Food Research Journal

Online ISSN: 2676-5691 Print ISSN: 2008-515X
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

Impact of tryptophan treatment on maintaining marketability and extending the shelf Life of Sweet cherry fruit

Narmin Karimian[1]✉, Farhang Razavi[2] and Morteza Soleimani Aghdam[3]

[1]PhD Student, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[2]Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[3]Associate Professor, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University of Qazvin, Qazvin, Iran
✉ Corresponding author: n.karimian@znu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2024-12-16
Revised: 2026-02-05
Accepted: 2026-03-09

Keywords:
Bioactive compounds, CIELAB colorimetric system, Peroxidase, Postharvest quality, Proline

ABSTRACT

Background: Sweet cherry fruit exhibits high perishability during the postharvest period due to its thin skin, high respiration rate, and the activation of oxidative pathways. Tryptophan, as an aromatic amino acid and a precursor to bioactive compounds, can play an effective role in regulating defense responses and delaying the senescence process.
Aims: This research aimed to evaluate the effect of postharvest tryptophan treatment on the biochemical and antioxidant characteristics of 'Tak-Daneh' sweet cherry fruit under cold storage conditions.
Methods: The experiment was conducted as a factorial arrangement in a completely randomized design with three replications. The first factor consisted of different tryptophan concentrations (0, 0.5, 1, and 2 mM), and the second factor was the storage duration (7, 14, 21, and 28 days). After dipping in the treatment, the fruits were stored at 1 ± 0.5 °C and 85-90% relative humidity.
Results: The results showed that tryptophan application, particularly at a concentration of 2 mM, significantly increased proline content, total soluble protein, peroxidase enzyme activity, DPPH radical scavenging capacity, and total anthocyanins. These changes were accompanied by the maintenance of acidity and titratable acidity, controlled increases in total soluble solids and total soluble carbohydrates, improvement in the flavor index, and reduced severity of stem browning during the storage period.
Conclusion: In general, the findings indicated that tryptophan, by strengthening the antioxidant system and reducing oxidative damage, can be used as a natural bioactive substance for preserving the quality and extending the postharvest shelf life of sweet cherry fruit under cold storage conditions.

Food Research Journal, 2026,36(1): 15-32
DOI: 10.22034/FR.2026.70769.1984

NADPH/$NADP^+$ ratios, and activating the antioxidant system (e.g., enhancing SOD, CAT, and APX gene expression), thereby reducing ROS accumulation, as demonstrated in strawberry (Zhou et al., 2024). In 'Le-Conte' pear, preharvest tryptophan treatment (100 ppm) improved fruit set, yield, weight, skin color (L^* and a^*), total soluble solids (TSS), total soluble carbohydrates, total phenols, and total amino acid content (Khedr, 2018), and subsequently helped maintain TSS and reduce quality loss during 12 weeks of cold storage (Khedr, 2019). Despite promising results in various fruits, information regarding the impact of tryptophan on the physicochemical and marketability attributes of sweet cherry remains limited. Consequently, this study was designed to evaluate the effect of different concentrations of postharvest tryptophan application on maintaining quality, delaying senescence, extending shelf life, and enhancing the antioxidant system of 'Tak Daneh' sweet cherries during cold storage.

Materials and Methods

Sweet cherry fruits (*Prunus avium* L. cv. 'Tak Daneh') were harvested at commercial maturity on June 21, 2023, from an orchard in Saqqez, Kurdistan Province, Iran, and promptly transported to the Postharvest Physiology Laboratory, Department of Horticultural Sciences, University of Zanjan. Fruits with uniform size and color and free of visible defects were immersed for 20 minutes in tryptophan solutions at 0 (control), 0.5, 1, and 2 mM (Sigma Chemical Co.) containing 0.01% Tween-20 as a surfactant. The experiment was conducted as a factorial arrangement based on a completely randomized design (CRD) with three replications per treatment combination. After air-drying, fruits were placed in polyethylene containers and stored at 1 ± 0.5 °C and 85-90% relative humidity. A comprehensive set of postharvest quality and biochemical attributes was evaluated after 0, 7, 14, 21, and 28 days of storage. For assessments on days 7-28, fruits were equilibrated at room temperature (20±1 °C) for 24 h before analysis to simulate market conditions. Day-0 measurements were performed on three freshly harvested, untreated fruits. The key quality parameters were assessed using established methods as follows: the stem browning index (SBI) was determined using a visual scoring method (Yang et al., 2019); stem chlorophyll content was measured spectrophotometrically according to Arnon (1967); total anthocyanin content (TAC) was quantified using the pH-differential method (Giusti and Wrolstad, 2001). Fruit color

Extended Abstract

Introduction

Sweet cherry (*Prunus avium* L.) is a popular stone fruit globally, prized for its desirable flavor, high nutritional value, and significant antioxidant properties (Nava-Ochoa et al., 2025). As a non-climacteric fruit with low ethylene production during ripening, it is highly perishable and has a short postharvest life (Blando and Oomah, 2019). This fruit faces substantial postharvest challenges due to its high respiration rate and susceptibility to fungal decay, leading to rapid quality losses such as reduced firmness, stem browning, and undesirable changes in color, flavor, and nutritional value during storage (Mujtaba et al., 2023). In recent years, the use of bioactive compounds to elicit defense responses has emerged as a sustainable postharvest strategy. Amino acids (AAs), as organic compounds and protein precursors, act as biostimulants that enhance plant metabolic efficiency and growth (Matysiak et al., 2020; Trovato et al., 2021). By scavenging reactive oxygen species (ROS) and maintaining cellular integrity, they can reinforce plant defense systems against environmental stresses. Among them, tryptophan (β-indolyl alanine), an aromatic amino acid biosynthesized via the shikimate pathway, has found extensive applications in food, medical, and agricultural industries (Xiao et al., 2023). In the postharvest context, exogenous application or endogenous accumulation of tryptophan has been linked to reduced chilling injury and fungal decay, delayed senescence, and quality preservation in fruits. These beneficial effects are largely attributed to its role as a precursor for key bioactive molecules such as melatonin, serotonin, auxin, and nicotinamide (NAD^+), which are involved in signaling regulation and strengthening plant defense mechanisms (Yuxiao et al., 2023; Aghdam and Arnao, 2024). Supporting evidence highlights the efficacy of tryptophan in various fruits. For example, a 100 µM tryptophan treatment in strawberries and blueberries increased endogenous melatonin and salicylic acid accumulation while reducing ethylene and abscisic acid production, thereby extending storability. Furthermore, by supplying necessary nitrogen for cell wall synthesis, tryptophan enhanced firmness in cherries and raspberries by reinforcing pectin, hemicellulose, and lignin structures (Arabia et al., 2025). Previous studies indicate that postharvest tryptophan application can preserve fruit quality by upregulating phenolic biosynthesis genes (e.g., CHS and PAL), increasing NAD^+/NADH and

These biochemical adjustments contributed to the preservation of key physicochemical and sensory attributes, including pH, titratable acidity, total soluble solids, flavor index, total soluble carbohydrates, and a significantly reduced incidence of stem browning. From a mechanistic perspective, the observed enhancement in antioxidant capacity and anthocyanin content can be attributed to tryptophan's role as a precursor for key signaling molecules. Tryptophan can enhance endogenous melatonin synthesis by upregulating genes such as TDC, T5H, SNAT, and ASMT (Madebo et al., 2021; Sharafi et al., 2021). Melatonin, a potent indoleamine with anti-senescence properties, subsequently stimulates the accumulation of phenolics, flavonoids, and anthocyanins by activating phenylalanine ammonia-lyase and chalcone synthase while suppressing polyphenol oxidase (Sharafi et al., 2021; Magri and Petriccione, 2022). Furthermore, tryptophan may elevate anthocyanin levels by upregulating key biosynthesis genes like DFR and UFGT (Miranda et al., 2020; Zhou and Zhang, 2024). Concurrently, tryptophan is implicated in stimulating endogenous salicylic acid (SA) production (Arabia et al., 2025). SA enhances plant tissue resistance by altering fruit physiology and boosting secondary metabolites, which likely contributed to delayed senescence and reduced stem browning in treated fruits. Thus, the combined action of tryptophan-derived melatonin and SA, along with a direct boost to the enzymatic antioxidant system (e.g., POD activity), effectively mitigated oxidative stress, preserving the overall quality and extending the marketable life of sweet cherries during cold storage. Therefore, the superior preservation of quality attributes in tryptophan-treated 'Tak Daneh' cherries, as evidenced by the biochemical and physical data, can be mechanistically linked to this multifaceted, elicitor-induced defense response.

Conclusion

Postharvest application of tryptophan at 2 mM is an effective, natural strategy for maintaining quality, extending shelf life, and enhancing the antioxidant defense system in sweet cherry during cold storage. This treatment mitigates oxidative damage by elevating proline, soluble proteins, peroxidase activity, and antioxidant and anthocyanin contents, thereby improving biochemical resilience and marketability of ‘Tak Daneh’ sweet cherry fruit.

coordinates (L^*, a^*, b^*, C^*, h°, ΔE) were obtained using a digital colorimeter (Lutron RGB-1002) with calculations based on standard formulas (Shahabi-Ghahafarrokhi et al., 2015; Mujtaba et al., 2023). Titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS), and pH were analyzed from fruit juice, and the flavor index was calculated as the TSS/TA ratio (Naser et al., 2018). Total soluble carbohydrates (TSC) were assayed using the anthrone method (Irigoyen et al., 1992). Proline content was determined via the ninhydrin assay (Sánchez et al., 2001). Total soluble protein (TSP) was quantified using the Bradford method (Bradford, 1976). Peroxidase (POD) activity was measured by monitoring guaiacol oxidation (Zhang et al., 2013). Total antioxidant capacity was evaluated based on DPPH radical scavenging activity (Dehghan and Khoshkam, 2012). Data were analyzed using SPSS (version 26) software. Analysis of variance (ANOVA) was performed, and mean separation was carried out using Duncan’s multiple range test at a significance level of $p < 0.05$. Graphs were prepared with Microsoft Excel 2019.

