

Effect of 24-Epibrassinolide on Nutritional Value and Marketability of Strawberry Fruit (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey)

S.M.A. Kadhimi Al-Janabi¹, M.R. Asghari¹, P. Zahedipour Sheshglani^{1*}

1- Department of Horticulture, Agriculture Faculty, Urmia University, Urmia, Iran

(* - Corresponding author's Email: p.zahedipour@urmia.ac.ir)

Received: 15 October 2024

Revised: 09 January 2025

Accepted: 29 January 2025

Available Online: 29 January 2025

How to cite this article:

Kadhimi Al-Janabi, S.M.A., Asghari, M.R., & Zahedipour Sheshglani, P. (2025). Effect of 24-epibrassinolide on nutritional value and marketability of strawberry fruit (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey). *Journal of Horticultural Science*, 39(3), 455-470. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90277.1383>

Introduction

Strawberry is a widely consumed fruit with high nutritional value, which the consumption plays an effective role in reducing human chronic diseases. Strawberry fruit is a source of secondary metabolites with antioxidant activity which influence nutritional value and quality attributes of this fruit. However, strawberry is a perishable fruit with a short shelf-life and high amount of this fruit is wasted during post-harvest periods which leads to economic, food and nutritional losses. In the last decade, the use of safe and natural elicitors in order to extend the shelf-life and improve the marketability of strawberry fruit has been increasing. Brassinosteroids (BRs) are plant growth regulators that modulate molecular, physiological, and biochemical responses in plant organs. Exogenous 24- Epibrassinolide (24-EBL) as a natural analog of BRs, has multiple effects on horticultural crops. Exogenous application of 24-EBL improves postharvest quality, antioxidant compounds and extends the shelf life of fruits and vegetables. Furthermore, 24-EBL has a significant effect on improving the sensory properties and marketability of stored crops. Therefore, this study was conducted to determine the effect of postharvest application of 24-EBL on bioactive compounds concentrations, antioxidant capacity and marketability of strawberry fruits.

Material and Methods

Strawberry fruits (*Fragaria* × *ananasa* cv. Monterey) were harvested from a commercial greenhouse in the fully red color stage and immediately transferred to the laboratory. Healthy and uniform strawberries were selected and divided in three groups. Strawberry fruits were immersed in the 24-EBL solutions for 3 minutes. Strawberry fruits were dried completely at room condition and then were packed in polyethylene boxes (20×15×12 cm) and stored for 10 days at 1±1 °C. Control samples were treated with distilled water for same duration. After 10 d storage at low temperature, strawberry fruits were kept at room temperature for 24 hours to simulate the commercial situations, and then sampling was done to evaluate quality traits and marketability, biochemical compounds, phenylalanine ammonia-lyase and tyrosine ammonia-lyase enzymes activity and total antioxidant activity. In this study, the experiment was conducted as completely randomized design with three replications.

Results and Discussion

Due to the high perishability and short shelf life of harvested strawberry fruits, it is necessary to investigate new methods. The use of safe and natural elicitors in order to improve the quality and marketability of the fruit may also result in an increase in the fruit nutritional value. The results showed that postharvest application of 24-EBL (1 and 3 µM) increased total phenolic content (16.5 % and 19.5 %), total flavonoids (5.5 % and 9 %) and



total anthocyanins (12 % and 17 %) compared to control, respectively. Moreover, the activities of phenylalanine ammonialyase (PAL) and tyrosine ammonialyase (TAL), as important enzymes of the phenylpropanoid pathway increased in response to 24-EBL treatment. According to correlation coefficient analysis, there was a significant correlation among the phenolic compounds concentrations, PAL and TAL enzymes activity. Increasing the phenolic compounds, flavonoids and total anthocyanins content in response to 24-EBL treatment improved total antioxidant activity of strawberry fruits. Phenolics and flavonoids play important roles in increasing stress tolerance in crops and show a remarkably high scavenging activity toward reactive oxygen species. In addition to the positive effect of 24-EBL in enhancing secondary metabolites and antioxidant activity, which leads to improve the nutritional value of strawberry fruit, it also improved the sensory properties and marketability of the fruit. Treated berries with different concentrations of 24-EBL had lower titratable acidity, more total soluble solid, better taste and firmness compared to the control ones. These indices influenced the sensory properties and marketability of strawberries. These findings suggest that postharvest application of 24-EBL, especially at 3 μ M, most effective to improve the postharvest quality and extend the shelf life of strawberry fruits. This research provided a new understanding regarding the impact of 24-EBL on increasing bioactive compounds and improving antioxidant activity of strawberry fruit and elucidated the effect of BRs on improving marketability of strawberry fruit.

Conclusion

The findings of this study indicate that postharvest application of 24- Epibrassinolide increase secondary metabolite content and nutritional value of stored strawberry fruits. Increasing the secondary metabolite by antioxidant activity can also influence the sensory properties and marketability of strawberries. The mentioned results could be clear signs that 24- Epibrassinolide is a promising agent for extend the shelf life of strawberry fruits, as well as for improving their nutritional value.

Acknowledgement

The authors wish to thank Urmia University vice chancellor for research for supporting this work.

Keywords: Anthocyanins, Correlation coefficient, Marketability, Phenylalanine ammonia-lyase, Total antioxidant activity

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر ارزش غذایی و بازارپسندی میوه توت فرنگی رقم 'مونتری'

*(Fragaria × ananasa cv. Monterey)*صفا محمد علی کاظم الجنبابی^۱، محمدرضا اصغری^۱، پری زاهدی پور ششگلانی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

چکیده

توت فرنگی، میوه‌ای پرمصرف با ارزش تغذیه‌ای بالا می‌باشد که مصرف آن نقش مؤثری در کاهش بیماری‌های مزمن انسان دارد. استفاده از محرک‌های سالم به منظور بهبود کیفیت و بازارپسندی این محصول می‌تواند در عین حال ارزش تغذیه‌ای این محصول را نیز بهبود بخشد. در این آزمایش تیمار پس از برداشت میوه‌های توت فرنگی رقم 'مونتری' توسط ۲۴- اپی براسینولید در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. - ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار تأثیر مثبت در افزایش غلظت ترکیبات زیست فعال میوه‌های توت فرنگی تیمار شده از جمله فنل کل به میزان ۱۶/۵ درصد و ۱۹/۵ درصد، فلاونوئید کل به میزان ۵/۵ درصد و ۹ درصد و آنتوسیانین کل به میزان ۱۲ درصد و ۱۷ درصد در پایان دوره نگهداری (۱۰ روز در دمای 1 ± 1 درجه سانتی گراد و سپس ۲۴ ساعت در دمای اتاق) نسبت به شاهد داشت که این افزایش همبستگی مثبت و معنی- داری با افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه‌های توت فرنگی نشان داد. فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیز و تیروزین آمونیالیز به عنوان آنزیم‌های مهم مسیر فنیل پروپانویید در پاسخ به تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید نیز افزایش پیدا کردند. ۲۴- اپی براسینولید علاوه بر تأثیر مثبت در افزایش متابولیت‌های ثانویه و ترکیبات آنتی اکسیدانی که موجب بهبود ارزش تغذیه‌ای میوه توت فرنگی شد، بهبود خواص حسی و بازارپسندی محصول را نیز به همراه داشت. به طوری که توت فرنگی‌های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید، اسیدیته کم، مواد جامد محلول بیشتر، طعم و سفتی بهتری در مقایسه با نمونه شاهد داشتند. تأثیر مثبت ۲۴- اپی براسینولید در افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه با فعالیت آنتی اکسیدانی موجب شد که میوه‌های تیمار شده کیفیت، ماندگاری و بازارپسندی بهتری در مقایسه با میوه‌های شاهد در پایان دوره نگهداری داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، بازارپسندی، ضریب همبستگی، فعالیت آنتی اکسیدانی کل، فنیل آلانین آمونیالیز

