., 2014). روند نرم شدن میوه در اثر فعالیت رادیکال‌های آزاد طی دوره انبارمانی افزایش می‌یابد و به دنبال آن، سرعت تنفس و تولید اتیلن نیز بالا می‌رود (Wang et al., 2015). به نظر می‌رسد تیمار فنیل آلانین می‌تواند روشی کارآمد برای افزایش کیفیت میوه گلابی طی دوره نگهداری در انبار سرد باشد. حفظ سفتی بافت میوه در دوره انبارمانی در اثر تیمار با فنیل آلانین توسط Sogvar et al. (2020b) در آلو نیز گزارش شده است. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های تحقیقات مذکور مطابقت دارد.

محتوی مالون‌دی‌آلدهید و نشت یونی

بر اساس شکل A3، کمترین میزان مالون‌دی‌آلدهید در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین در روز سی‌ام انبارمانی و بیشترین میزان آن در گروه شاهد روز نود انبارمانی مشاهده شد. همچنین بر اساس شکل B3، بیشترین میزان نشت یونی در گروه شاهد و کمترین میزان آن در هردو تیمار سه و شش میلی مولار فنیل آلانین مشاهده شد؛ همچنین کمترین میزان نشت یونی در روز شصتم انبارمانی و بیشترین میزان آن در روز سی‌ام انبارمانی دیده شد (شکل C3).



شکل ۳. اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر محتوی مالون‌دی‌آلدهید (A) و اثرات تیمار فنیل آلانین (B) و زمان انبارمانی (C) بر نشت یونی میوه گلابی رقم درگزی طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

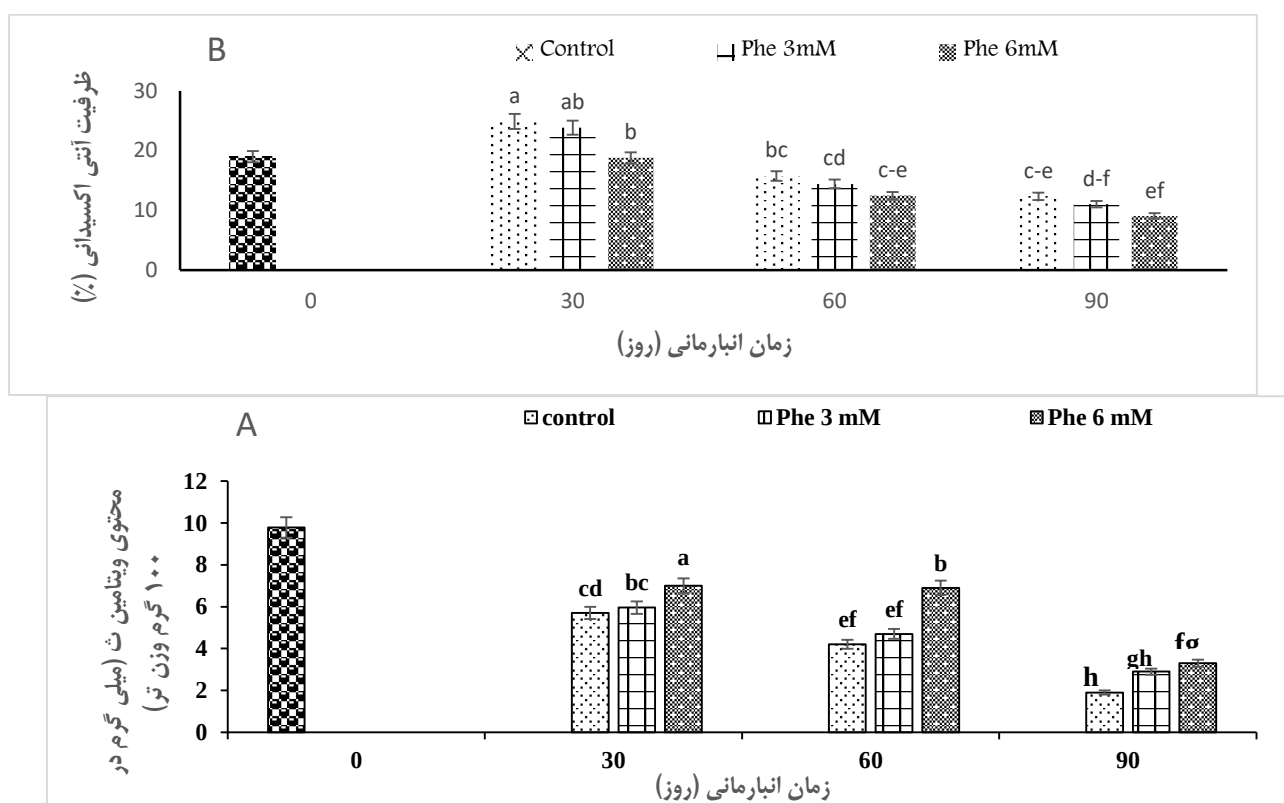
نشت الکترولیت یک شاخص قابل اعتماد برای آسیب غشای سلولی است و به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی آسیب ناشی از سرما در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها استفاده می‌شود (Kumari et al., 2023). پراکسیداسیون لیپیدها می‌تواند ساختار غشای سلولی را تغییر دهد. در طول نگهداری میوه در انبار سرد، پراکسیداسیون غشای سلولی رخ داده و مالون‌دی‌آلدئید تولید می‌شود که به غشای سلول میوه آسیب می‌زند. وجود اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع در غشای سلولی ممکن است نشت یونی و تجمع مالون‌دی‌آلدئید را کاهش دهند و در نتیجه، از پراکسیداسیون لیپید غشاء و آسیب سلولی جلوگیری کنند. گزارش شده که استفاده از غلظت ۷/۵ میلی مولار فنیل آلانین، مقاومت بافت را در برابر آسیب سرمایی در انبار افزایش می‌دهد و یکپارچگی غشای سلولی را در مقایسه با میوه‌های شاهد حفظ می‌کند (Sogvar et al., 2020a). مطالعه‌ای بر میوه توت‌فرنگی طی دوره انبارمانی نشان داد که تیمار فنیل آلانین باعث کاهش سطوح مالون‌دی‌آلدئید شده و از پراکسیداسیون لیپیدی جلوگیری نموده است (Manda-Hakki and Hassanpour, 2024) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