Results and Discussion

Analysis of variance (ANOVA) indicated that tryptophan treatment, storage duration, and their interaction significantly affected the stem browning index and most colorimetric and biochemical traits, including L^*, a^*, C^*, hue angle, ΔE, anthocyanin content (TAC), stem chlorophyll (TChl), pH, titratable acidity (TA), total soluble solids (TSS), total soluble carbohydrates (TSC), proline (Prol), total soluble protein (TSP), peroxidase (POD) activity, and total antioxidant capacity ($p < 0.01$). For the b^* coordinate, the main effect of tryptophan treatment was not significant, whereas both storage time and the treatment × storage interaction had a highly significant effect ($p < 0.01$). Moreover, the flavor index was significantly influenced by the interaction between tryptophan application and storage duration ($p < 0.05$). Consistent with these statistical findings, postharvest application of tryptophan, particularly at 2 mM, markedly strengthened the antioxidant defense system and alleviated oxidative damage in ‘Tak Daneh’ sweet cherries during cold storage. Fruits treated with 2 mM tryptophan exhibited higher levels of proline, total soluble protein, peroxidase activity, total antioxidant capacity, and total soluble anthocyanins, indicating improved metabolic adaptation to storage-induced stress.

پژوهش‌های صنایع غذایی

شاپا الکترونیکی: ۵۶۹۱-۲۶۷۶ ، شاپا چاپی ۵۱۵x- ۲۰۰۸

https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

تأثیر تیمار تریپتوفان بر حفظ بازارپسندی و افزایش عمر انبارمانی میوه گیلاس

نرمین کریمیان[۱]✉، فرهنگ رضوی[۲] و مرتضی سلیمانی اقدم[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۲] استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۳] دانشیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین

✉ مسئول مکاتبه: n.karimian@znu.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
علمی پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶
بازنگری: ۱۴۰۴/۱۱/۱۴
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۸

کلید واژه:
پراکسیداز، پرولین، ترکیبات زیست‌فعال سیستم رنگ‌سنجی CIELAB، کیفیت پس از برداشت

چکیده

زمینه مطالعاتی: میوه گیلاس به‌علت داشتن پوست نازک، سرعت تنفس بالا و فعال شدن مسیرهای اکسیداتیو، فسادپذیری زیادی در دوره پس از برداشت دارد. تریپتوفان به عنوان یک اسیدآمینه آروماتیک و پیش‌ساز ترکیبات زیست‌فعال، می‌تواند در تنظیم پاسخ‌های دفاعی و تأخیر در فرآیند پیری نقش مؤثری ایفا کند.

هدف: این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر تیمار پس از برداشت تریپتوفان بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی میوه گیلاس رقم «تک‌دانه» در شرایط انبار سرد انجام شد.

روش کار: این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل غلظت‌های مختلف تریپتوفان (صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار) و فاکتور دوم مدت زمان انبارمانی (۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز) بود. میوه‌ها پس از اعمال تیمار، در دمای ۱±۰/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند.

نتایج: نتایج نشان داد، که کاربرد تریپتوفان، به‌ویژه در غلظت ۲ میلی‌مولار، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش پرولین، پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم پراکسیداز، ظرفیت جاروب کنندگی رادیکال DPPH و آنتوسیانین کل شد. این تغییرات با حفظ اسیدیته و اسید کل، کنترل افزایش مواد جامد محلول و کربوهیدرات محلول کل، بهبود شاخص طعم و نیز کاهش شدت قهوه‌ای شدن دم میوه در طی دوره انبارمانی همراه بود.

نتیجه‌گیری کلی: به‌طور کلی، یافته‌ها نشان داد، که تریپتوفان می‌تواند با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو، به‌عنوان یک ماده زیست‌فعال و طبیعی برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت میوه گیلاس در شرایط انبار سرد مورد استفاده قرار گیرد.

DOI: 10.22034/FR.2026.70769.1984

OPEN ACCESS

CC BY NC

مقدمه

هدف اصلی فناوری‌های پس از برداشت، حفظ بهترین کیفیت ممکن از میوه‌ها و سبزیجات شامل: ظاهر، طعم، ارزش غذایی و بافت، به‌منظور کاهش تلفات و افزایش سلامت محصول از زمان برداشت تا مصرف است (شوفلت و پروسیا ۲۰۲۲). میوه گیلاس (*Prunus avium* L.) از میوه‌های هسته‌دار محبوب در جهان است و به‌دلیل طعم مطلوب، ارزش تغذیه‌ای بالا و خواص آنتی‌اکسیدانی قابل توجه، جایگاه ویژه‌ای در میان مصرف کنندگان دارد (ناوا–اوچوا و همکاران ۲۰۲۵). گیلاس از میوه‌های نافرازگرا با تولید اندک اتیلن در طی رسیدن است و به دلیل ماهیت فاسدشدنی آن، عمر پس از برداشت کوتاهی دارد (بلاندو و اوماه ۲۰۱۹). این میوه به دلیل سرعت تنفسی بالا و حساسیت به آلودگی‌های قارچی، در طول انبارداری با چالش‌های متعددی از جمله کاهش سفتی، قهوه‌ای شدن دم میوه، تغییرات نامطلوب در رنگ، طعم و ارزش غذایی مواجه است (مجتبی و همکاران ۲۰۲۳). رقم تک‌دانه به‌عنوان یکی از ارقام بومی و ارزشمند گیلاس در ایران شناخته می‌شود که دارای ویژگی‌های شاخصی از جمله اندازه بزرگ، سفتی بافت بالا، نسبت مطلوب گوشت به هسته و دیررسی است (بوذری و همکاران، ۱۴۰۱). این خصوصیات، میوه را در برابر آسیب‌های مکانیکی ناشی از مراحل برداشت، حمل‌ونقل و انبارداری مقاوم می‌سازد.

اسیدآمینه‌ها ترکیبات آلی و پیش‌ساز پروتئین‌ها هستند، که به عنوان محرک‌های زیستی، رشد و کارآیی متابولیکی گیاهان را بهبود می‌بخشند. همچنین، با کاهش گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و حفظ یکپارچگی سلولی، سیستم‌های دفاعی گیاه را در برابر تنش‌های محیطی را تقویت می‌کنند (ماتیسیاک و همکاران ۲۰۲۰؛ تراواتو و همکاران ۲۰۲۱). در میان این ترکیبات، تریپتوفان (بتا–ایندولیل‌آلانین) یک اسیدآمینه آروماتیک است، که از مسیر شیکیمات بیوسنتز می‌شود و مشتقات آن در صنایع غذایی، پزشکی و کشاورزی کاربرد گسترده‌ای یافته است (ژیائو و همکاران ۲۰۲۳). در دوره پس از برداشت، کاربرد بیرونی یا تجمع درونی تریپتوفان می‌تواند کاهش سرمازدگی و پوسیدگی قارچی، تأخیر در پیری و حفظ کیفیت میوه را به همراه داشته باشد. این اثرات عمدتاً به نقش تریپتوفان به‌عنوان پیش‌ساز مولکول‌های زیست‌فعال نظیر ملاتونین، سروتونین، اکسین و نیکوتین‌آمید (NAD^+) نسبت داده می‌شود که در تنظیم سیگنالینگ و تقویت سازوکارهای دفاعی گیاه نقش دارند (یوژیائو و همکاران ۲۰۲۳؛ اقدم و آرناو ۲۰۲۴). تیمار تریپتوفان در غلظت ۱۰۰ میکرومولار در میوه‌هایی مانند توت‌فرنگی[1] و بلوبری[2]، موجب افزایش ملاتونین درونی، تجمع اسیدسالیسیلیک، کاهش تولید اتیلن و اسیدآبسیزیک در نتیجه افزایش عمر انبارمانی شد. همچنین، تریپتوفان با تأمین نیتروژن لازم برای دیواره سلولی، باعث افزایش سفتی میوه‌هایی نظیر گیلاس و تمشک[3] از طریق تقویت ساختار پکتین، همی‌سلولز و لیگنین گردید (آرابیا و همکاران ۲۰۲۵). مطالعات پیشین نشان داده‌اند، که کاربرد پس از برداشت تریپتوفان می‌تواند با افزایش تجمع ترکیبات فنولی (تنظیم ژن‌های CHS و PAL)، افزایش سطح $NAD^+/NADH$ و $NADPH/NADP^+$ و نیز فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی (افزایش بیان ژن‌های SOD، CAT و APX)، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش داده و کیفیت میوه توت‌فرنگی را در طول مدت نگهداری حفظ کند (ژو و همکاران ۲۰۲۴). در انگور رومی قرمز[4]، محلول‌پاشی تریپتوفان (در غلظت‌های ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام) باعث افزایش رشد رویشی، کلروفیل کل، محتوی نیتروژن، فسفر، پتاسیم و منیزیم و همچنین بهبود شاخص‌های عملکرد، آنتوسیانین، فنول و قندهای محلول کل شد (الکناوی ۲۰۲۲). در گلابی رقم «Le-Conte»، تیمار قبل از برداشتی تریپتوفان (۱۰۰ پی‌پی‌ام) بیشترین درصد تشکیل میوه، عملکرد، وزن میوه، شاخص‌های رنگ L^* و a^* پوست، مواد جامد محلول کل (TSS)، کربوهیدرات محلول کل، فنول کل و محتوی کل اسیدآمینه‌ها را ایجاد کرد (خدر ۲۰۱۸)، همچنین در ادامه‌ی همین پژوهش، نگهداری میوه‌های تیمار شده در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ هفته نشان داد، که تریپتوفان موجب حفظ TSS و کاهش اُفت

1. *Fragaria x ananassa* cv. Albion
2. *Vaccinium corymbosum* cv. Duke
3. *Rubus idaeus* cv. Driscoll
4. Red Roumy grapevines (*Vitis vinifera* L.)