مقدمه

میوه‌ها منشأ تولید متابولیت‌های ثانویه با عملکردهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مهم هستند. متابولیت‌های ثانویه، نقش مهمی در تقابل گیاه با محیط پیرامون در شرایط رشدی نرمال و همچنین در مواجهه با تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کنند. همچنین متابولیت‌های ثانویه تأثیر مستقیم بر کیفیت خواص حسی محصول از نظر رنگ، عطر و طعم و کیفیت ظاهری داشته و ارزش تغذیه‌ای محصول را در دوره برداشت و پس از برداشت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sanchez-Ballesta et al., 2022).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد طبیعی به عنوان محرک‌های خارجی در جهت افزایش غلظت متابولیت‌های ثانویه به منظور ارتقاء سیستم دفاعی گیاه، روشی کارآمد و سالم می‌باشد که مورد پذیرش مصرف‌کنندگانی قرار گرفته است که اهمیت ویژه‌ای نسبت به مصرف محصولات سالم دارند. این ترکیبات علاوه بر آنکه موجب تحریک سیستم دفاعی گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شوند، همچنین بهبود کیفیت و ارزش تغذیه‌ای محصولات کشاورزی را نیز به دنبال دارند (Carlos et al., 2021). استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحولی بزرگ در بخش کشاورزی پدید آورده است. این مواد از طریق تغییر و تعدیل در واکنش‌های بیوشیمیایی و ساختاری گیاهان موجب افزایش در کمیت و کیفیت محصول تولیدی می‌شود (Rademacher, 2015). مطابق قوانین حفاظت محیط زیست ایالات متحده، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در غلظت‌های بهینه

۱- گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: p.zahedipour@urmia.ac.ir)<https://doi.org/10.22067/jhs.2025.90277.1383>

مواد و روش‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم 'مونتری' (*Fragaria × ananassa* cv. Monterey) در مرحله رنگ‌گیری کامل از گلخانه‌ای تجاری واقع در شهر ارومیه برداشت شده و بلافاصله به آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. توت‌فرنگی‌های سالم و یکسان از نظر اندازه و رنگ انتخاب و جهت تیمار با ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های صفر، یک و سه میکرومولار به‌صورت کاملاً تصافی تقسیم شدند. جهت تهیه غلظت‌های مورد نظر، ابتدا پودر ۲۴- اپی براسینولید در متانول خالص حل شده و سپس با اضافه کردن آب مقطر به حجم مورد نظر رسانده شدند. میوه‌های توت‌فرنگی به‌مدت سه دقیقه در داخل محلول‌های تهیه‌شده غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن کامل میوه‌ها در شرایط دمای اتاق در جعبه‌های پلی اتیلنی (۱۲×۱۵×۲۰ سانتی‌متر) بسته‌بندی و به‌مدت ۱۰ روز در دمای ۱±۱ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نمونه‌های شاهد توسط آب مقطر تیمار شدند. میوه‌ها پس از ۱۰ روز نگهداری در شرایط دمای پایین، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند و در ادامه نمونه‌برداری برای ارزیابی شاخص‌های کیفی و بیوشیمیایی مورد نظر انجام گرفت.

اندازه‌گیری فنل کل

برای استخراج عصاره میوه جهت سنجش فنل کل از خلال متانول/اسید کلریک به نسبت ۲:۹۸ استفاده شد. محلول روشناور برای سنجش فنل کل با استفاده از معرف فولین- سیوکالتو مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی هفت میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فولین- سیوکالتو و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده بود. پس از دو دقیقه یک میلی‌لیتر سدیم کربنات اشیاع به محلول فوق افزوده شد. بعد از دو ساعت، جذب در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Lester et al., 2012).

اندازه‌گیری فلاونوئید کل

جهت اندازه‌گیری فلاونوئید کل، یک میلی‌لیتر عصاره استخراج‌شده توسط متانول ۸۰ درصد با ۰/۵ میلی‌لیتر NaNO_2 پنج درصد مخلوط شد. بعد از شش دقیقه، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ۱۰ درصد به مخلوط اضافه شده و بعد از شش دقیقه، دو میلی‌لیتر NaOH یک مولار به مخلوط اضافه شد و بعد از ۱۵ دقیقه، جذب در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید و نتایج براساس میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد. جهت تهیه محلول‌های استاندارد از کوئرستین (۱۶-۰ میلی‌گرم در لیتر) استفاده شد (Chun et al., 2003).

در صورتی که سمیت و آسیبی برای گیاه، محیط زیست و انسان نداشته باشند، مجاز می‌باشد (Ferguson & Lessenger, 2006). براسینواستروئیدها به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد طبیعی در غلظت‌های بسیار پایین واکنش‌های گسترده‌ای را در سطح سلول و در کل گیاه موجب می‌شوند و تقریباً در تنظیم تمامی جنبه‌های رشدونموی گیاه نقش دارند (Tang et al., 2016). براسینواستروئیدها از طریق مسیرهای انتقال علائم و تعامل با فاکتورهای رونویسی متعدد از طریق آبشارهای فسفوریلاسیون موجب تنظیم بیان ژن در گیاهان می‌شوند و به‌این طریق موجب تنظیم فرآیندهای رشدونموی در گیاهان می‌شوند (Nolan et al., 2020). براسینواستروئیدها به‌عنوان ترکیبات سالم و سازگار با محیط زیست، کاربرد گسترده‌ای در بخش کشاورزی دارند. تأثیر این هورمون در بهبود رشد گیاه، کوتاه‌سازی دوره رشد رویشی، تسریع فرآیند زایشی گیاه، افزایش عملکرد، بهبود کیفیت و افزایش ارزش تغذیه‌ای محصول، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و آلودگی‌های پاتوژنی، حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی توسط محققان گزارش شده است (Li et al., 2021; Yadav et al., 2023).