محتوی اسید آکوریک (ویتامین ث)

بر اساس شکل A4، بیشترین میزان محتوی ویتامین ث در روز صفر و کمترین میزان آن در روز نود و در تیمار شاهد مشاهده شد؛ در تمامی تیمارها ویتامین ث کاهش یافت اما در میوه‌های تیمار شده با فنیل آلانین این کاهش کمتر بود. اسید آسکوربیک که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنژیومی برای خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن شناخته می‌شود، در مدت انبارمانی میوه در دمای پایین وارد عمل شده به‌همین دلیل، مقدار آن کاهش می‌یابد (Naser et al., 2018). در مطالعه‌ای بر میوه توت‌فرنگی مشاهده شد که فنیل آلانین باعث جلوگیری از کاهش اسید آسکوربیک میوه‌ها طی دوره انبارمانی شده است (Manda-Hakki and Hassanpour., 2024) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

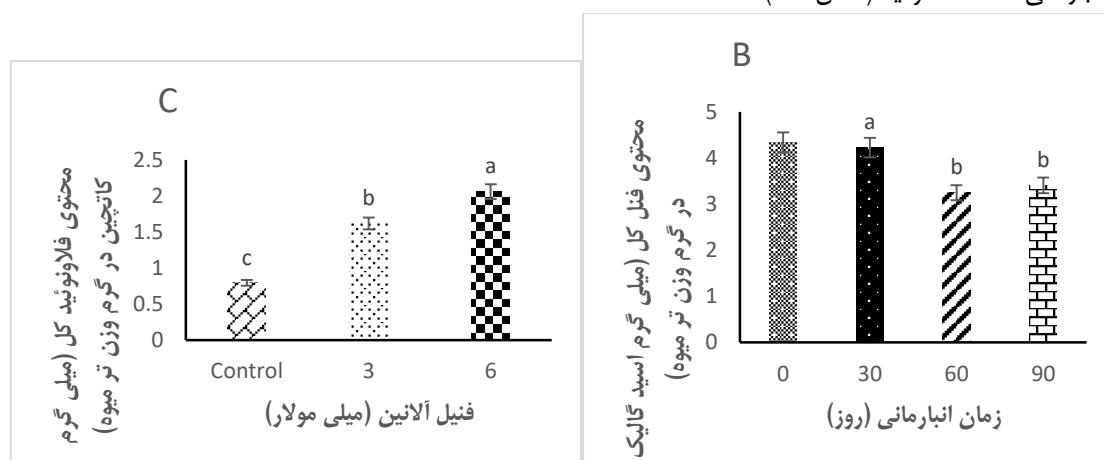
نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گروه شاهد و در روز سی‌ام انبارمانی مشاهده و کمترین میزان آن در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین و در روز نود ثبت گردید (شکل B4). آنتی‌اکسیدان‌ها به ترکیباتی گفته می‌شود که با دادن الکترون به رادیکال‌های آزاد باعث تأخیر و یا مانع از اکسیداسیون مولکول‌های زیستی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و دئوکسی‌ریبونوکلیک‌اسید می‌شوند (Wang, 2013). به‌طور کلی، افزایش ظرفیت و فعالیت آنتی-اکسیدانی ارتباط مستقیمی با افزایش مدت‌زمان انبارمانی دارد (Sowmyashree et al., 2021; Sayyari & Gharibi, 2016). در برخی تحقیقات دیگر نیز مشخص شده که تیمار فنیل آلانین با افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باعث ماندگاری بیشتر میوه توت‌فرنگی در انبار سرد می‌شود (منداحکی و حسن‌پور، ۱۴۰۳).