کیفیت در دوره انبارمانی شد (خدر ۲۰۱۹). همچنین گزارش‌ها نشان می‌دهند، که تریپتوفان با تقویت بیان ژن‌های مرتبط با بیوسنتز اسیدسالیسیلیک و مسیرهای انتقال آن، متابولیسم قند، مسیر اسیدشیکیمیک، فاکتورهای رونویسی MYB و مسیر بیوسنتز فنیل‌پروپانوئید، مقاومت به بیماری را در مرکبات انبار شده در حضور *Metschnikowia citriensis* افزایش می‌دهد (ژانگ و همکاران ۲۰۲۴). به‌طور کلی، تریپتوفان با تقویت وضعیت تغذیه‌ای و آنتی‌اکسیدانی و تأخیر در پیری سلولی، می‌تواند نقش مؤثری در بهبود کیفیت و پایداری میوه‌ها طی انبارداری داشته باشد. با این حال، اطلاعات موجود درباره تأثیر تریپتوفان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بازارپسندی میوه گیلاس محدود است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف تریپتوفان بر ویژگی‌های ظاهری و عمر انبارمانی میوه گیلاس در شرایط سردخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر روی میوه‌های گیلاس رقم «تک‌دانه» (*Prunus avium* L. cv. Tak Daneh) برداشت شده در مرحله رسیدگی تجاری در خردادماه سال ۱۴۰۲ انجام شد. نمونه‌ها از درختان دوازده ساله در یک باغ واقع در شهرستان سقز (استان کردستان) تهیه و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه علوم باغبانی دانشگاه زنجان انتقال یافتند. میوه‌هایی که از نظر رنگ و اندازه یکنواخت بودند، به مدت ۱۰ دقیقه در محلول تریپتوفان (ساخت شرکت سیگما) با غلظت‌های صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار حاوی دو قطره توین ۲۰ غوطه‌ور شدند. میوه‌ها پس از خشک شدن در دمای محیط، در داخل ظروف پلی‌اتیلنی (هر نمونه حاوی ۲۰ میوه گیلاس) قرار داده شد و به سردخانه با دمای ۱±۰/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد انتقال یافت. میوه‌های گیلاس تیمار شده در قالب ۴۸ واحد آزمایشی بوده و نمونه‌برداری در فواصل زمانی ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز پس از انبارمانی انجام شد. در هر مرحله، میوه‌ها پس از خروج از سردخانه و نگهداری به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط، جهت ارزیابی صفات مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور مقایسه تغییرات ناشی از انبارمانی، سه نمونه از میوه‌های تازه برداشت شده (بدون تیمار و بدون نگهداری سردخانه‌ای) به عنوان زمان صفر بررسی شد.

شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه

برای کمی‌سازی پدیده قهوه‌ای شدن دم میوه‌های گیلاس، از روش نمره‌دهی استفاده گردید (یانگ و همکاران ۲۰۱۹). در این روش برای تعیین شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه‌ی گیلاس نمره صفر برای نمونه کامل سبز (کیفیت عالی)، میزان قهوه‌ای شدن دم میوه ۱ تا ۲۵ درصد (سطح ۱)، میزان قهوه‌ای شدن دم میوه ۲۶ تا ۵۰ درصد (سطح ۲)، میزان قهوه‌ای شدن دم میوه بیشتر از ۵۰ درصد (سطح ۳) اختصاص یافت. سپس درصد شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه گیلاس از طریق فرمول زیر محاسبه شد:

[۱]

$$\text{Stem Browning Index (\%)} = \sum [(\text{Level of browning}) \times \text{Number of fruits with symptoms}] / (4 \times \text{Total number of fruits per treatment}) \times 100$$

کلروفیل دم میوه‌ی گیلاس

برای سنجش کلروفیل کل در دم میوه، ۰/۱ گرم نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد همگن و سانتریفیوژ گردید. جذب نوری محلول رویی در دو طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر در اسپکتروفتومتر مدل SAFAS MONACO (RS 232) اندازه‌گیری و غلظت کلروفیل کل با استفاده از فرمول زیر بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد (آرنون ۱۹۶۷).

[۲]

$$\text{Total Chlorophyll} = [(20.2 \times A645) + (8.02 \times A663)] \times V / (W \times 100)$$

بر اساس این فرمول A، جذب نوری نمونه؛ V، حجم محلول بر حسب میلی‌لیتر و W نیز وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

محتوی آنتوسیانین کل

برای سنجش آنتوسیانین کل از روش اختلاف pH استفاده شد. در این روش، ۲ گرم بافت میوه با متانول ۸۰ درصد همگن شد. سپس دو محلول حاوی ۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی رویی به‌طور جداگانه یکی با بافر کلریدپتاسیم (pH=۱) و دیگری با بافر استات‌سدیم (pH=۴/۵) رقیق شدند. اختلاف جذب نوری در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر برای هر دو محلول اندازه‌گیری و غلظت آنتوسیانین کل بر حسب میلی‌گرم سیانیدین-۳-

گلوکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تازه محاسبه گردید (جیوستی و رولستد ۲۰۰۱).

رنگ‌سنجی میوه

تعیین ویژگی‌های رنگی میوه‌های گیلاس با به‌کارگیری یک رنگ‌سنج دیجیتال رنگ مدل (Lutron RGB-1002) انجام شد. شاخص هانتر (L^*)، برای روشنایی رنگ (L=۰ برای سیاه و L=۱۰۰ برای سفید)، (a^*)، برای سبزی تا قرمزی رنگ (a= −۶۰ برای سبز و a= +۶۰ برای قرمز) و (b^*)، برای رنگ آبی تا زرد (b= −۶۰ برای آبی و b= +۶۰ برای زرد)، اختلاف رنگ کل (ΔE) نیز نسبت به میوه‌های زمان صفر، خلوص رنگ (C^*) و زاویه هیو (h°) (شهابی قه‌فرخی و همکاران ۲۰۱۵؛ مجتبی و همکاران ۲۰۲۳) با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه گردید:

[۳]

$$\Delta E = [(L^*-L^*_0)^2 + (a^*-a^*_0)^2 + (b^*-b^*_0)^2]^{1/2}$$

[۴]

$$Chroma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

[۵]

$$Hue = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

اسیدیته (pH) عصاره‌ی میوه، اسید قابل تیتراسیون (TA)، مواد جامد محلول کل (TSS) و شاخص طعم (TSS/TA):

اسیدیته (pH) عصاره‌ی میو، به‌وسیله pH متر دیجیتالی اندازه‌گیری شد. درصد اسید قابل تیتراسیون، با روش تیتر کردن با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال به وسیله‌ی دستگاه بورت دیجیتالی مدل (RudolfBRAND) به دست آمد. میزان مواد جامد محلول به وسیله‌ی دستگاه فام‌نگار دستی مدل (ARB0-45) در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری و بر حسب درجه بریکس گزارش شد (نصر و همکاران ۲۰۱۸). شاخص طعم نیز از تقسیم عدد مواد جامد محلول کل بر اسید قابل تیتراسیون به دست آمد.

کربوهیدرات محلول کل

تعیین غلظت کربوهیدرات‌های محلول کل بر اساس روش معرف آنترون انجام گرفت. مقدار ۰/۵ گرم از بافت میوه گیلاس با ۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد همگن شد. سپس، ۱ میلی‌لیتر از عصاره‌ی رویی با ۳ میلی‌لیتر آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون + ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوریک‌اسید ۷۲ درصد) مخلوط شد. پس از قرارگیری در حمام آب ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و تشکیل ماده‌ی رنگی، جذب نوری نمونه‌ها با اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و بر اساس میلی‌گرم در گرم وزن تازه بیان شد (ایریگوین و همکاران ۱۹۹۲).

محتوی پرولین

غلظت پرولین با روش نین‌هیدرین سنجش شد. بدین منظور، ۱ گرم بافت میوه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک‌اسید ۳ درصد همگن و سانتریفیوژ گردید. ۲ میلی‌لیتر از عصاره، با معرف نین‌هیدرین مخلوط و به مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از افزودن تولوئن و سانتریفیوژ کردن ترکیب به‌دست آمده، جذب نوری فاز رنگی در ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار پرولین بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر از منحنی استاندارد پرولین محاسبه گردید (سانچز و همکاران ۲۰۰۱).

پروتئین محلول کل و فعالیت آنزیم پراکسیداز

استخراج پروتئین و آنزیم پراکسیداز از یک گرم بافت گیلاس منجمد با افزودن ۳ میلی‌لیتر بافر فسفات‌پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۸) و سانتریفیوژ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انجام شد. عصاره رویی، به عنوان منبع آنزیمی جمع‌آوری گردید. محتوی پروتئین کل به روش برادفورد و با رسم منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی تعیین شد (برادفورد ۱۹۷۶). سنجش فعالیت پراکسیداز نیز در مخلوط واکنش حاوی گایاکول، بافر فسفات‌پتاسیم و پراکسیدهیدروژن انجام و با اندازه‌گیری افزایش جذب در ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و بر حسب واحد بر میلی‌گرم پروتئین محاسبه گردید (ژانگ و همکاران ۲۰۱۳).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH)

برای ارزیابی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از روش، DPPH استفاده شد نمونه‌ای به وزن ۱ گرم از بافت تازه میوه گیلاس توزین و با ۸ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد همگن گردید و عصاره به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سنجش نهایی بر پایه روش مهار رادیکال آزاد DPPH انجام شد. میزان جذب نوری در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت و به صورت

درصد مهار (DPPHsc%) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (دهقان و خوشکام ۲۰۱۲).