طبق آزمایشات بیولوژی پیچیده، ایمنی ژنتیکی و عدم سمیت ۲۴- اپی براسینولید بر انسان تأیید شده است (Khrpach et al., 2000) و بسیاری از مطالعات نشان دادند که براسینواستروئیدها دارای فعالیت ضدسرطانی، ضدویروسی و ضدالتهابی می‌باشند (Pereira Netto, 2012). براسینواستروئیدها از طریق القاء آپوپتوز یا مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی، توانایی بالایی در درمان سلول‌های سرطانی دارند (Ma et al., 2022).

توت فرنگی منبع غنی از ریزمغذی‌ها، ویتامین‌ها و متابولیت‌های ثانویه با خاصیت آنتی‌اکسیدانی هست. از سوی دیگر به‌دلیل عطر و طعم خاص، جایگاه ویژه‌ای در بین مصرف‌کنندگان دارد و به‌صورت گسترده در بیش از ۷۶ کشور جهان به‌صورت تجاری تولید می‌شود (Simpson, 2018). تکنیک‌های تولیدی مختلفی در جهت بهبود کمیت و کیفیت محصولات باغی از جمله توت‌فرنگی استانداردسازی شده‌اند و در این راستا استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی جایگاه ویژه‌ای برای دستیابی به این اهداف دارند.

امروزه مفهوم "مدیریت پس از برداشت" تنها به حفظ کیفیت و کاهش میزان ضایعات محصولات کشاورزی محدود نبوده و افزایش کیفیت و بهبود ارزش تغذیه‌ای محصولات برداشت‌شده در دوره پس از برداشت یکی دیگر از اهداف مهم این دانش می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید بر متابولیسم متابولیت‌های ثانویه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی و همچنین بررسی شاخص‌های کیفی و خواص حسی میوه توت‌فرنگی در پاسخ به این تیمار می‌باشد.

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

میزان آنتوسیانین کل میوه‌های توت‌فرنگی براساس روش چنگ و برین (Cheng & Breen, 1991) و براساس جذب عصاره‌های استخراج‌شده در (hydrochloric acid-potassium chloride, 0.2) pH: ۱ (M) و pH: ۴/۵ (acetate acid- sodium acetate, 1 M) در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان آنتوسیانین با استفاده از ضریب خاموشی سیانیدین-۳- گلوکوزاید (۲۹۶۰۰) و معادله $A = [(A_{510} - A_{700})_{pH\ 1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH\ 4.5}]$ محاسبه و نتایج به‌صورت میلی‌گرم سیانیدین-۳- گلوکوزاید در ۱۰۰ گرم وزن تر بیان شد.

سنجش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیاز (PAL) و تیروزین آمونیالیاز (TAL)

برای سنجش فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیاز و تیروزین آمونیالیاز، ۰/۵ گرم بافت میوه توت‌فرنگی در چهار میلی‌لیتر بافر استخراج حاوی بافر Tris-HCl ۰/۰۵ مولار (pH: ۸/۴)، بتا- مرکاپتواتانول ۱۵ میلی‌مولار و پلی وینیل پیرولیدون یک درصد هموژنیزه شد. بافر سنجش حاوی شش میکرومول ال- فنیل آلانین برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و ۵/۵ میکرومول ال- تیروزین برای سنجش فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالیاز، ۵۰۰ میکرومول بافر Tris- HCl (pH: ۸/۰۱) و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. برای سنجش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و در نتیجه تشکیل ترانس- سینامیک اسید نمونه‌های تهیه‌شده به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند و برای سنجش فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالیاز و در نتیجه تشکیل پی- کومارات نمونه‌های تهیه‌شده به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. واکنش هر دو آنزیم با اضافه کردن ۰/۰۵ میلی‌لیتر HCl پنج نرمال متوقف شد. فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در طول موج ۲۹۰ نانومتر و فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالیاز در طول موج ۳۳۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد (Beaudoin-Eagan & Thorpe, 1985).

سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل براساس DPPH•

برای ارزیابی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد، ماده 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH•) مورد استفاده قرار گرفت. محلول واکنش حاوی ۲۸ میکرولیتر عصاره استخراج‌شده توسط متانول ۸۰ درصد، ۲۸ میکرولیتر محلول DPPH سه میلی‌مولار و ۹۴۴ میکرولیتر اتانول خالص بود.

محلول بلانک حاوی ۹۷۲ میکرولیتر اتانول خالص و ۲۸ میکرو- لیتر DPPH• سه میلی‌مولار تهیه گردید

$$DPPH^{\bullet} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \quad (۱)$$

که در آن، A_0 : میزان جذب محلول بلانک و A_1 : میزان جذب عصاره است (Cao et al., 2011).

اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتراسیون و محاسبه شاخص طعم

میزان مواد جامد محلول با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دستی و pH آب میوه توت فرنگی توسط دستگاه pH متر دیجیتال اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، آب میوه‌های توت- فرنگی به نسبت ۱:۱ با آب مقطر رقیق شده و عمل تیتراسیون با محلول سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۲ انجام گرفت. میزان اسید آلی برحسب میلی‌گرم اسید سیتریک در میلی‌لیتر عصاره محاسبه و گزارش شد (Bellincontro et al., 2004). شاخص طعم میوه- های توت‌فرنگی از طریق تقسیم میزان مواد جامد محلول به میزان اسیدیته کل میوه‌ها محاسبه شد.

اندازه‌گیری سفتی

برای اندازه‌گیری سفتی بافت میوه‌های توت فرنگی از دستگاه سفتی سنج (Model Fruit Texture Analyzer, USA) مجهز به پروب دو میلی‌متری استفاده و نتایج به‌صورت کیلوگرم بر میلی- مترمربع بیان شدند.