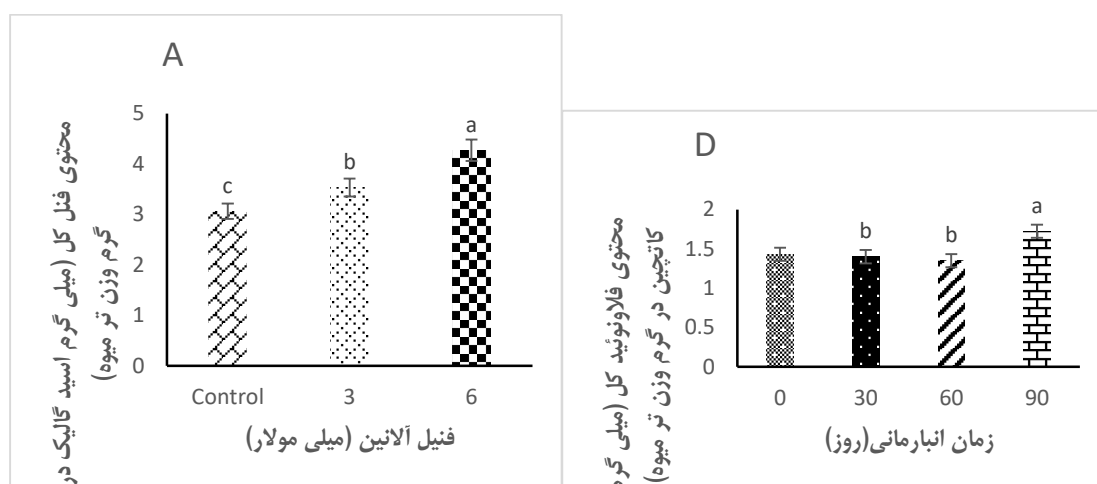


شکل ۴- اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر محتوی ویتامین ث (A) و اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر ظرفیت آنتی اکسیدانی (B) میوه گلابی رقم درگری طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری است.

محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز

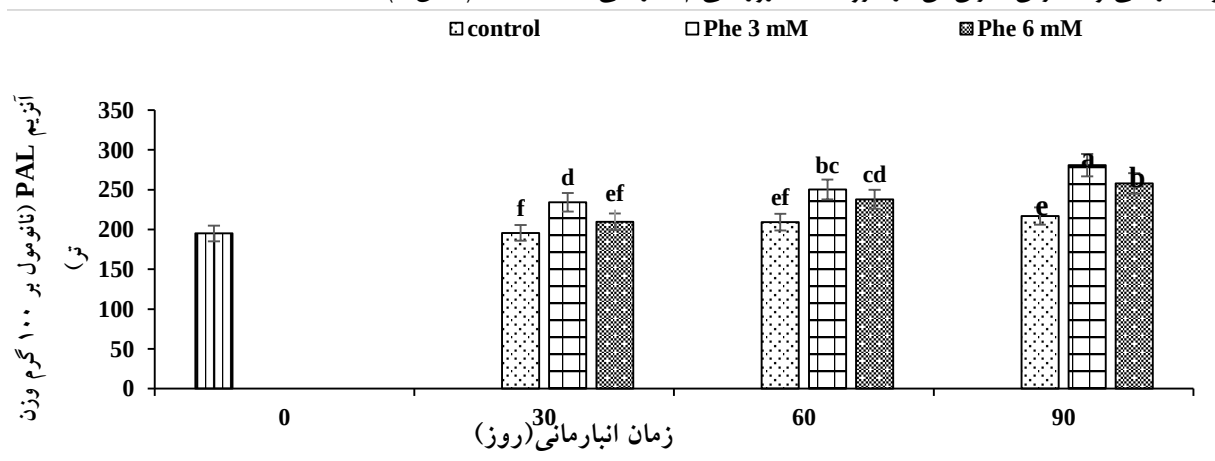
بر اساس شکل A5، بیشترین میزان محتوی فنل کل در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین و کمترین میزان آن در گروه شاهد مشاهده شد؛ همچنین بیشترین میزان محتوی فنل کل در روز صفر انبارمانی و کمترین آن در روز شصتم انبارمانی مشاهده شد (شکل B5). بر اساس شکل C5، بیشترین میزان محتوی فلاونوئید کل در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین و کمترین میزان آن در گروه شاهد مشاهده شد و بالاترین میزان محتوی فلاونوئید کل در روز نود انبارمانی و کمترین آن در روز شصت انبارمانی مشاهده گردید (شکل D5).





شکل ۵. اثرات تیمار فنیل آلانین (A) و زمان انبارمانی (B) بر محتوی فنل کل و و اثرات تیمار فنیل آلانین (B) و زمان انبارمانی (C) بر محتوی فلاونوئید کل میوه گلابی رقم درگزی طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم PAL در تیمار سه میلی‌مولار فنیل آلانین در روز نود انبارمانی و کمترین میزان آن در گروه شاهد روز سی‌ام انبارمانی مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ۶. اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم PAL میوه گلابی رقم درگزی طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

از مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه که از مسیر شیکمیک اسید سنتز می‌شوند، ترکیبات فنلی هستند که نقش مهمی در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزد تولیدشده طی تنش را برعهده دارند. علاوه بر این، ترکیبات فنلی از مهمترین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند که به صورت مستقیم از طریق مسیر فنیل پروپانوییدی و آنزیم کلیدی فنیل آلانین آمونیالاز به وجود می‌آیند (Asghari, 2019). از جمله اجزای سیستم آنتی‌اکسیدانی، فلاونوئیدها می‌باشند که نقش ویژه‌ای در خنثی‌سازی اثر رادیکال‌های آزاد و کاهش اثر تنش‌ها دارند. مطالعات نشان داده که تولید و تجمع ترکیبات فلاونوئیدی در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی مانند دمای پایین انبار افزایش می‌یابد (Akhond et al., 2022). خواص آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی به ساختار شیمیایی آن‌ها مربوط شده که می‌توانند به عنوان دهنده الکترون یا پروتون عمل کنند؛ درواقع، آنزیم PAL از مهم‌ترین آنزیم‌هایی است که مسیر فنیل پروپانویید را فعال می‌کند (Asghari & Zahedipour, 2016). بنابراین، به نظر می‌رسد که فعالیت PAL در مسیر فنیل پروپانویید در میوه‌های گلابی تیمار شده با اسید آمینه فنیل آلانین افزایش یافته و منجر به تجمع بیشتر ترکیبات فنلی گردیده

است. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های مطالعات Sogvar *et al.* (2020b) مبنی بر تأثیر فنیل آلانین در حفظ ترکیبات فنلی و افزایش فعالیت آنزیم PAL مطابقت داشت. در مطالعه‌ای روی میوه انبه نیز مشاهده شد که فنیل آلانین باعث افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز گشته (Patel *et al.*, 2023). طی پژوهشی دیگر مشاهده شد که فنیل آلانین باعث افزایش محتوای فنل کل، فلاونوئید و فعالیت آنزیم PAL در میوه توت‌فرنگی طی دوره انبارمانی شده است (Manda-Hakki and Hassanpour, 2024). نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج مطالعات ذکر شده مطابقت دارد.

فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز

بر اساس شکل A7، بیشترین میزان فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در تیمار شش میلی‌مولار فنیل آلانین و کمترین میزان آن در گروه شاهد مشاهده شد. همچنین بر اساس شکل B7، بیشترین میزان فعالیت این آنزیم در روز نود انبارمانی و کمترین آن در روز شصت انبارمانی مشاهده گردید. آسکوربات در همکاری با توکوفرول، رادیکال‌های پراکسیل لیپید را از بین برده و مانع از گسترش پراکسیداسیون لیپید در غشاء می‌گردد (Nath *et al.*, 2014). پراکسیدازها آنزیم‌هایی هستند که در تمام پیکره گیاهان، سیتوسول، واکوئل، کلروپلاست و فضای آپوپلاست وجود دارند و دارای نقش مهمی در سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی می‌باشند (Poddar *et al.*, 2018)؛ این آنزیم‌ها در حضور ترکیبات فنلی و اسیدآسکوربیک احیاء می‌توانند به‌عنوان از بین‌برنده مؤثر رادیکال‌های آزاد در آپوپلاست و واکوئل عمل نمایند (Wilhite *et al.*, 2000). در مطالعه حاضر، مشاهده شد که فنیل آلانین باعث افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز گردید که با نتایج پژوهش‌های Manda-Hakki and Hassanpour (2024) مطابقت دارد که دریافته‌اند فنیل آلانین باعث افزایش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز در میوه توت‌فرنگی طی مدت نگهداری در سردخانه می‌شود.

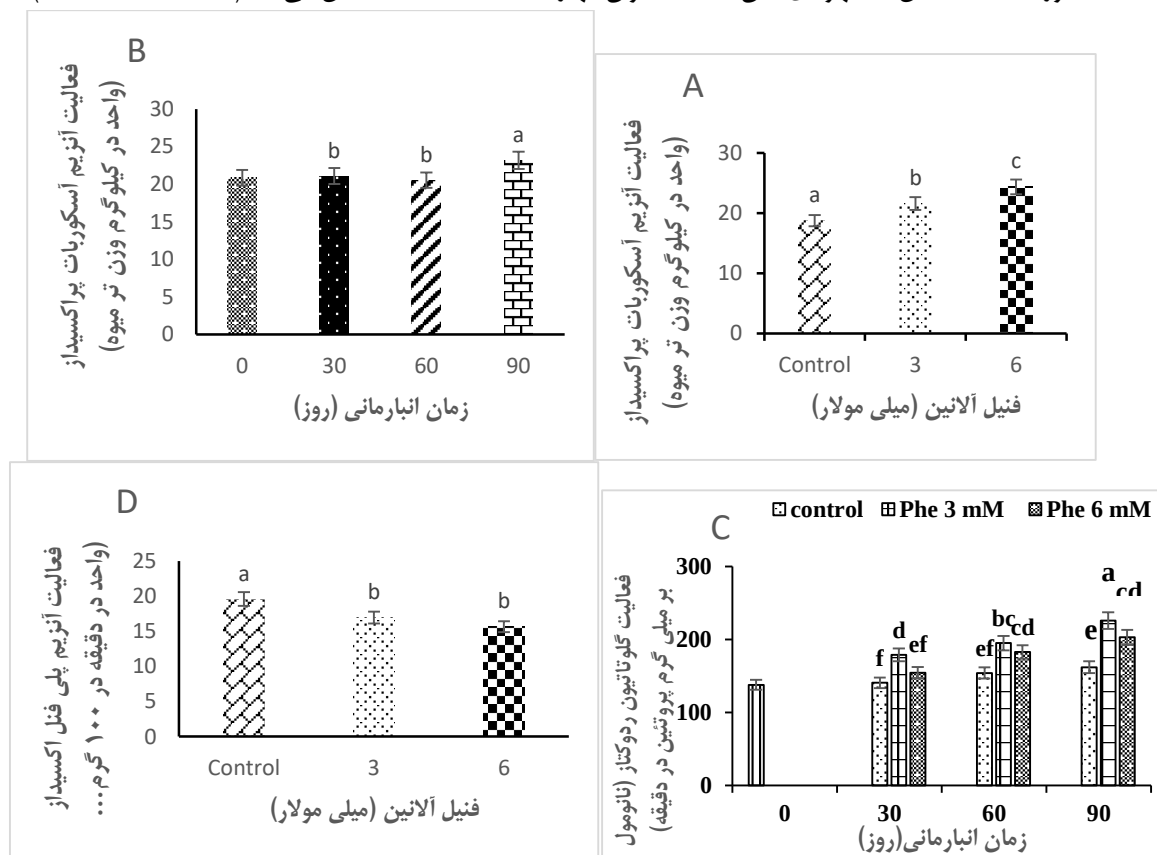
آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز

نتایج نشان داد که بیشترین میزان فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز در تیمار سه میلی‌مولار فنیل آلانین روز نود انبارمانی و کمترین میزان فعالیت آن در گروه شاهد روز سی‌ام انبارمانی مشاهده گردید (شکل C7). گلوکاتایون یکی ترکیباتی است که نقش بسیار مهمی در سلول دارد و می‌تواند به‌صورت مستقیم به‌عنوان آنتی‌اکسیدان عمل کند. گلوکاتایون یک‌تری‌پپتید^۵ (α-گلوتامیل‌سیستئینیل‌گلیسین) است که در تمام قسمت‌های سلول مثل سیتوسول، کلروپلاست شبکه آندوپلاسمی، واکوئل و میتوکندری دیده شده است (Millar *et al.*, 2003). برخی محققان گزارش کرده‌اند که گلوکاتایون احیاء از طریق واکنش با اکسیژن یکتایی^۶ و رادیکال هیدروکسیل^۷ گروه‌های تیول^۸ پروتئین‌ها را از آسیب محافظت می‌کند (Dahal *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای بر میوه انبه در مدت نگهداری در انبار مشاهده گردید که فنیل آلانین باعث افزایش فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز شد (Patel *et al.*, 2023) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

1. Cytosol
2. Vacuole
3. Chloroplast
4. Apoplastic space
5. Glutathione (GSH), a tripeptide (γ-Glutamylcysteinylglycine)
6. Singlet oxygen (¹O₂)
7. Hydroxyl radical (OH)
8. Thiol groups

پلی فنل اکسیداز

بر اساس نتایج پژوهش، کمترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در تیمار شش میلی مولار فنیل آلانین و بیشترین میزان فعالیت آن در گروه شاهد مشاهده گردید (شکل D7). آنزیم پلی فنل اکسیداز باعث نشت ترکیبات فنلی از واکوئل بعد از تنش شده (Nilprapruck et al., 2008) و فعالیت آن توسط میزان تنفس، غلظت عناصر غذایی، استحکام بافت میوه و آنتی-اکسیدان‌ها تنظیم گشته و عواملی نظیر زمان برداشت و دما، ترکیب گازی اتمسفر و شرایط محیطی نیز در فعالیت آن مؤثرند (Khoshghalb et al., 2007). در این مطالعه، فعالیت PPO در میوه گلابی تیمار شده با فنیل آلانین کاهش یافت. بنابراین، به نظر می‌رسد که فعالیت کم PPO در میوه‌های تیمار شده با فنیل آلانین با وقوع افزایش ماندگاری مرتبط باشد. در مطالعه‌های دیگر، بین محتوای فنل و فعالیت PPO در میوه‌های برداشت شده در دوره پس از برداشت همبستگی مشاهده شد بدین معنا که اسید آسکوربیک یک عامل ضد قهوه‌ای شدن است به عنوان مهار کننده فعالیت PPO عمل می‌کند (Nasr et al., 2021).



شکل ۷. اثرات تیمار فنیل آلانین (A) و زمان انبارمانی (B) بر فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز، اثر متقابل تیمار فنیل آلانین و زمان انبارمانی (C) بر فعالیت آنزیم گلوکاتایون ردوکتاز و اثر تیمار فنیل آلانین بر فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (D) میوه گلابی رقم درگزی طی دوره انبارمانی. حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی داری است.

نتیجه گیری

در میوه‌های گلابی، توجه ویژه به مسائل پس از برداشت ضروری است و با رعایت نکات فنی می‌توان، از ایجاد ضایعات در محصول جلوگیری نموده و یا آن را به حداقل رساند. سالانه، میزان زیادی از محصولات باغی کشور، به خاطر عدم توجه صحیح به نکات انبارمانی از بین می‌روند درحالی که با رعایت اصول صحیح انبارمانی، نه تنها کیفیت محصول حفظ می‌شود، بلکه خسارت‌هایی نظیر سرمازدگی و حمله عوامل بیماری‌زا نیز کاهش یافته و به تبع دنبال آن، حداقل ضرر متوجه باغدار می‌گردد. دمای پایین باعث تغییرات در ساختار فیزیکی غشاء شده و منجر به تولید رادیکال‌های آزاد مانند پروکسید هیدروژن می‌گردد؛ این

رادیکال‌ها منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء می‌شوند و در نتیجه، پایداری و استحکام غشاء از بین می‌رود. طبق نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، تیمار گلابی با اسیدآمینه فنیل‌آلانین برای افزایش عمر انبارمانی میوه مناسب تشخیص داده شد زیرا صدمه ناشی از سرما، پراکسیداسیون لیپیدها و نشت یونی را کاهش داده و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند ترکیبات فنلی، فلاونوئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش پیدا کرد. به‌طور کلی، تیمارهای به‌کار برده‌شده در پژوهش حاضر باعث افزایش عمر انبارمانی و حفظ کیفیت میوه گلابی شدند. بنابراین، می‌توان گفت تیمار اسیدآمینه فنیل‌آلانین شش میلی-مولار تأثیرگذاری مشهودی نسبت به بقیه تیمارها نشان داده است.