[۶]

Inhibition of DPPH =
(Abs Control-Abs sample) / (Abs control) × 100

تجزیه و تحلیل آماری:

طرح آزمایشی به کار گرفته شده در این تحقیق، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. تجزیه و تحلیل آماری با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. برای بررسی تغییرات رنگ از نرم‌افزار Adobe Photoshop 2023 و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2019 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱، شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه گیلاس به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها قرار گرفت ($p < ۰/۰۱$). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، که شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه در طی دوره انبارمانی در تمام نمونه‌های شاهد و تیمار شده افزایش یافت، اما تیمار تریپتوفان به‌طور معنی‌داری از افزایش بیش از حد این شاخص جلوگیری کرد؛ به‌طوری که در پایان دوره انبارمانی تیمار تریپتوفان در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار به ترتیب موجب کاهش ۳۱، ۳۸ و ۶۹ درصدی شاخص قهوه‌ای شدن دم میوه نسبت به نمونه‌های شاهد شد (جدول ۳). به‌طور کلی، ظاهر و رنگ میوه از مهم‌ترین پارامترهای کیفی آن به‌شمار می‌آیند و بر بازارپسندی و مقبولیت آن نزد مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد (یانگ و همکاران ۲۰۲۳). طی دوره انبارمانی، تسریع فرآیند پیری در میوه‌های گیلاس موجب افزایش قهوه‌ای شدن دم میوه می‌شود؛ پدیده‌ای که به عنوان یکی از مشکلات عمده پس از برداشت، تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت ظاهری و بازارپسندی این میوه دارد (میراندا و همکاران ۲۰۲۰؛ شرفی و همکاران ۲۰۲۱). کاربرد پس از برداشت تریپتوفان می‌تواند از طریق مکانیسم‌های مختلفی از جمله: الف) افزایش بیان ژن‌های تریپتوفان‌دکربوکسیلاز (TDC)، تریپتامین۵-هیدروکسیلاز (T5H)، سروتونینN-استیل‌ترانسفراز (SNAT) و N-استیل‌سروتونین‌متیل‌ترانسفراز (ASMT) و در نهایت تجمع ملاتونین درونی (مادبو و همکاران ۲۰۲۱؛ شرفی و همکاران ۲۰۲۱)؛ ب) تنظیم سنتز اکسین و اتیلن (سهیل و همکاران ۲۰۲۱)؛ ج) تحریک تولید اسیدسالیسیلیک درونی (آرابیا و همکاران ۲۰۲۵) به کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در میوه کمک کند. از آنجا که ملاتونین یک هورمون ایندول‌آمین با خواص قوی ضدپیری و آنتی‌اکسیدانی است، می‌تواند به‌عنوان یک مولکول سیگنال دهنده عمل کند (پانگ و همکاران ۲۰۲۳؛ ورده و همکاران ۲۰۲۳)، علاوه بر این، اسیدسالیسیلیک با تغییر در فیزیولوژی میوه و افزایش متابولیت‌های ثانویه در بافت‌های گیاهی، سطح مقاومت اندام‌های گیاهی را بهبود می‌بخشد (پراساد و شارما ۲۰۱۸)، به نظر می‌رسد که تریپتوفان از این طریق موجب تأخیر در فرآیند پیری و کاهش بروز قهوه‌ای شدن دم میوه شده است. علاوه بر این، در تأیید نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است، که تریپتوفان موجب مهار پیری در کلم بروکلی (سهیل و همکاران ۲۰۲۱) و کاهش درصد پوسیدگی در میوه‌های توت‌فرنگی و بلوبری (آرابیا و همکاران ۲۰۲۵) شده است.

کلروفیل دم میوه

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱ نشان داد، اثر تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها بر کلروفیل کل دم میوه گیلاس در سطح یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، که با افزایش زمان نگهداری، میزان کلروفیل دم میوه در نمونه‌های شاهد و تیمار شده روند کاهشی داشت؛ به‌طوری که در پایان دوره انبارمانی، نمونه‌های شاهد به کمترین مقدار خود (۰/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) رسیدند. همچنین، تمامی غلظت‌های تریپتوفان، به‌ویژه ۲ میلی‌مولار، به‌طور مؤثری از کاهش کلروفیل دم میوه جلوگیری کرده و آن را نسبت به نمونه‌های شاهد حفظ کردند (جدول ۳). محتوی کلروفیل در دم میوه یکی از عوامل کلیدی تعیین کننده تازگی و عملکرد فیزیولوژیکی گیلاس محسوب می‌شود (ژائو و همکاران ۲۰۲۱). به نظر می‌رسد که افزایش سنتز ملاتونین و نقش آن در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و مهار گونه‌های فعال اکسیژن (وانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ اقدام و آرناو ۲۰۲۴)، از بروز آسیب اکسیداتیو به مولکول‌های کلروفیل جلوگیری می‌کند. همچنین، تریپتوفان به عنوان پیش‌ساز ترکیبات هورمونی مانند ایندول‌استیک‌اسید، می‌تواند فرآیند پیری میوه را به تأخیر انداخته و محتوی کلروفیل را از طریق کاهش بیان ژن PAO حفظ کند (وِی و همکاران ۲۰۱۸). این محافظت چندجانبه، موجب حفظ ساختار غشای سلولی و جلوگیری از تخریب کلروفیل در دم میوه گیلاس می‌شود.

بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین، استفاده از تیمار تریپتوفان در غلظت‌های مختلف موجب بهبود کلروفیل کل در برگ گیاهان توت‌فرنگی (ایانث و همکاران ۲۰۲۴) و سیب رقم آنا (موسا و همکاران ۲۰۲۱) شد.

آنتوسیانین کل

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۱، اثر تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها بر آنتوسیانین کل میوه در سطح یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، که در طول دوره انبارمانی، میزان آنتوسیانین در میوه‌های شاهد و تیمار شده افزایش یافت و تیمارهای تریپتوفان این روند را به‌طور معنی‌داری سرعت بخشیدند، به‌طوری که بیشترین اثرگذاری مربوط به تیمار ۲ میلی‌مولار تریپتوفان بود، هرچند در برخی زمان‌ها تیمار ۱ میلی‌مولار نیز تفاوت معنی‌داری با آن نداشت (جدول ۴). آنتوسیانین‌ها با داشتن گروه‌های هیدروکسیل فنولیِ فعال، قادر به اهدا کردن هیدروژن یا الکترون هستند و می‌توانند واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال‌های آزاد و پراکسیداسیون لیپیدها را مهار کنند؛ بنابراین، این ترکیبات از خاصیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی برخوردارند (ژو و همکاران ۲۰۱۷). اسیدآمینه تریپتوفان با تحریک تولید ملاتونین، که خود منجر به تجمع فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها و افزایش پتانسیل آنتی‌اکسیدانی آنها از طریق فعال‌سازی فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز و چالکون‌ستاز و سرکوب پلی‌فنول‌اکسیداز می‌شود (شرفی و همکاران ۲۰۲۱؛ ماگری و پتریکچونه ۲۰۲۲)، همچنین با افزایش بیان دو ژن کلیدی در مراحل پایانی بیوسنتز آنتوسیانین، یعنی DFR و UFGT، سطح آنتوسیانین را افزایش می‌دهد (میراندا و همکاران ۲۰۲۰؛ ژو و ژانگ ۲۰۲۴). علاوه بر این، تریپتوفان با افزایش اسیدسالیسیلیک و در نهایت افزایش تجمع ترکیبات فنولی (آرابیا و همکاران ۲۰۲۵) سبب تقویت مکانیسم‌های حفاظتی میوه در دوره پس از برداشت می‌شود. محلول‌پاشی ال-تریپتوفان (۵۰ و ۱۰۰ پی‌پی‌ام) در گیاه چای ترش موجب افزایش محتوی آنتوسیانین و کلروفیل کل شد (جندی و نصیر ۲۰۱۶).

شاخص روشنایی (L^*)، شاخص قرمزی (a^*) و شاخص زردی (b^*)

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، که صفات رنگ‌سنجی میوه شامل: L^*، a^*، C^*، h°، ΔE به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند. همچنین، اثر ساده تیمار تریپتوفان بر شاخص b^* معنی‌دار نبوده، در حالی که، اثر ساده زمان انبارمانی و اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی در سطح احتمال یک درصد بر این شاخص معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$) (جدول ۱). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها در جدول ۳، کاهش شاخص L^*، در طول دوره انبارمانی نشان دهنده تیره‌تر شدن پوست میوه گیلاس و اُفت کیفیت ظاهری آن بود. تیمارهای تریپتوفان، به ویژه در غلظت ۱ و ۲ میلی‌مولار شاخص روشنایی میوه را در تمامی زمان‌های نمونه‌برداری به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد حفظ نمود. این یافته حاکی از آن است، که تریپتوفان نقشی مؤثر در حفظ شفافیت، تازگی و ظاهر براق میوه گیلاس طی دوره انبارمانی ایفا کرده است. همچنین، نتایج مقایسه میانگین شاخص قرمزی (a^*) نشان داد، که در طول دوره انبارمانی قرمزی پوست گیلاس کاهش یافته و رنگ میوه به سمت تیرگی متمایل شده است؛ در حالی‌که تیمار تریپتوفان در تمامی غلظت‌ها، توانستند، قرمزی مطلوب میوه را بهتر حفظ کرده و از اُفت کیفیت ظاهری جلوگیری کند. نتایج مربوط به شاخص زردی (b^*) نیز نشان داد، که نمونه‌های گیلاس به تدریج رنگ قرمز خود را از دست داده و به سمت رنگ‌های نامطلوب (قهوه‌ای- زرد) متمایل شدند. بیشتر غلظت‌های تریپتوفان از افزایش شاخص زردی (b^*) در طول دوره انبارمانی جلوگیری کردند.