ارزیابی بازارپسندی میوه توت فرنگی

بازارپسندی میوه‌های توت‌فرنگی براساس کیفیت ظاهری و نمره‌دهی مطابق جدول ۱ ارزیابی شد و نمره‌دهی ۵- ۱ برای هر بسته توت‌فرنگی به‌صورت ۱: خیلی ضعیف (غیر قابل خوردن)، ۲: ضعیف (کیفیت خوراکی بسیار ضعیف)، ۳: قابل قبول، ۴: خوب و ۵: بسیار خوب انجام پذیرفت (Kelly et al., 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزار SAS (Version 9.1) استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۱- ارزیابی میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی براساس شاخص‌های کیفی نظیر رنگ، میزان پژمردگی، پوسیدگی، سفتی، طعم و عطر (Kelly *et al.*, 2016)

Table 1- Evaluation the marketability of strawberry fruit based on quality indicators such as color, shriving intensity, decay, firmness, taste and aroma (Kelly *et al.*, 2016)

نمره‌دهی و توضیح هر یک از شاخص‌های کیفی					
۵: عالی	۴: خوب	۳: قابل قبول*	۲: ضعیف	۱: بسیار ضعیف	
Excellent	Good	*Acceptable	Poor	Very poor	
۳/۴ تا رنگ‌گیری کامل، قرمز روشن Three-quarter to fully light red	قرمز کامل و روشن Fully light red	قرمز کامل Fully red	بسیار رسیده: قرمز تیره Overripe; very dark red	بسیار تیره: به رنگ قرمز - بنفش، میوه‌هایی با رسیدگی بسیار شدید و یا پیر Very dark purplish- red; extremely overripe or senescent	رنگ Color
میوه‌ها کاملاً تازه و آبدار؛ کالیکس با ظاهری تازه و با تورژانس کامل Field-fresh fruit, and calyx appear very fresh and turgid	علائم بسیار مختصر از پژمردگی و کاهش رطوبت در کالیکس Minor signs of shriveling, calyx slightly wilted	ظهور علائم پژمردگی: شروع علائم کاهش رطوبت در میوه و کالیکس Shriveling evident, fruit and calyx show evident signs of moisture loss	پژمردگی شدید: میوه‌ها پژمرده و کالیکس کم‌آب و خشک Severe shriveling, fruit is shriveled and calyx is wilted and dry	شدیداً کم‌آب و خشک Extremely wilted and dry	پژمردگی Shriveling
صفر٪، بدون تغییرات قابل مشاهده در بافت 0%, no visible changes in the tissues	۲۵٪، ظهور رنگ قهوه‌ای مختصر (نشانه‌ای از آغاز علائم پوسیدگی) 25%, slight brown discoloration of the tissues, probable decay	۵۰٪، ظهور لکه‌هایی با پوسیدگی و با رشد مختصر مسیلیوم 50%, spots with decay and some mycelium growth	۷۵٪، رشد متوسط تا زیاد مسیلیوم‌ها 75%, moderate to heavy mycelium growth	۱۰۰٪، ظهور علائم هاگ‌زایی، پوسیدگی کامل یا بخشی از میوه 100%, characteristic sporulation, the fruit is either partial or completely rotten	پوسیدگی Decay
بسیار سفت با تورژانس بالا Very firm and turgid	بافتی سفت اما با تورژانس کم Firm but less turgid	نرم‌شدگی مختصر در بافت Minor signs of softness	نرم و آبیکی Soft and leaky	به‌شدت نرم با بافتی تخریب‌شده Extremely soft and deteriorated	سفتی Firmness
عالی با طعم مطبوع و خوشایند میوه توت‌فرنگی Excellent, pleasant strawberry taste	طعمی خوب، تازه و شیرین Good fresh and sweet taste	قابل قبول منتهی با کاهش مختصر در طعم مطلوب توت‌فرنگی Acceptable but slightly less intense strawberry taste	ضعیف، میوه‌ها با طعم تخمیری و ناخوشایند Poor (the fruit has a fermented, unpleasant taste)	بسیار ضعیف، طعم ناخوشایند، غیرقابل خوردن Very poor, unpleasant taste, inedible	طعم Taste
عالی، سرشار از عطر مخصوص میوه توت‌فرنگی Excellent, characteristic strawberry odor	خوب Good	قابل قبول Acceptable	ضعیف Poor	بسیار ضعیف، عطر ناخوشایند Very poor, unpleasant aroma	عطر Aroma

نتایج و بحث

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فنل کل، فلاونوئید کل و آنتوسیانین کل

مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید (24-EBL) تأثیر معنی‌داری بر میزان فنل کل و

فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد داشت. در پاسخ به ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرولیتر، افزایش تقریباً ۱۶/۵ درصد و ۱۹/۵ درصد در میزان فنل کل میوه توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری مشاهده شد (شکل ۱ a).

فلاونوئیدها یکی از ترکیبات مهم فنیل پروپانئیدی در میوه توت-فرنگی می‌باشند که با توجه به

، افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید کل میوه توت فرنگی در پاسخ به تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید مشاهده شد و کاربرد یک و سه میکرومولار ۲۴- اپی براسینولید به‌ترتیب موجب افزایش ۵/۵ درصد و ۹ درصد فلاونوئید کل میوه توت‌فرنگی در مقایسه با نمونه شاهد شد. ترکیبات فنلی، متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که از نظر تغذیه‌ای ارزشمند بوده و نقش مؤثری بر سلامت مصرف‌کنندگان دارد. میوه‌ها و سبزیجات منبع غنی از ترکیبات فنلی می‌باشند و اهمیت ترکیبات فنلی بر سلامتی انسان ناشی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات می‌باشد و در پیشگیری و درمان برخی از بیماری‌های مزمن از جمله بیماری‌های عصبی، دیابت، سرطان و بیماری‌های قلبی و عروقی مؤثر می‌باشند (Singh et al., 2020).

بنابراین تیمار گیاهان با الیستورها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌تواند به‌عنوان محرکی برای فعال‌تر کردن مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات فنلی در محصولات باشد (Hu et al., 2022). تأثیر مثبت کاربرد پس از برداشت براسینواستروئید و آنالوگ‌های آن در افزایش بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی در محصولاتی مانند ماندارین (Gutierrez- (Citrus reticulata Blanco 'Arrayana' (Vaccinium corymbosum، بلوبری (Villamil et al., 2023)، انار (Punica granatum L. 'Bluerain' (Min et al., 2022)، و انبه (Mangifera indica L. 'Tainong' (Song et al., 2022) گزارش شده است.

میوه توت‌فرنگی به‌عنوان منبع مهمی از ترکیبات فنلی شناخته می‌شود که تغییر در میزان این ترکیبات به‌طور مستقیم ارزش تغذیه‌ای و همچنین کیفیت خواص حسی این محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tulipani et al., 2008; Simkova et al., 2024).

مطابق جدول ۲، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان آنتوسیانین کل میوه توت‌فرنگی داشت ($p < 0.05$) و بیشترین میزان آنتوسیانین در میوه‌های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید سه میکرومولار اندازه‌گیری شد (شکل ۱ c).

آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های طبیعی میوه توت‌فرنگی و متعلق به خانواده فلاونوئیدها می‌باشند که از دو جنبه دارای اهمیت می‌باشند. نخست، عامل ایجاد رنگ قرمز در میوه توت فرنگی بوده و تأثیر مستقیم بر کیفیت ظاهری و بازارپسندی محصول دارند. دوم به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش تغذیه‌ای بسیار بالایی داشته و از آسیب اکسیداتیو ناشی از گونه‌های اکسیژن فعال بر مولکول‌های DNA، لیپیدها و پروتئین‌ها جلوگیری می‌کنند (de Pascual-Teresa & Sanchez-Ballesta, 2008). بیشتر از ۲۵ نوع متفاوت از رنگدانه‌های آنتوسیانین در میوه توت‌فرنگی شناسایی شده است که

پلارگونیدین-۳- گلوکوزاید (به‌میزان ۸۹-۹۵ درصد از آنتوسیانین کل) و سیانیدین-۳- گلوکوزاید (به‌میزان ۳/۹-۱۰/۶ درصد از آنتوسیانین کل) مهم‌ترین و بیشترین آنتوسیانین‌های موجود در میوه توت‌فرنگی می‌باشند (Tulipani et al., 2008). پژوهش‌های پیشین، تأثیر کاربرد براسینواستروئیدها را در افزایش میزان آنتوسیانین میوه توت‌فرنگی در دوره برداشت و پس از برداشت تأیید می‌کنند (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020; Khatoon et al., 2023). در حقیقت، براسینواستروئیدها از طریق تأثیری که بر بیان ژن‌ها (ژن‌های ساختاری و ژن‌های تنظیمی) و همچنین فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز آنتوسیانین‌ها دارند موجب تنظیم بیوسنتز و افزایش تجمع این متابولیت‌ها در گیاهان می‌شوند (Chai et al., 2013; Luan et al., 2013; Yang et al., 2023; Zhang et al., 2023).

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالیز و تیروزین آمونیالیز

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های مسیر فنیل پروپانئید در گیاهان می‌باشد که نقشی کلیدی در تنظیم بیوسنتز ترکیبات فنیل پروپانئیدی دارد و با انجام عمل دامیناسیون، اسید آمینه ال-فنیل آلانین را به ترانس-سینامیک اسید تبدیل می‌کند. همچنین آنزیم تیروزین آمونیالیز یکی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتزی ترکیبات فنلی می‌باشد که تیروزین را به p -کوماریک اسید تبدیل می‌کند. مطابق جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی‌داری بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (PAL) و آنزیم تیروزین آمونیالیز (TAL) در سطح احتمال یک درصد داشت و تیمار ۲۴- اپی براسینولید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار به‌ترتیب موجب افزایش ۲۹ درصد و ۳۱ درصد فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز (شکل ۲ a) و افزایش ۱۱/۵ درصد و ۱۴/۵ درصد فعالیت آنزیم تیروزین آمونیالیز (شکل ۲ b) در مقایسه با نمونه شاهد شدند.

مطابق تحقیقات انجام‌گرفته، ارتباط مستقیم و مثبتی میان افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش بیوسنتز ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و آنتوسیانین در پاسخ به تیمار براسینواستروئیدها وجود دارد (Ahammed et al., 2013). به گزارش کو و همکاران (Kou et al., 2023) تیمار براسینولید از طریق تأثیر مثبت بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش در بیوسنتز و تجمع ترکیبات فنلی و آنتوسیانین میوه هلو (*Prunus persica* L. Batsch) ارقام 'Baifeng' و 'Weiduanmihong' موجب بهبود کیفیت ظاهری محصول شد. نتایج جی و همکاران (Ge et al., 2015) نشان داد که افزایش در فعالیت آنزیم‌های مسیر بیوسنتز ترکیبات فنلی از جمله

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنتی اکسیدانی کل

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه توت فرنگی در پایان دوره نگهداری (۱۰ روز در دمای 1 ± 1 درجه سانتی گراد و ۲۴ ساعت در شرایط دمای اتاق) داشت و مطابق شکل ۳، بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی کل در نمونه های تیمار شده با ۲۴- اپی براسینولید سه میکرومولار مشاهده شد. تأثیر براسینواستروئیدها و آنالوگ های آن در افزایش میزان متابولیت های ثانویه و فعالیت آنتی اکسیدانی کل میوه های ماندارین (Gutierrez-Villamil et al., 2023)، پرتقال خونی (Habibi et al., 2021) کلم بروکلی (Brassica oleracea L. var. italica) (Fang et al., 2021) میوه کارامبولا (Averrhoa carambola) (Min et al., 2022) و انار (Islam et al., 2022) در دوره پس از برداشت توسط محققان گزارش شده است.

آنزیم فنیل آلانین آمونیالیز و افزایش میزان فنل کل و فلاونوئید کل میوه های هلو در پاسخ به تیمار پس از برداشت براسینولید موجب حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه هلو شد. بیوستنز و تجمع متابولیت های ثانویه در پاسخ به تنظیم کننده های رشد گیاهی منجر به افزایش ترکیبات زیست فعال در محصولات باغی می شود که افزایش این ترکیبات علاوه بر تأثیر مثبتی که بر کیفیت محصولات باغی دارند، همچنین ارزش تغذیه ای و آنتی اکسیدانی محصول را نیز بهبود می بخشد، چرا که محصولات باغی غنی از ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی، آنتوسیانین ها و سایر ترکیبات با خاصیت آنتی اکسیدانی هستند. براساس نتایج به دست آمده از این آزمایش می توان نتیجه گرفت که کاربرد پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید به عنوان محرک خارجی تأثیر مثبت بر افزایش فعالیت آنزیم های فنیل آلانین آمونیالیز و تیروزین آمونیالیز به عنوان آنزیم های مؤثر در مسیر بیوستنزی ترکیبات فنلی داشت که همین امر منجر به افزایش در بیوستنز و تجمع ترکیباتی از جمله فنل کل (شکل a ۱)، فلاونوئید کل (شکل b ۱) و آنتوسیانین کل (شکل c ۱) میوه های توت فرنگی در پایان دوره نگهداری نسبت به نمونه شاهد شد.