منابع

- احمدخانی، سهیلا؛ سلیمانی، علی؛ رضوی، فرهنگ و خیری، عزیزاله. (۱۳۹۸). تأثیر تیمار پس از برداشت سولفید هیدروژن و فنیل‌آلانین بر خصوصیات فیزیک و شیمیایی میوه زغال اخته در طی انبار سرد. *مجله عبوم و فنون باغبانی ایران*، ۲۲(۴)، ۴۳۶-۴۲۵.
- جلیلی مرندی، رسول (۱۳۸۹). *پرورش میوه‌های مناطق معتدله*. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد آذربایجان غربی، ۳۶۲ صفحه.
- عبدللهی، حمید. (۱۳۸۹). *اصول تغذیه معدنی گیاهان*. انتشارات دانشگاه تبریز. ۳۶۸ صفحه.
- کشاورز افشار، فاطمه (۱۳۹۷). تأثیر پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر خصوصیات بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی میوه انار رقم ملس ساوه در طول انبار سرد. *پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان*. ۹۰ ص.
- منداحکی، کریم؛ حسن‌پور، حمید. (۱۴۰۳). کاربرد پس از برداشت ال-فنیل‌آلانین بر ماندگاری و ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی توت فرنگی رقم 'سابرینا' در طی نگهداری در سردخانه. *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۸ (۳): ۶۲۵-۶۱۱.
- نجفی، رضا؛ برزگر، طاخر؛ رضوی، فرهنگ و قهرمانی، زهرا. (۱۳۹۹). اثر تیمارهای پس از برداشت فنیل‌آلانین و سولفید هیدروژن بر حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی میوه بادنجان (*Solanum melongena* L.). *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۴ (۴): ۷۱۷-۷۰۵.
- نصرتی، سید ضیاء؛ ذبیح اله، زمانی؛ و بابالار، مصباح. (۱۳۸۸). ریزازدیادی چهار رقم گلابی (*Pyrus communis* L.) (درگزی، نطنزی، شاه میوه و ویلیامز). *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۰ (۲): ۸۳-۹۱.

REFERENCES

- Abdullahi, H. (2008). Principles of plant mineral nutrition. Publications of Tabriz University. 368 pages. (In Persian)
- Aghdam, M. S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*, 246, 818-825.
- Ahmadkhani, S., Soleimani, A., Razavi, F., & Kheiry A. (2021). Hydrogen Sulfide Postharvest Application Impacts on Physicochemical Attributes of Cornus mas Fruits during Cold Storage. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 22 (4), 425-436. (In Persian)
- Ahmed, M., & Anjum, M.A. (2010). In vitro storage of some pear genotypes with the minimal growth technique. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34, 25-32.
- Akhond, M., Heidarizadeh, F. & Kolahi, M. (2022). Comparative study of qualitative and chemical characteristics of Camarosa and Parus strawberry cultivars during 15 days of storage. *Developmental Biology*, 14(2), 43-52.
- Ali, A., Abrar, M., Sultan, M.T., Din, A., & Niaz, B. (2011). Postharvest physicochemical changes in full ripe strawberries during cold storage. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(1), 38-41.
- Ali, S., Khan, A.S., & Malik, A.U. (2016). Postharvest L-cysteine application delayed pericarp browning, suppressed lipid peroxidation and maintained antioxidative activities of litchi fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 135-142.
- Asghari, M. & Zahedipour, P. (2016). 24-Epibrassinolide Acts as a Growth-Promoting and Resistance-Mediating Factor in Strawberry Plants. *Journal Plant Growth Regulation*, 220-228.
- Asghari, M. (2019). Lmpact of jasmonates on safety, productivity and physiology of food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 45:16-23.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.H.Y., Wang, C.Y., & Gonzalez-Aguilar, G.A. (2007). High oxygen treatment increases antioxidant capacity and postharvest life of strawberry fruit. *Food Technology and Biotechnology*, 425,166-173.
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2), 179-194.
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248- 254.
- Chiou, A., Karathanos, V.T., Mylona, A., Salta, F.N., Preventi, F., & Andrikopoulos, N.K. (2007). Currants (*Vitis vinifera* L.) content of simple phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 102, 516-522.
- Dahal, K., Kane, K., Gadapati, W., Webb, E., Savitch, L.V., Singh, J., Sharma, P., Sarhan, F., Longstaffe, F.J., & Grodzinski, B. (2012). The effects of phenotypic plasticity on photosynthetic performance in winter rye, winter wheat and Brassica napus. *Plant Physiology*, 144, 169-188.
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia, A., & Jafari, M. (2008). Antioxidant and free radical scavenging activity of Feijoa sallowiana fruits peel and leaves. *Journal of Pharmacol-online*, 1, 7-14.
- Fallik, E., & Ilic, Z. (2018). Pre-and postharvest treatments affecting flavor quality of fruits and vegetables. In: Siddiqui, M.W. (Ed.), *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*. Academic Press pp. 139–168.
- FAO. (2018). FAOSTAT - Agricultural Data. <http://faostat.fao.org/>.
- Foyer, C.H., Lelandais, C., Galap, M., & Kunert, K.J. (1994). Effect of elevated cytosolic glutathione reductase activity on the cellular glutathione pool and photosynthesis in leaves under normal and stress conditions. *Plant Physiology*, 97, 863-872.
- Gao-Sheng, H.U., Jing-Ming, J.I.A., & Kim, D.H. (2014). Effects of feeding tyrosine and phenylalanine on the accumulation of phenylethanoid glycosides to *Cistanche deserticola* cell suspension culture. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 12(5), 367-372.
- Hancock, J.T. (2017). Harnessing evolutionary toxins for signaling: Reactive oxygen species, nitric