خلوص رنگ (C^*)، زاویه هیو (h°) اختلاف رنگ کل (ΔE)

نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها در جدول ۳ نشان داد، که کاربرد تریپتوفان موجب حفظ خلوص رنگ (C^*) در مقایسه با تیمار شاهد شد، هر چند این تفاوت‌ها در برخی زمان‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. با این حال، در پایان دوره انبارمانی، اختلاف معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد، مشاهده شد، که بیانگر نقش تریپتوفان در جلوگیری نسبی از کاهش خلوص رنگ و حفظ تازگی میوه است. بیشتر غلظت‌های تریپتوفان از افزایش زاویه هیو (h°) در طول دوره انبارمانی جلوگیری کرده و با کاهش تنش اکسیداتیو در سطح پوست، به حفظ رنگ قرمز طبیعی گیلاس در طی دوره انبارمانی کمک کردند. همچنین نتایج نشان داد، که تیمار شاهد بیشترین اختلاف رنگ (ΔE) را در طول دوره انبارمانی تجربه کرد، در حالی‌که کاربرد تریپتوفان، به ویژه در غلظت ۲ میلی‌مولار، این تغییرات را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. اختلاف معنی‌دار بین شاهد و تیمارهای تریپتوفان، به ویژه در روزهای پایانی انبارمانی، نشان می‌دهد، که می‌دهد که تریپتوفان توانسته است سرعت تخریب رنگ‌دانه‌ها را کاهش داده و کیفیت ظاهری میوه گیلاس را بهتر حفظ کند. رنگ پوست گیلاس که عمدتاً به نوع و میزان آنتوسیانین وابسته است، با افزایش محتوی این رنگدانه تیره‌تر می‌شود و نوسانات دمایی می‌تواند این تغییر رنگ از قرمز روشن به قرمز تیره را تسریع کند (شین و همکاران ۲۰۲۱). خلوص رنگ (C^*) شاخصی کمی، برای سنجش شدت و اشباع رنگ میوه است که با

محتوی آنتوسیانین در گیلاس همبستگی معکوس دارد (میراندا و همکاران ۲۰۲۰). علاوه بر این، یافته‌ها نشان می‌دهد، که شاخص‌های رنگی L^*، a^* و b^* در طی انبارمانی کاهش می‌یابند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۵). در پژوهش حاضر نیز، طی دوره انبارمانی، در میوه‌های شاهد و تیمار شده با تیمار تریپتوفان، تیره‌تر شدن پوست گیلاس با کاهش مقادیر L^*، a^*، C^* و در نهایت افزایش h° و ΔE مشاهده شد. تریپتوفان با ایفای نقش در مسیرهای متابولیکی مرتبط با سنتز ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی مانند ملاتونین و ایندول‌استیک‌اسید (میراندا و همکاران ۲۰۲۰؛ پانگ و همکاران ۲۰۲۳) موجب تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، کاهش اکسیداسیون رنگدانه‌ها و حفظ یکپارچگی غشا می‌شود؛ فرآیندی که در مجموع از کاهش بیش از حد شاخص‌های رنگی مانند L^* و a^* جلوگیری کرده و حفظ رنگ و تازگی گیلاس را در دوره پس از برداشت بهبود می‌بخشد. در تأیید این نتایج، در مطالعه‌ای روی گلابی رقم «Le-Conte» محلول‌پاشی قبل از برداشت با تریپتوفان در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقادیر شاخص‌های رنگی L^* و a^* پوست میوه نسبت به نمونه‌های شاهد به دست آمد (خدر ۲۰۱۸).

اسیدیته عصاره میوه و اسید قابل تیتراسیون

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آنها بر اسیدیته عصاره میوه و اسید قابل تیتراسیون در سطح ۱ درصد معنی‌دار بودند ($p < ۰/۰۱$). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش مدت انبارمانی، pH عصاره میوه گیلاس افزایش یافت، بیشترین مقدار pH آب میوه (۵/۹۲) در نمونه‌های شاهد پس از ۲۸ روز انبارمانی مشاهده شد؛ در حالی‌که در همین زمان، نمونه‌های تیمار شده با تریپتوفان ۱ میلی‌مولار دارای pH برابر با ۵/۰۷ بودند که این اختلاف نسبت به نمونه‌های شاهد از نظر آماری معنی‌دار بود. درصد اسید قابل تیتراسیون در زمان صفر ۱/۵۸ درصد گزارش شد و با افزایش مدت نگهداری، روند کاهشی نشان داد. در تمامی زمان‌های انبارمانی، تیمار تریپتوفان به‌طور معنی‌داری از کاهش درصد اسید قابل تیتراسیون نسبت به نمونه‌های شاهد جلوگیری کرد. کمترین مقدار اسید قابل تیتراسیون (۰/۶۹ درصد) در نمونه‌های شاهد پس از ۲۸ روز مشاهده شد، در حالی‌که در همین زمان، نمونه‌های تیمار شده با تریپتوفان ۲ میلی‌مولار دارای ۰/۹۹ درصد اسید قابل تیتراسیون بودند که این تفاوت نیز از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). اسیدیته و اسید قابل تیتراسیون میوه، به‌عنوان پارامترهای مهم کیفیت، بیانگر میزان رسیدگی و محتوی اسیدهای آلی اصلی موجود در گیلاس، از جمله اسیدمالیک و اسیدسیتریک، هستند که نقش تعیین‌کننده‌ای در طعم و مزه میوه دارند (ژائو و همکاران ۲۰۱۹؛ یانگ و همکاران ۲۰۲۳).

Table 1- ANOVA result for the effect of tryptophan post-harvest treatment on some traits of sweet cherry fruit during storage at 1 ± 0.5°C for 28 days.

		(Mean Square)								
S.O.V.	DF	Stem browning index	Stem chlorophyll	Total anthocyanin	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE
Tryptophan(T)	3	1589.41**	0.129**	817.11**	37.85**	14.53**	0.56^{ns}	8.29**	603.06**	21.66**
Time (T)	3	843.58**	0.007**	871.02**	18.08**	25.58**	5.06**	3.80**	1442.50**	3.39**
T × T	9	60.71**	0.001**	45.38**	7.47**	12.40**	7.50**	10.58**	630.07**	3.38**
Error	34	2.02	0.0002	1.37	0.60	0.63	0.67	0.62	0.83	0.59
CV (%)	_	8.38	3.36	4.01	3.95	18.42	16.06	11.26	1.79	5.88

**, * and ns significantly different at 1 %, 5% and no significant difference, respectively.

Table 2- ANOVA result for the effect of tryptophan post-harvest treatment on some traits of sweet cherry fruit during storage at 1 ± 0.5°C for 28 days.

		(Mean Square)								
S.O.V.	DF	pH	Titratable acidity	Total soluble solids	Total soluble carbohydrates	TSS/TA	Proline	Total soluble protein	POD	DPPH
Tryptophan(T)	3	0.406**	0.409**	17.84**	44.52**	250.88**	0.072**	0.561**	7.50**	775.02**
Time (T)	3	0.664**	0.186**	7.56**	40.39**	65.46**	0.067**	0.214**	9.30**	358.86**
T × T	9	0.102**	0.014**	0.24**	0.73**	0.87*	0.007**	0.017**	1.12**	22.45**
Error	34	0.003	0.002	0.03	0.17	0.35	0.0004	0.001	0.01	0.40
CV (%)	_	1.02	3.84	1.08	3.26	3.85	11.80	1.37	3.85	0.78

**, * and ns significantly different at 1 %, 5% and no significant difference, respectively.

Table 3- The interaction effect of tryptophan post-harvest treatment × different storage times on some traits of sweet cherry fruit during storage at 1 ± 0.5°C for 28 days.

Storage time	Trp (mM)	Stem browning index (%)	Stem chlorophyll (mg g-1 FW)	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE
0 day	---	0	0.64	26.33	14	11	17.81	39	0
7 days	0	20 f	0.29 i	17.67 f	4.67 cde	4.33 def	6.38 efg	46 hi	14.79 bcd
	0.5	6.67 ij	0.40 fg	20.33 bc	5 cde	5.33 bcd	7.36 c-f	47 gh	12.59 ghi
	1	5 jk	0.45 d	22.67 a	2 hi	6 abc	6.39 efg	71.33 b	13.74 d-g
	2	3.33 k	0.58 a	19.33 b-e	7.33 ab	6 abc	9.52 a	39.33 j	11.37 i
14 days	0	33.33 c	0.28 ij	19 c-f	1.33 i	5.33 bcd	5.51 g	61.33 e	16.03 ab
	0.5	10 h	0.39 g	19.67 bcd	3.67 efg	7 a	7.94 bcd	62 e	13.32 efg
	1	8.33 hi	0.44 de	23.33 a	1.33 i	6 abc	6.15 fg	77.67 a	14.14 c-f
	2	5 jk	0.53 b	23 a	2.33 ghi	5 cde	5.52 g	65 d	13.75 d-g
21 days	0	38.33 b	0.27 ij	16 g	4 def	6.67 ab	7.79 b-e	59.67 f	15.49 bc
	0.5	25 e	0.36 h	18.67 def	6 bc	3 fg	6.72 d-g	26 l	14.08 c-f
	1	10 h	0.41 ef	19 c-f	6 bc	6 abc	8.54 abc	45 i	12.43 ghi
	2	6.67 ij	0.49 c	22.67 a	3 fgh	2.33 g	3.89 h	39 j	14.69 b-e
28 days	0	43.33 a	0.26 j	18 ef	1.33 i	3.67 efg	3.92 h	69 c	17.19 a
	0.5	30 d	0.35 h	16.33 g	7.33 ab	5.33 bcd	9.09 ab	36.33 k	13.81 d-g
	1	26.67 e	0.41 fg	18.67 def	8 a	3.33 fg	8.70 abc	23 m	12.86 fgh
	2	13.33 g	0.48 c	20.67 b	5.33 cd	6 abc	8.07 a-d	48.33 g	11.89 hi

Note: Data correspond to the means and different small letters in each parameter show significant difference using Duncan's multiple range test.