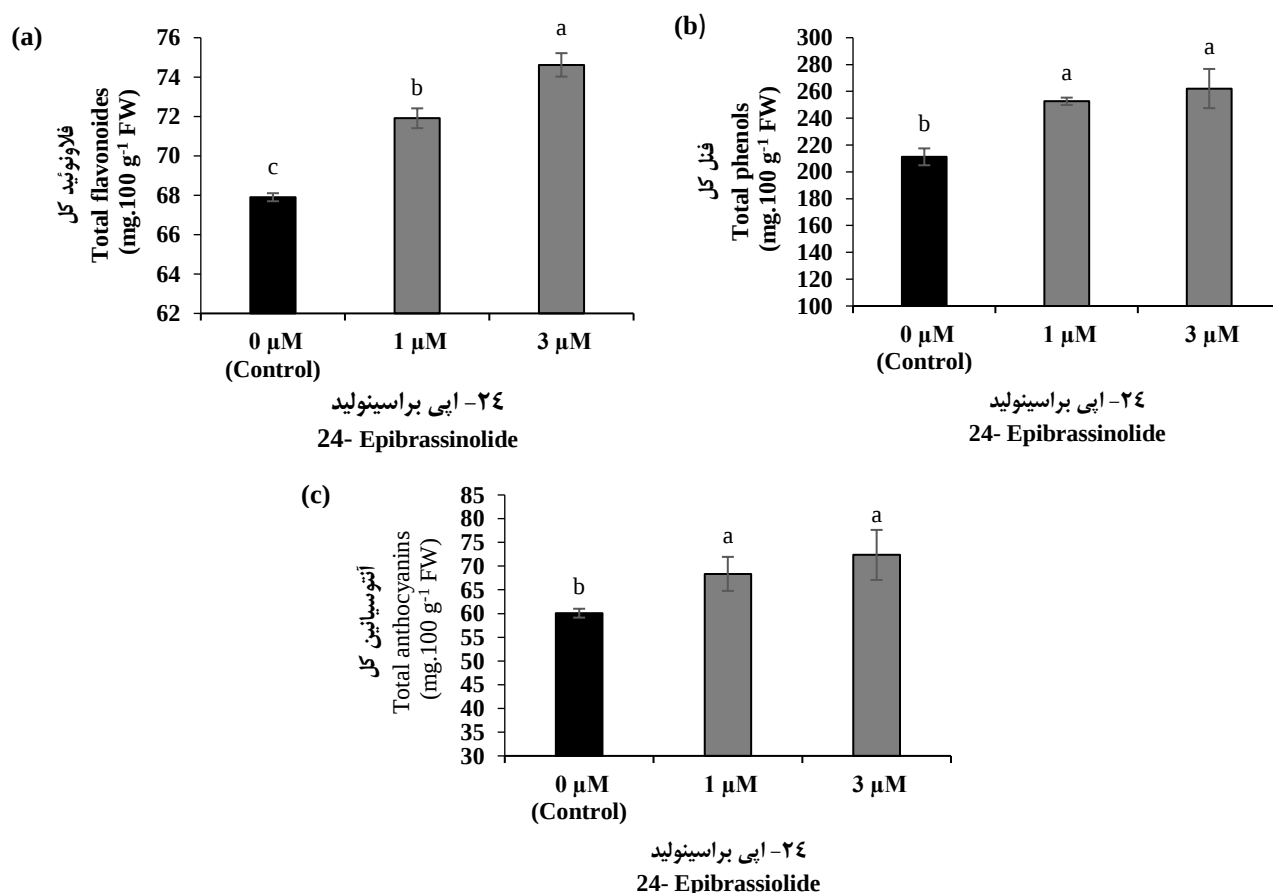
جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد ۲۴- اپی براسینولید بر صفات مورد ارزیابی میوه توت فرنگی رقم 'مونتری'

Table 2- ANOVA for the effect of 24- Epibrassinolide application on the evaluated traits of strawberry cv. Monterey fruit

میانگین مربعات Mean squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	فنل کل Total phenols	فلاونوئید کل Total flavonoides	آنتوسیانین کل Total anthocyanins	آنتی اکسیدانی کل Total antioxidant activity	آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیز Phenylalanine ammonia-lyase	آنزیم تیروزین آمونیا لیز Tyrosine ammonia lyase
۲۴- اپی براسینولید 24- Epibrassinolide	2	2201.8**	34.30**	240.2**	101.9**	32484156**	942478**
خطا Error	6	86.8	0.21	17.0	2.41	1111100	12191
ضریب تغییرات CV (%)		3.85	0.65	6.31	2.80	5.89	1.58
میانگین مربعات Mean squares							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	pH	اسیدیته قابل تیتراسیون TA	مواد جامد محلول TSS	شاخص طعم Taste	سفتی Firmness	بازارپسندی Marketability
۲۴- اپی براسینولید 24- Epibrassinolide	2	0.0053*	0.0012*	0.820**	24.09**	0.0017**	0.194**
خطا (Error) (Error)	6	0.0005	0.0002	0.009	0.27	0.0001	0.0
ضریب تغییرات CV (%)		0.72	4.98	2.11	3.08	8.51	0.0

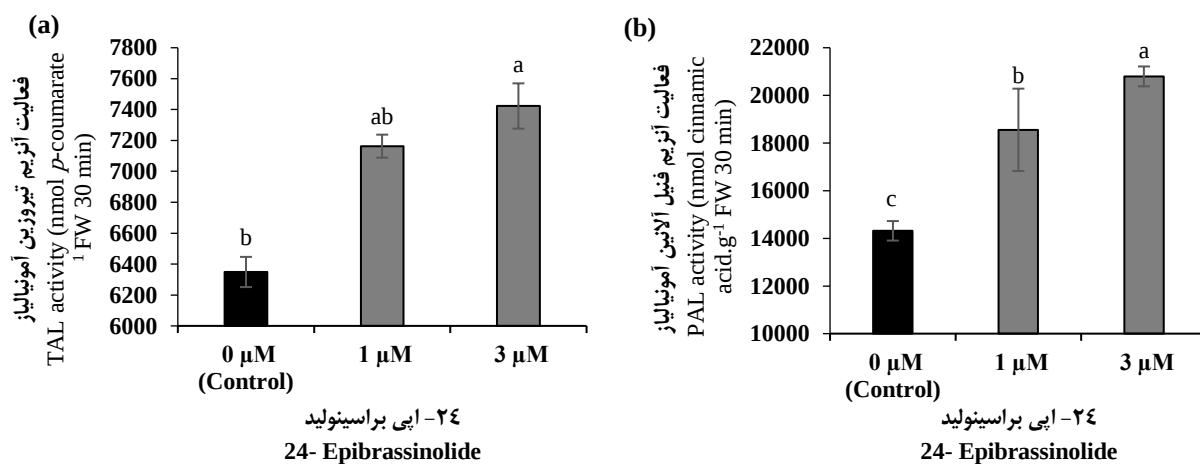
** و *: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively



شکل ۱- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر میزان فنل کل (a)، فلاونوئید کل (b) و آنتوسیانین کل (c) میوه توت فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 1- Effect of 24- Epibrassinolide on total phenols (a), total flavonoids (b) and total anthocyanins (c) of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT, $p \leq 0.01$)

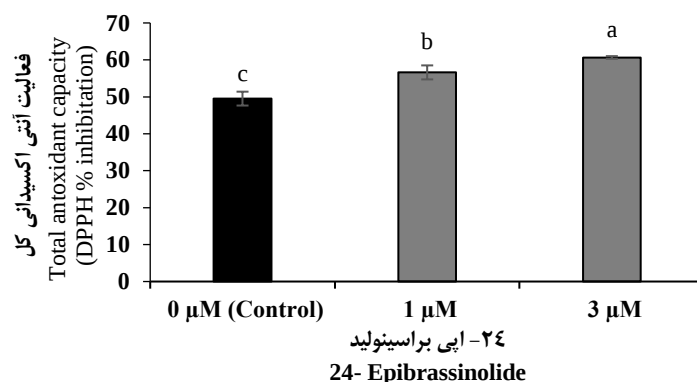


شکل ۲- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز (PAL) (a) و آنزیم تیروزین آمونیا لیاز (TAL) (b) میوه توت فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 2- Effect of 24- Epibrassinolide on the phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and tyrosine ammonia-lyase (TAL) activities of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT, $p \leq 0.01$)