- oxide and hydrogen sulfide in plant cell regulation. *Frontiers of Plant Science*, 8, 189-198.
- Heath, R.L., & Packer, L. (1985). Photo peroxidation in isolated chloroplast, I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125, 189-198.
- Jalili Marandi, R. (2008). Cultivation of fruits of temperate regions. Academic Jihad Publications, West Azerbaijan Branch, 362 pages. (*In Persian*)
- Kader, A.A. (2006). Postharvest Biology and Technology of Pomegranates. pp. 211-220. In: Seeram, N. P.
- Ke, D. and saltveit, M.E. (1986). Effects of calcium and auxin on russet spotting and phenilalanina ammonia lyase activity in iceberg lettuce. *Hort Science*, 21, 1169-1171.
- Keshavarz Afshar, F. 2017. Post-harvest effect of phenylalanine and hydrogen sulfide on biochemical and antioxidant properties of Meles Saveh pomegranate fruit during cold storage. Master thesis of Zanjan University Faculty of Agriculture. 90 p. (*in Persian*)
- Khoshghalb, H., Arzani, K., Malakouti, M.J., & Barzegar, M. (2007). The relationship between antioxidant level and internal browning disorder in some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) fruit genotypes. 10th International symposium on pear, 22-26 May Portugal. Pp. 90 (Abst.).
- Kumari, A., Kumar, V., Ovadia, R., & Oren-Shamir, M. (2023). Phenylalanine in motion: A tale of an essential molecule with many faces. *Biotechnology Advances*, 108246.
- Lara, I., Belge, B., & Goulao, L.F. (2014). The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 103-112.
- Luh, B.S., & Phithakpol, B. (1972). Characteristics of poly phenoloxidase related to browning in chilling peaches. *Journal Food Science*, 37, 246-268.
- Lurie, S., & Crisosto, C. H. (2005). Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest biology and technology*, 37(3), 195-208.
- Lutts, S., Kinet, J.M. and Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experiment Botany*, 46(12), 1843-1852.
- Manda-Hakki, K, Hassanpour, H. (1403). Post-harvest application of L-phenylalanine on shelf life and physicochemical characteristics of Sabrinâ strawberries during cold storage. *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*, 38 (3): 625-611
- Manda-Hakki, K. Hassanpour, H. (2024). Changes in Postharvest Quality and Physiological Attributes of Strawberry Fruits Influenced by L-Phenylalanine, *Food Science & Nutrition*, 0,1-13.
- Martin-Romero, D., Guillen, F., Valverde, J.M., Bailen, G., Zapata, P.J., & Serrano, M. (2007). Influence of carvacrol on survival of Botrytis cinerea inoculated in table grapes. *International Journal of Food Microbiology*, 115, 144-148.
- Millar, A.H., Mittova, V., & Kiddle, G. (2003). Control of ascorbate synthesis by respiration and its implications for stress responses. *Plant Physiology*, 133, 443-447.
- Najafi, R., Barzegar, T., Razavi, F., & Ghahremani, Z. (2020). Effect of Postharvest Treatments of Phenylalanine and Hydrogen Sulfide on Maintaining Quality and Enhancing Shelf life of Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Journal of Horticultural Science*, 34(4), 705-717. (*In Persian*)
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate- specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867-880.
- Nasr, F., Pateiro, M., Rabiei, V., Razavi, F., Formanek, S., Gohari, G., & Lorenzo, J. M. (2021). Chitosan-phenylalanine nanoparticles (Cs-Phe Nps) extend the postharvest life of persimmon (*Diospyros kaki*) fruits under chilling stress. *Coatings*, 11(7), 819.
- Nath, P., Bouzayen, M., Mattoo, A.K., & Claudu pech, j.(Eds). (2014). Fruit ripening: physiology, signaling and genomics. CABI.478p.
- Nilprapruck, P., Authanithe, F., & Keebjan, P. (2008). Effect of exogenous methyl-jasmonate on chilling injury and quality of pineapple. *Silpakorn University Science and Technology*, 2, 33-