Table 4- The interaction effect of tryptophan post-harvest treatment × different storage times on some traits of sweet cherry fruit during storage at 1 ± 0.5°C for 28 days.

Storage time	Trp (mM)	Total anthocyanin (mg100 g-1 FW)	pH	Titratable acidity (%)	Total soluble solids (% Brix)	Total soluble carbohydrates (mg g-1 FW)	TSS/TA
0 day	---	11.55	4.68	1.58	12.70	5.44	8.08
7 days	0	13.79 l	4.80 h	0.80 h	15.93 c	13.61 cd	19.72 d
	0.5	20.88 j	4.85 gh	1.19 c	13.90 g	10.42 hi	11.63 jk
	1	22.55 ij	4.81 h	1.27 b	13.47 h	10.27 hi	10.65 k
	2	23.71 i	4.81 h	1.47 a	12.57 i	9.99 i	8.59 l
14 days	0	16.17 k	5.02 ef	0.77 hi	16.20 b	14.15 c	20.92 c
	0.5	26.26 h	4.91 g	1.08 de	14.07 g	10.92 gh	13.01 i
	1	30.13 g	4.85 gh	1.13 cd	13.63 h	10.68 hi	12.02 j
	2	31.45 fg	4.85 gh	1.16 c	12.77 i	10.53 hi	10.97 k
21 days	0	18.02 k	5.54 b	0.73 ij	16.23 b	18.79 a	22.29 b
	0.5	32.77 ef	5.04 de	0.97 fg	14.70 f	15.16 b	15.13 fg
	1	34.30 de	5.01 ef	1.02 efg	14.60 f	13.64 cd	14.31 gh
	2	35.74 d	4.94 fg	1.04 ef	14.17 g	13.10 de	13.58 hi
28 days	0	20.99 j	5.92 a	0.69 j	17.30 a	15.51 b	25.27 a
	0.5	42.25 c	5.25 c	0.96 g	15.53 d	12.60 ef	16.16 e
	1	46.82 b	5.07 de	0.99 fg	15.20 e	12.20 f	15.41 ef
	2	51.65 a	5.12 d	0.99 fg	14.80 f	11.51 g	15.06 fg

Note: Data correspond to the means and different small letters in each parameter show significant difference using Duncan's multiple range test.

سرعت بالای تنفس میوه گیلاس طی دوره نگهداری، تبدیل نشاسته و اسیدهای آلی به قندها را تسریع کرده و باعث افزایش pH و کاهش اسید قابل تیتراسیون می‌شود. کاهش اسیدهای آلی، در اثر فرآیند تنفس، بازتاب تغییرات متابولیکی پس از برداشت بوده و بر کیفیت و ماندگاری میوه اثرگذار است (چولاک و همکاران ۲۰۲۵). به‌طور کلی، تیمار تریپتوفان با کاهش شدت تنفس و کمک به حفظ ذخیره اسیدهای آلی، از افزایش بیش از حد pH جلوگیری کرده و اُفت اسید قابل تیتراسیون را در طول دوره انبارمانی به‌طور مؤثری به تأخیر انداخت.

مواد جامد محلول کل و کربوهیدارت محلول کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آن‌ها بر مواد جامد محلول کل و کربوهیدرات محلول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند ($p < ۰/۰۱$). بر اساس نتایج، مقدار مواد جامد محلول کل در زمان صفر ۱۲/۷ درجه بریکس ثبت شد و با افزایش مدت انبارمانی روند افزایشی نشان داد. تمامی تیمارهای تریپتوفان این افزایش را به‌طور مؤثری کاهش دادند، به‌طوری که بیشترین اثرگذاری مربوط به غلظت ۲ میلی‌مولار بود و تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. مقدار کربوهیدرات محلول کل در طول دوره انبارمانی تا نمونه‌برداری سوم (۲۱ روز) افزایش یافت و پس از آن روند کاهشی نشان داد. بیشترین مقدار کربوهیدرات محلول کل در نمونه‌های شاهد پس از ۲۱ روز برابر با ۱۸/۷۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه گزارش شد. به‌طور کلی، تیمارهای تریپتوفان، به‌ویژه در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار، از تجمع بیش از حد کربوهیدرات‌های محلول کل جلوگیری کرده و در تمامی زمان‌ها تفاوت معنی‌داری با نمونه‌های شاهد داشتند (جدول ۴). افزایش شدت تنفس در طول فرآیند پیری، با تسریع تبدیل کربوهیدرات‌ها به قندها و سایر ترکیبات محلول، موجب افزایش تجمع TSS طی دوره انبارمانی می‌شود (ایلا و همکاران ۲۰۲۴). در این پژوهش، کاربرد تریپتوفان توانست روند افزایش غلظت کربوهیدرات محلول کل در میوه گیلاس طی نگهداری سردخانه‌ای را کاهش دهد. از آنجایی که تریپتوفان پیش‌ساز هورمون ایندول‌استیک‌اسید بوده و نقش مهمی در تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها ایفا می‌کند (سهیل و همکاران ۲۰۲۱) این ماده با حفظ تعادل بین تولید و مصرف قندهای محلول از تجزیه سریع کربوهیدرات‌ها جلوگیری می‌کند. مطابق با نتایج این پژوهش، محلول‌پاشی پیش از برداشت گلابی رقم «Le-Conte» با تریپتوفان در غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام و نگهداری میوه‌ها در دمای صفر درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ هفته موجب حفظ TSS و کاهش اُفت کیفیت در دوره انبارمانی شد (خدر ۲۰۱۹).

شاخص طعم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، که اثر ساده تیمار تریپتوفان و زمان انبارمانی بر شاخص طعم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر متقابل آن‌ها بر شاخص طعم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار قرار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها در جدول ۴ نشان داد، که شاخص طعم در طول دوره انبارمانی افزایش یافته و در پایان دوره (۲۸ روز) به بیشترین مقدار خود (۲۵/۲۷) رسید. تیمارهای تریپتوفان، به‌ویژه در غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌مولار، این شاخص را به‌طور معنی‌داری در تمامی زمان‌ها حفظ کردند. یکی از مهم‌ترین کاهش‌های کیفیت پس از برداشت گیلاس در طول دوره نگهداری طولانی، از دست رفتن طعم خاص میوه است. طعم گیلاس با تعادل بین قندها، اسیدهای آلی و ترکیبات فرار تعیین می‌شود (مجتبی و همکاران ۲۰۲۳). بر این اساس، تیمار تریپتوفان در این پژوهش با حفظ سطح مناسب مواد جامد محلول کل و جلوگیری از کاهش اسید قابل تیتراسیون از افزایش سریع شاخص طعم در میوه‌های تیمار شده جلوگیری کرده است.

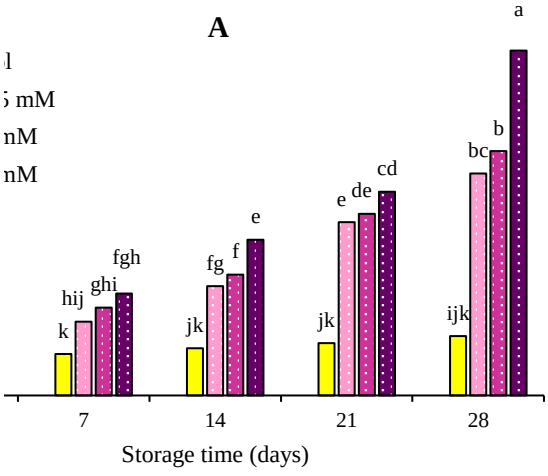
پرولین

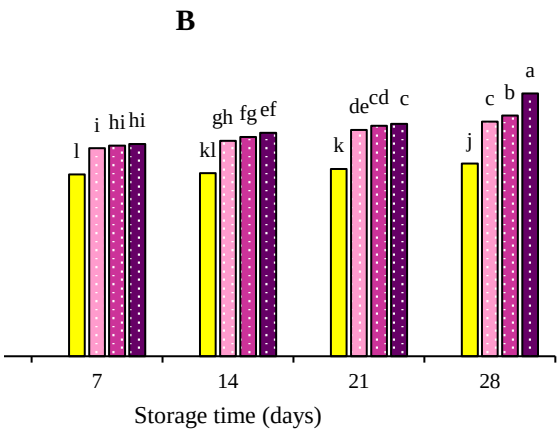
نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان پرولین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، که میزان پرولین در طول دوره انبارمانی افزایش یافت. تیمارهای تریپتوفان این روند افزایشی را به‌طور معنی‌داری تسریع کردند، به‌طوری‌که در پایان دوره (۲۸ روز)، تیمارهای تریپتوفان در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار به‌ترتیب موجب افزایش ۲/۸۵، ۳/۲۸ و ۵ برابری پرولین نسبت به نمونه شاهد شدند (شکل ۱-A). در طول ذخیره‌سازی سرد، پرولین با ایفای نقش در تنظیم فشار اسمزی، مهار گونه‌های فعال اکسیژن و کمک به حفظ پایداری پروتئین‌های مرتبط، به حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی کمک می‌کند (رحمان و همکاران ۲۰۲۱). تریپتوفان به‌عنوان یکی از منابع نیتروژن، در سنتز پروتئین‌ها و ترکیبات نیتروژن‌دار نقش دارد و همچنین به‌عنوان پیش‌ساز زیستی فیتوهورمون‌ها و متابولیت‌های ثانویه عمل می‌کند (مجتبی و همکاران ۲۰۲۳). علاوه بر این، تیمار تریپتوفان ممکن است، با افزایش سنتز ملاتونین از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های اورنیتین-δ-آمینوترانسفراز (OAT) و دلتا-۱-پیرولین-۵-کربوکسیلات‌ستتاز (P5CS) و سرکوب فعالیت آنزیم

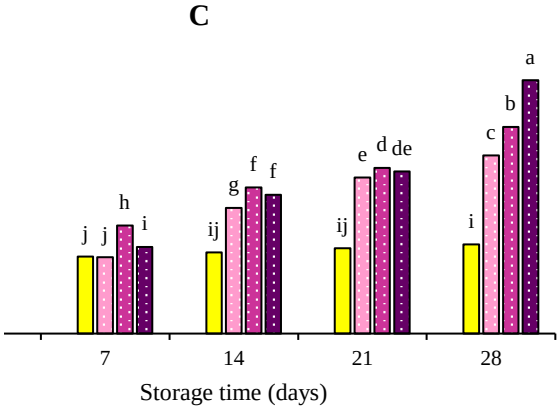
پرولین‌دهیدروژناز (PDH) (اقدم و همکاران ۲۰۱۹) به افزایش تجمع پرولین کمک کند.