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین متابولیت‌های ثانویه نظیر فنل کل ($r=0.89$)، فلاونوئید ($r=0.947$) و آنتوسیانین کل ($r=0.85$) با فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی در سطح احتمال یک درصد وجود دارد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه‌ها و سبزیجات به‌طور کلی بیان‌کننده غلظت ترکیبات زیست‌فعال نظیر اسید آسکوربیک، توکوفرول، کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی می‌باشد (Pennington & Fisher, 2009). مطابق نتایج جدول ضریب همبستگی (جدول ۳)،



شکل ۳- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 3- Effect of 24- Epibrassinolide on total antioxidant activity of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT, $p \leq 0.01$)

جدول ۳- جدول ضریب همبستگی بین بازارپسندی (Mark)، فنل کل (TPs)، فلاونوئید کل (TFs)، آنتوسیانین کل (TAs)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل (TAA)، آنزیم فنیل آلانین آمونیا لایاز (PAL)، تیروزین آمونیا لایاز (TAL)، pH، اسیدیته کل (TA)، مواد جامد محلول (TSS)، طعم (Taste) و سفتی (Firmness) در میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری'

Table 3- Correlation coefficient among marketability (Mark), total phenols (TPs), total flavonoids (TFs), total anthocyanin (TAs), total antioxidant activity (TAA), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), tyrosine ammonia-lyase (TAL), pH, total acidity (TA), total soluble solids (TSS), taste index and firmness of strawberry cv. Monterey fruit

	Mark	TPs	TFs	TAs	TAA	PAL	TAL	pH	TA	TSS	Taste	Firmness
Mark	1											
TPs	0.93**	1										
TFs	0.98**	0.91**	1									
TAs	0.90**	0.87**	0.84**	1								
TAA	0.96**	0.89**	0.97**	0.85**	1							
PAL	0.95**	0.85**	0.91**	0.84**	0.89**	1						
TAL	0.92**	0.83**	0.89**	0.85**	0.90**	0.93**	1					
pH	0.75*	0.76*	0.67*	0.78**	0.62 ^{ns}	0.76*	0.59 ^{ns}	1				
TA	-0.80**	-0.59 ^{ns}	-0.79**	-0.70*	-0.74*	-0.81**	-0.74*	-0.65*	1			
TSS	0.85**	0.92**	0.80**	0.84**	0.80**	0.81**	0.74*	0.87**	-0.53 ^{ns}	1		
Taste	0.96**	0.89**	0.92**	0.89**	0.89**	0.94**	0.86**	0.87**	-0.83**	0.90**	1	
Firmness	0.86**	0.75*	0.90**	0.64 ^{ns}	0.88**	0.84**	0.76*	0.53 ^{ns}	-0.81**	0.58 ^{ns}	0.79**	1

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

^{ns}, ** and *: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

۴b) در دوره پس از برداشت داشت. اسید سیتریک، اسید غالب میوه توت‌فرنگی بوده و حدود ۹۰ درصد از محتوای اسیدیته کل میوه توت‌فرنگی مربوط به اسید سیتریک می‌باشد. اسیدهای آلی تأثیر مستقیمی بر طعم محصول باغی دارند. در عین حال موجب تنظیم pH سلولی شده و می‌توانند نمود رنگدانه‌ها در بافت گیاهی را تحت تأثیر قرار

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر شاخص‌های کیفی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تیمار پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید نقش مؤثری در افزایش pH (شکل ۴a) و میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی (شکل ۴c) و کاهش میزان اسیدیته کل (اسیدیته قابل تیتراسیون) میوه‌ها (شکل