- 42.
- Nosrati, S.Z., Zabih-o-lah Z., & Babalar, M. (2009). Icropropagation of Four Cultivars (Dargazi, Natanzi, Shahriveh and Williams) of Pear (*Pyrus communis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40(2), 83-91. (In Persian)
- Oliveira, C.M., Ferreira, A.C.S., & Freitas, V. (2011). Oxidation mechanisms occurring in wines. *Food Research International*, 44, 1115-1126.
- Omaye, S.T., Turnbull, J.D., & Sauberlich, H.E. (1979). Selected Methods for the determination of Ascorbic acid in Animal Cells, Tissues and Fluids, in: *Methods in Enzymology*, 62, 3-11.
- Ommol, B., Sogvar, L., Farhang, R., Vali, R., & Gholamreza G. (2020). Postharvest application of L-cysteine to prevent enzymatic browning of “Stanley” plum fruit during cold storage. *Horticulture*, 12, 36-45.
- Patel, M.K., Fanyuk, M., Feyngenberg, O., Maurer, D., Sela, N., Ovadia, R., Orenshamir, M. & Alkan, N. (2023). Phenylalanine induces mango fruit resistance against chilling injuries during storage at suboptimal temperature. *Food Chemistry*. 405, 134909.
- Pathare, P. B., & Al-Dairi, M. (2022). Effect of mechanical damage on the quality characteristics of banana fruits during short-term storage. *Discover Food*, 2(1), 4.
- Perkins-Vaezie, P. (2007). Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest biology AND Technology*, 10, 1005-1016.
- Poddar, H., DeVilliers, M., Jandre, Z., & Zhang, J. (2018). Structural basis for the catalytic mechanism of ethylenediamine-N, N'-disuccinic acid lyase, a carbon-nitrogen bond-forming enzyme with broad substrate scope. In: *Biochemistry*, 57, 3752-3763.
- Portu, J., López-Alfaro, I., Gómez-Alonso, S., López, R., & Garde-Cerdán, T. (2015). Changes on grape phenolic composition induced by grapevine foliar applications of phenylalanine and urea. *Food chemistry*, 180, 171-180.
- Sayyari, M., & Gharibi, R. (2016). Effects of Lavender Essential Oil and Methyl Salicylate on Gray Mold Control and Postharvest Quality of Strawberry. *Journal of Horticultural Science*, 29(4), 662-670.
- Sh., Keyhani, E., & Keyhani, J. (2007). Polyphenol oxidase activity in dormant saffron (*Crocus sativus* L.) corm. *Original Paper*, 29, 463-471.
- Shin, D., Cho, S., Heu, S., & Ryu, N. (2003). Selective regulation of ptsG expression by Fis. Formation of either activating or repressing nucleoprotein complex in response to glucose. *The Journal of Biological Chemistry*, 278, 14776-14781.
- Sogvar, O.B., Rabiei, V., Razavi, F., & Gohari, Gh. (2020 a). Phenylalanine Alleviates Postharvest Chilling Injury of Plum Fruit by Modulating Antioxidant System and Enhancing the Accumulation of Phenolic Compounds. *Food Technology and Biotechnology*, 58(4), 433-444.
- Sogvar, O.B., Razavi, F., Rabiei, V., & Gohari, G. (2020 b). Postharvest application of L-cysteine to prevent enzymatic browning of “Stanley” plum fruit during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-12.
- Sowmyashree, A., Sharma, R., Rudra, S.G., & Grover, M. (2021). Layer-by-Layer coating of hydrocolloids and mixed plant extract reduces fruit decay and improves postharvest life of nectarine fruits during cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(8), 112.
- Tzin, V., and Galili, G. (2010). New insights into the shikimate and aromatic amino acids biosynthesis pathways in plants. *Molecular Plant*, 3(6), 956-972.
- Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & Gonzalez-Martinez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 164-71.
- Veltman, R. H., Kho, R. M., Van Schaik, A. C. R., Sanders, M. G., & Oosterhaven, J. (2000). Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19(2), 129-137.
- Wang, L., Jin, P., Wang, J., Gong, H., Zhang, S., & Zheng, Y. (2015). Hot air treatment induces resistance against blue mold decay caused by *penicillium expansum* in sweet cherry (*prunus*

- cerasus* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 189, 74-80.
- Wang, M., Li, C., Liu, J., Zhang, S., Guo, Y., Jin, Y., & Ge, Y. (2023). Phenylalanine maintains the postharvest quality of 'Jinfeng' pear fruit by modulating the tricarboxylic acid cycle and chlorophyll catabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 204, 112479.
- Wang, Y.Q., Luo, W.H., & Zhao, Y.J. (2013). Effect of epibrassinosteroide on growth and fruit quality of watermelon. *Zhiwu Shenglix Tonglixun*, 30: 423-425.
- Wilhite, S.E., Elden, T.C., Brzin, J., & Smigocki, A.C. (2000). Inhibition of cysteine and aspartyl proteinases in the alfalfa weevil midgut with biochemical and plant-derived proteinase inhibitors. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 30, 1181-1188.
- Zhang, S., Lin, H., Lin, Y., Lin, Y., Hung, Y.C., & Chen, Y. (2017). Energy status regulates disease development and respiratory metabolism of *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff. and Maubl.-infected longan fruit. *Food Chemistry*, 231, 238-246.
- Zhao, P., Deng, S., Ding, Y., & Lyu, F. (2015). Optimization of additive combination based on L-Cysteine for inhibition of nonenzymatic browning in cooked rice during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 488-494.