پروتئین محلول کل

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آن‌ها بر میزان پروتئین محلول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). مقایسه میانگین‌ها در شکل B-۱ نشان داد، که میزان پروتئین محلول کل در تمامی نمونه‌های شاهد و تیمار شده در طول دوره انبارمانی افزایش یافت و تیمارهای تریپتوفان موجب افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین نسبت به نمونه شاهد شدند. بیشترین میزان پروتئین محلول کل در پایان دوره انبارمانی در تیمار ۲ میلی‌مولار (۲/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه) گزارش شد. به احتمال زیاد، افزایش محتوی پروتئین در طول نگهداری سردخانه‌ای گیلاس ناشی از پاسخ میوه به شرایط تنش‌زا است. با توجه به اینکه تریپتوفان علاوه بر نقش خود به‌عنوان پیش‌ساز مولکول‌های زیست‌فعال، از طریق کاتابولیسم به‌عنوان منبع نیتروژن نیز عمل می‌کند (شنده و همکاران ۲۰۲۴)، می‌توان گفت که میوه‌ها از این ترکیب برای تأمین نیتروژن مورد نیاز خود بهره گرفته‌اند. نیتروژن بیشتر موجب سنتز پروتئین‌ها، اسید آمینه‌ها و ترکیبات نیتروژنی شده و در تنظیم فرآیندهای متابولیک ضروری نقش دارد. مطابق با نتایج پژوهش‌های پیشین، کاربرد تریپتوفان در غلظت‌های مختلف موجب افزایش محتوی پروتئین در گیاهان *Catharanthus roseus* L. (رحمت‌زاده و همکاران ۲۰۱۲) و *Hibiscus sabdariffa* L. (جندی و نصیر ۲۰۱۶) شده است.







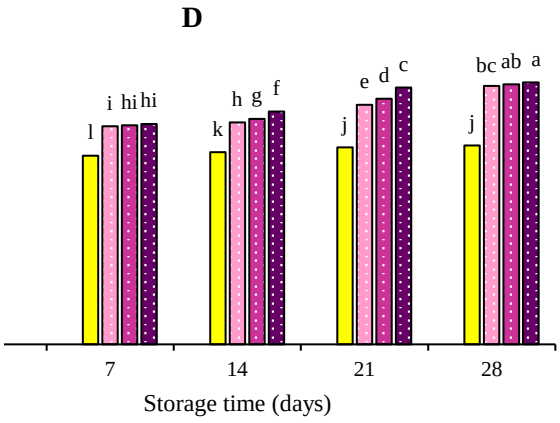


Figure 1 - The effect of tryptophan concentrations on (A) Proline concentration, (B) Total soluble protein, (C) POD enzyme activity, and (D) Total antioxidant capacity of sweet cherry fruit during storage at 1 ± 0.5°C for 28 days.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آن‌ها بر فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطح

احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). مقایسه میانگین داده‌ها در شکل ۱-C نشان داد، که با افزایش مدت زمان انبارمانی، فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت. تیمارهای تریپتوفان در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌مولار به‌ترتیب موجب افزایش ۹۹، ۱۳۱ و ۱۸۳ درصدی فعالیت این آنزیم نسبت به نمونه شاهد در پایان دوره انبارمانی شدند. آنزیم پراکسیداز، به‌عنوان یکی از آنزیم‌های کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاهان شناخته می‌شود و با تجزیه پراکسیدهیدروژن به آب و اکسیژن، نقش مؤثری در کاهش تنش اکسیداتیو ایفا می‌کند (ژائو و همکاران ۲۰۱۹). به نظر می‌رسد که تیمار پس از برداشتی تریپتوفان در میوه گیلاس، از طریق افزایش سطح ملاتونین درونی و بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (وانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ ساتی و همکاران ۲۰۲۳) موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود. در پژوهشی افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسیددیسموتاز (SOD) و پراکسیداز (POD) در گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط کشت درون‌شیشه‌ای و تنش شوری گزارش شده است (گول و همکاران ۲۰۲۳) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ نشان داد، که تیمار تریپتوفان، زمان انبارمانی و اثر متقابل آن‌ها بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۱$). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها با افزایش زمان انبارمانی افزایش یافت و تیمارهای تریپتوفان این روند را تسریع کردند، به طوری که بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۹۴/۰۷ درصد) در تیمار تریپتوفان ۲ میلی‌مولار پس از ۲۸ روز انبارمانی گزارش شد (شکل ۱-D). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه گیلاس می‌تواند به‌طور مؤثر با استفاده از سنجش مهار رادیکال DPPH ارزیابی شود؛ این روش توانایی عصاره‌های میوه در خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد را اندازه‌گیری کرده و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی نمونه را منعکس می‌کند. تیمار تریپتوفان با افزایش تجمع ترکیبات فنولی از طریق تحریک بیان ژن‌های PAL، C4H، CL4 و CHS، تقویت بیوسنتز ملاتونین از طریق فعال‌سازی ژن‌های TDC، T5H، SNAT و ASMT و نیز افزایش بیان ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (شرفی و همکاران ۲۰۲۱؛ آرابیا و همکاران ۲۰۲۵)، احتمالاً موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شده است. در تأیید این یافته‌ها، گزارش شده است، که تیمار تریپتوفان در گیاه توت‌فرنگی سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه شده است (ژو و همکاران ۲۰۲۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، که تیمار پس از برداشت با تریپتوفان، به‌ویژه در غلظت ۲ میلی‌مولار، با افزایش غلظت پرولین، پروتئین محلول کل، فعالیت آنزیم پراکسیداز، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و آنتوسیانین کل، موجب تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و کاهش آسیب اکسیداتیو در میوه گیلاس رقم «تک‌دانه» در شرایط انبار سرد شد. این تغییرات بیوشیمیایی با حفظ ویژگی‌های کیفی و فیزیولوژیک میوه، از جمله اسیدیته، اسید قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم و کاهش قهوه‌ای شدن دم میوه همراه بود. به‌طور کلی، تریپتوفان به‌عنوان یک ترکیب زیست‌فعال طبیعی، رویکردی مؤثر برای بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری پس از برداشت گیلاس در انبار سرد محسوب می‌شود.

References

Aghdam, M. S., & Arnao, M. B. (2024). Phytomelatonin: from intracellular signaling to global horticulture market. *Journal of pineal research*, *76*(5), e12990.

Aghdam, M. S., Luo, Z., Jannatizadeh, A., Sheikh-Assadi, M., Sharafi, Y., Farmani, B., ... & Razavi, F. (2019). Employing exogenous melatonin applying confers chilling tolerance in tomato fruits by upregulating ZAT2/6/12 giving rise to promoting endogenous polyamines, proline, and nitric oxide accumulation by triggering arginine pathway activity. *Food Chemistry*, *275*, 549-556.

Arabia, A., Muñoz, P., & Munné-Bosch, S. (2025). Fruit-specific effects of tryptophan and melatonin as active components to extend the functionality of red fruits during post-harvest processing. *Food Chemistry*, *463*, 141487.

Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy journal*, *23*(1), 112-121.

Ayyanath, M. M., Shukla, M. R., Sriskantharajah, K., Hezema, Y. S., & Saxena, P. K. (2024). Stable indoleamines attenuate stress—a novel paradigm in tryptophan metabolism in plants. *Journal of Pineal Research*, *76*(2), e12938.

Blando, F., & Oomah, B. D. (2019). Sweet and sour cherries: Origin, distribution, nutritional composition and health benefits. *Trends in food science & technology*, *86*, 517-529.

Bouzari, N., Ganji Moghadam, E., & Kavand, A. R. (2022). Study of distinguishing traits in some Iranian sweet cherrycultivars and genotypes. *Iranian Journal of Horticultural Science*, (3).

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, *72*(1-2), 248-254.

Çolak, A. M., Çelik, K., Gündeşli, M. A., Gündoğdu, Ö., Küçüker, E., Berk, S. K., ... & Gundogdu, M. (2025). Physiological effects of MAP and calcium chloride treatments on biochemical metabolites and quality stability by reducing respiration rate in sweet cherry fruit during storage. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 1-14.

Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)–quercetin complex: Synthesis, spectral characterisation and antioxidant activity. *Food Chemistry*, *131*(2), 422-426.

El-kenawy, M. A. (2022). Effect of tryptophan, proline and tyrosine on vegetative growth, yield and fruit quality of Red Roumy grapevines. *Egyptian Journal of Horticulture*, *49*(1), 1-14.

Gendy, A. S., & Nosir, W. S. (2016). Improving productivity and chemical constituents of Roselle plant (*Hibiscus sabdariffa* L.) as affected by phenylalanine, L-tryptophan and peptone acids foliar application. *Middle East J. Agric*, *5*, 701-708.

Giusti, M. M., Wrolstad, R. E. 2001. Anthocyanins. pp. F1.2.1-F1.2.13. In: Wrolstad, E. (ed.), Characterization and Measurement with UV–visible Spectroscopy. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. Wiley, New York.

Gull, M., Sajid, Z. A., & Aftab, F. (2023). Alleviation of Salt Stress in Solanum tuberosum L. by Exogenous Application of Indoleacetic acid and l-Tryptophan. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(5), 3257-3273.

Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sánchez-Díaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum*, *84*(1), 55-60.

Ilea, M. I. M., Zapata, P. J., Fernández-Picazo, C., Díaz-Mula, H. M., Castillo, S., & Guillén, F. (2024). Chlorogenic acid as a promising tool for mitigating chilling injury: Cold tolerance and the ripening effect on tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.). *Plants*, *13*(15), 2055.

Khedr, E. (2018). Improving productivity, quality and antioxidant capacity of Le-Conte pear fruits using foliar tryptophan, arginine and salicylic applications. *Egyptian Journal of Horticulture*, *45*(1), 93-103.

Khedr, E. H. 2019. Influence of pre-harvest salicylic and some amino acids treatments on quality attributes of pear fruits cv. Le-conte during cold storage and shelf life. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 27(1), 615-633.

Liang, C., Zheng, G., Li, W., Wang, Y., Hu, B., Wang, H., ... & Chu, C. (2015). Melatonin delays leaf senescence and enhances salt stress tolerance in rice. *Journal of pineal research*, *59*(1), 91-101.

Magri, A., & Petriccione, M. (2022). Melatonin treatment reduces qualitative decay and improves antioxidant system in highbush blueberry fruit during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(10), 4229-4237.

Matysiak, K., Kierzek, R., Siatkowski, I., Kowalska, J., Krawczyk, R., & Miziniak, W. (2020). Effect of exogenous application of amino acids L-arginine and glycine on maize under temperature stress. *Agronomy*, *10*(6), 769.

Madebo, M. P., Li, W. A. N. G., Zheng, Y. H., & Peng, J. I. N. (2021). Melatonin treatment induces chilling tolerance by regulating the contents of polyamine, γ-aminobutyric acid, and proline in cucumber fruit. *Journal of Integrative Agriculture*, *20*(11), 3060-3074.

Miranda, S., Vilches, P., Suazo, M., Pavez, L., García, K., Méndez, M. A., ... & Del Pozo, T. (2020). Melatonin triggers metabolic and gene expression changes leading to improved quality traits of two sweet cherry cultivars during cold storage. *Food Chemistry*, *319*, 126360.

Mosa, W. F., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). The utilization of tryptophan and glycine amino acids as safe alternatives to chemical fertilizers in apple orchards. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(2), 1983-1991.

Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B. A., Kurubas, M. S., Ustun, H., Erkan, M., ... & Oner, E. T. (2023). Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry. *Food Chemistry*, *416*, 135816.

Mukherjee, S. (2018). Novel perspectives on the molecular crosstalk mechanisms of serotonin and melatonin in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *132*, 33-45.

Naser, F., Rabiei, V., Razavi, F., & Khademi, O. (2018). Effect of calcium lactate in combination with hot water treatment on the nutritional quality of persimmon fruit during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *233*, 114-123.

Nava-Ochoa, A., Stranahan, L. W., San-Cristobal, R., Mertens-Talcott, S. U., & Noratto, G. D. (2025). Dark Sweet Cherry Anthocyanins Suppressed Triple-Negative Breast Cancer Pulmonary Metastasis and Downregulated Genes Associated with Metastasis and Therapy Resistance In Vivo. *International Journal of Molecular Sciences*, *26*(15), 7225.

Pang, L., Chen, L., Jiang, Y., Zhou, C., Liang, F., & Duan, L. (2023). Role of exogenous melatonin in quality maintenance of sweet cherry: Elaboration in links between phenolic and amino acid metabolism. *Food Bioscience*, *56*, 103223.

Prasad, K., & Sharma, R. R. (2018). Salicylic acid influences lenticel discolouration and physiological and biochemical attributes of mango (*Mangifera indica* L.) fruits. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, *27*(3), 293-299.

Rahmatzadeh, S. A. M. A. N. E. H., Khara, J. A. L. I. L., & Kazemitabar, S. K. (2012). Effects of tryptophan on growth and some physiological parameters in mycorrhizal inoculated plants of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don.

Rehman, A. U., Bashir, F., Ayaydin, F., Kóta, Z., Páli, T., & Vass, I. (2021). Proline is a quencher of singlet oxygen and superoxide both in in vitro systems and isolated thylakoids. *Physiologia plantarum*, *172*(1), 7-18.

Sánchez, E., López-Lefebre, L. R., García, P. C., Rivero, R. M., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2001). Proline metabolism in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike). *Journal of Plant Physiology*, *158*(5), 593-598.

Sati, H., Khandelwal, A., & Pareek, S. (2023). Effect of exogenous melatonin in fruit postharvest, crosstalk with hormones, and defense mechanism for oxidative stress management. *Food Frontiers*, *4*(1), 233-261.

Shahabi-Ghahfarrokhi, I., Khodaiyan, F., Mousavi, M., & Yousefi, H. (2015). Effect of γ-irradiation on the physical and mechanical properties of kefiran biopolymer film. *International journal of biological macromolecules*, *74*, 343-350.

Sharafi, Y., Jannatizadeh, A., Fard, J. R., & Aghdam, M. S. (2021). Melatonin treatment delays senescence and improves antioxidant potential of sweet cherry fruits during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *288*, 110304.

Shende, V. V., Bauman, K. D., & Moore, B. S. (2024). The shikimate pathway: gateway to metabolic diversity. *Natural product reports*, *41*(4), 604-648.

Shewfelt, R. L., & Prussia, S. E. (2022). Challenges in handling fresh fruits and vegetables. In *Postharvest Handling* (pp. 167-186). Academic Press.

Sohail, M., Wills, R. B. H., Bowyer, M. C., & Pristijono, P. (2021). Multiple amino acids inhibit postharvest senescence of broccoli. *Horticulturae*, *7*(4), 71.

Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S., & Amir, R. (2021). Amino acids in plants: Regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in plant science*, *12*, 772810.

ValizadehKaji, B., & Fakhri, N. (2023). Postharvest application of Aloe vera gel and thymol enhances shelf-life of duke cherries via altering physiochemical parameters. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *10*(1), 85.

Verde, A., Míguez, J. M., & Gallardo, M. (2023). Melatonin stimulates postharvest ripening of apples by up-regulating gene expression of ethylene synthesis enzymes. *Postharvest Biology and Technology*, *195*, 112133.

Wang, F., Zhang, X., Yang, Q., & Zhao, Q. (2019). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food chemistry*, *301*, 125311.

Wei, J., Li, D. X., Zhang, J. R., Shan, C., Rengel, Z., Song, Z. B., & Chen, Q. (2018). Phytomelatonin receptor PMTR 1-mediated signaling regulates stomatal closure in Arabidopsis thaliana. *Journal of pineal research*, *65*(2), e12500.

Xiao, S., Wang, Z., Wang, B., Hou, B., Cheng, J., Bai, T., ... & Zhang, J. (2023). Expanding the application of tryptophan: Industrial biomanufacturing of tryptophan derivatives. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1099098.

Xin, Y., Liu, Z., Zhang, Y., Shi, X., Chen, F., & Liu, K. (2021). Effect of temperature fluctuation on colour change and softening of postharvest sweet cherry. *RSC advances*, *11*(37), 22969-22982.

Xu, Z., Mahmood, K., & Rothstein, S. J. (2017). ROS induces anthocyanin production via late biosynthetic genes and anthocyanin deficiency confers the hypersensitivity to ROS-generating stresses in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, *58*(8), 1364-1377.

Yang, Q., Zhang, X., Wang, F., & Zhao, Q. (2019). Effect of pressurized argon combined with controlled atmosphere on the postharvest quality and browning of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology*, *147*, 59-67.

Yang, W., Zhang, Z., Chen, Y., & Luo, K. (2023). Evaluation of the use of Idesia polycarpa Maxim protein coating to extend the shelf life of European sweet cherries. *Frontiers in Nutrition*, *10*, 1283086.

Yuxiao, Z., Guo, Y., & Xinhua, S. (2023). Comprehensive insight into an amino acid metabolic network in postharvest horticultural products: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *103*(12), 5667-5676.

Zhang, H., Liao, B., Huang, J., Wang, S., Deng, Q., Zhang, H., & Zeng, K. (2024). Mechanism of the enhancement in disease resistance of citrus fruit induced by Metschnikowia citriensis treated with tryptophan. *Postharvest Biology and Technology*, *213*, 112933.

Zhang, Z., Huber, D. J., & Rao, J. (2013). Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, *76*, 58-64.

Zhang, Z., Huber, D. J., Qu, H., Yun, Z. E., Wang, H., Huang, Z., ... & Jiang, Y. (2015). Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. *Food Chemistry*, *171*, 191-199.

Zhao, H., Fu, M., Du, Y., Sun, F., Chen, Q., Jin, T., ... & Liu, B. (2021). Improvement of fruit quality and pedicel color of cold stored sweet cherry in response to pre-storage 1-methylciclopropene and chlorine dioxide treatments: Combination treatment of 1-MCP plus ClO2 improves post-harvest quality of sweet cherry fruit. *Scientia Horticulturae*, *277*, 109806.

Zhao, H., Liu, B., Zhang, W., Cao, J., & Jiang, W. (2019). Enhancement of quality and antioxidant metabolism of sweet cherry fruit by near-freezing temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, *147*, 113-122.

Zhou, J., Tu, M., Mao, M., Hu, Q., Dong, Y., Luo, Z., & Li, L. (2024). Tryptophan as a potential way to enhance phenolics accumulation in strawberry: From perspective of phenolomics. *Food Bioscience*, *62*, 105370.

Zhou, R., & Zhang, X. (2024). Effects of tryptophan and tyrosine on the transformation of monophenols in chromophoric dissolved organic matter solutions: Enhance the forward transformation and reduce the reverse transformation. *Environmental Science & Technology*, *58*(23), 10108-10115.