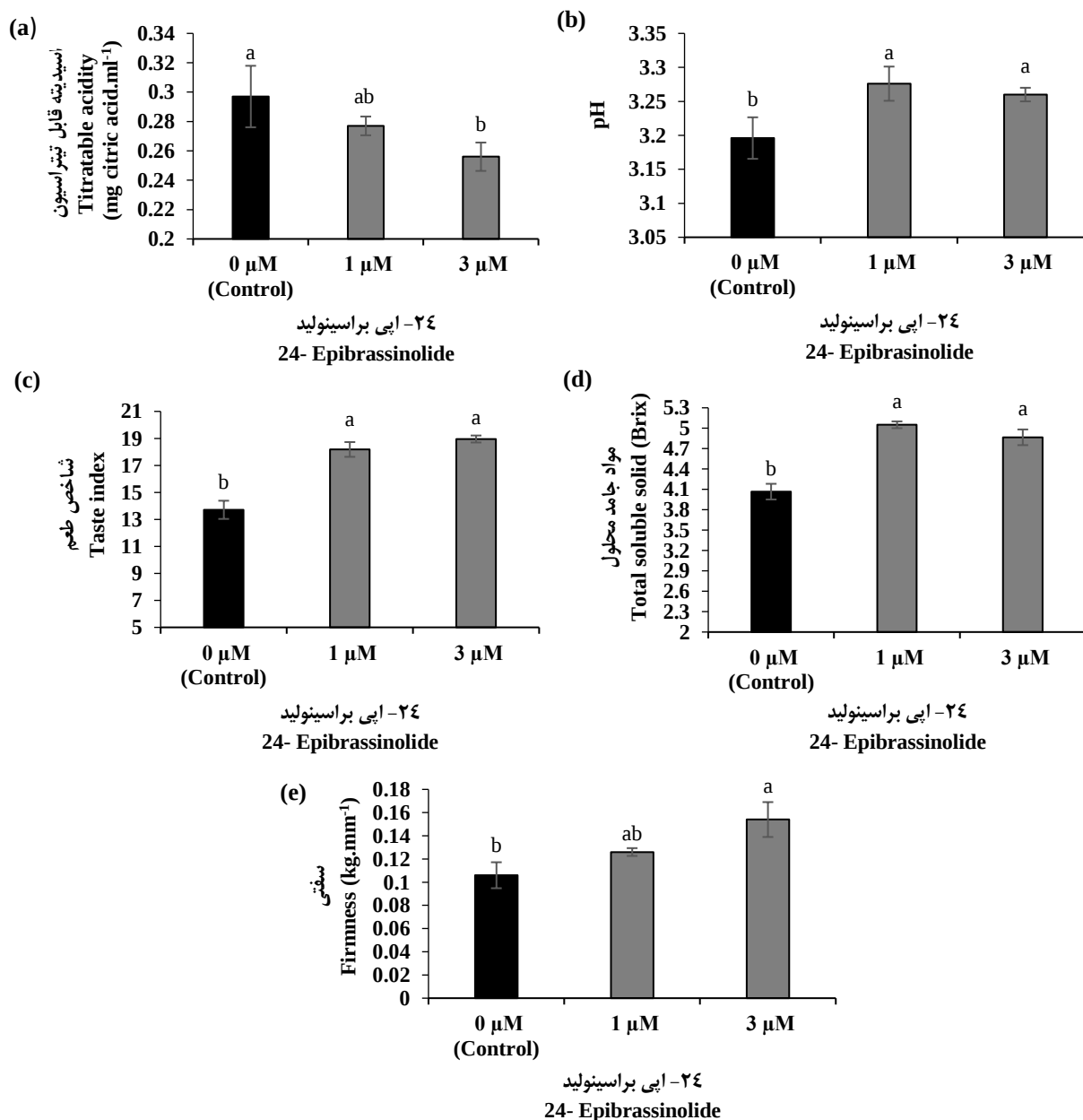
دهند (Montero et al., 1996). براسینوئیدها از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیوشیمیایی از قبیل رنگ، طعم و میزان ترکیبات زیست‌فعال، کیفیت و ماندگاری محصولات باغی را در دوره پس از برداشت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Gutierrez-Villamil et al., 2023). همچنین مطابق نتایج علی و همکاران (Ali et al., 2022)، کاربرد براسینوئید در غلظت‌های یک، دو و سه میکرومولار موجب افزایش pH و کاهش اسیدیته کل میوه توت‌فرنگی شد. همچنین براسینوئید در غلظت‌های یک و سه میکرومولار موجب افزایش میزان مواد جامد محلول و در غلظت دو میکرومولار موجب کاهش میزان مواد جامد محلول شد (Ali et al., 2022). کاربرد خارجی براسینوئیدها می‌تواند فعالیت‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی محصولات باغی را در دوره پس از برداشت تحت تأثیر قرار دهد و به دلیلی نقشی که در تنظیم بیان ژن، مهار حساسیت به هورمون‌های پیری، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدانی، تحریک بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه و حفظ تمامیت غشاء سلولی دارد، موجب حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی در دوره پس از برداشت شود که از آن جمله می‌توان به بهبود متابولیسم رنگدانه‌ها، ممانعت از فعالیت آنزیم‌های قهوه‌ای شدن نظیر پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز، به تأخیر انداختن نرم شدن بافت میوه به دلیل جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی، تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تنظیم انرژی در سلول‌ها، مهار فعالیت آنزیم لیپواکسیژناز و فسفالیپاز D، مهار نشت الکترولیتی و جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء سلولی که حفظ یکپارچگی غشا سلولی را به همراه دارد، اشاره کرد. مجموع این عوامل موجب مهار تنش اکسیداتیو در محصولات باغی برداشت‌شده می‌شود که از توسعه علائم مربوط به پیری و زوال محصول باغی جلوگیری کرده و در نتیجه حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری محصولات باغی را به-همراه دارد (Ali et al., 2019; Xiang et al., 2021).

نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته کل به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی طعم (شیرینی-ترشی) در محصولات نظیر پرتقال و توت-فرنگی لحاظ می‌شود (Ikegaya et al., 2019; Zhou et al., 2018). که این شاخص به‌عنوان یک شاخص کیفی مهم در جهت ارتقاء خواص حسی محصول و جلب رضایت مصرف‌کنندگان مورد توجه می‌باشد. در این پژوهش به‌دلیل تأثیری که ۲۴- اپی براسینوئید در کاهش میزان اسیدیته و افزایش میزان مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری داشته است موجب شده است که میوه‌های تیمار شده طعم (TSS/TA) بهتری نسبت به نمونه شاهد داشته باشند (شکل ۲ d).

سفتی یکی از ویژگی‌های مکانیکی محصولات باغی می‌باشد که تأثیر مستقیم بر کیفیت خوراکی و در نتیجه پذیرش محصول از طرف مصرف‌کنندگان دارد. همچنین حساسیت محصول به پوسیدگی‌ها و آلودگی‌های میکروبی، سائیدگی‌ها و سایر آسیب‌های مکانیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Diarte et al., 2022). سفتی بافت میوه توت-فرنگی در طی دوره نگهداری کاهش پیدا می‌کند و استفاده از روش‌های مختلف نگهداری، پوشش‌های خوراکی و الیستورها می‌توانند تأثیر معنی‌داری در حفظ سفتی بافت میوه توت‌فرنگی در دوره پس از برداشت داشته باشند (Doving et al., 2005). در این پژوهش، ۲۴- اپی براسینوئید سه میکرومولار تأثیر مثبت و معنی‌داری بر حفظ سفتی بافت میوه توت‌فرنگی داشت ($p < 0.01$). طبق گزارش احمد و همکاران (Ahmad et al., 2024) تیمار پس از برداشت براسینوئید با غلظت ۱۰ میکرومولار موجب حفظ کیفیت، کاهش شدت تنفس و حفظ سفتی بافت میوه فلفل دلمه‌ای شد. همچنین تأثیر تیمار براسینوئید در حفظ سفتی و افزایش ماندگاری میوه لیمو لایم *Citrus latifolia* ارقام 'Tahiti' و 'Persian lime' (Tavallali, 2018) و انگور *Vitis vinifera* cv. Rish Baba (Pakkish et al., 2019) توسط محققان گزارش شده است. از طرف دیگر، کاربرد براسینوئید در برخی از محصولات تأثیر متفاوتی نشان داده است، به-طوری‌که موجب تسریع فرایند رسیدن و نرم شدن بافت میوه در برخی محصولات فرازگرا نظیر خرمالو (*Diospyros kaki* L.) (He et al., 2018) و انبه (*Magnifera indica* L.) (Zaharah et al., 2012) شده است. فرایند کاهش سفتی و یا نرم شدن بافت میوه، پروسه‌ای بسیار پیچیده و دقیق می‌باشد که توسط مجموعه‌ای از واکنش‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی و تغییرات متابولیکی کنترل می‌شوند و تمامی این فعالیت‌ها در ارتباط کامل با هم بوده و از طرفی تحت تأثیر عوامل خارجی از جمله شرایط محیطی (دما، نور و رطوبت) قرار می‌گیرند. بنابراین هرگونه تغییر در متابولیسم دیواره سلولی (به‌دلیل فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی و تغییر در ساختار دیواره سلولی)، هورمون‌های گیاهی (نظیر اتیلن، اسید آسبیزیک، اکسین، براسینوئیدها و ...)، فاکتورهای رونویسی (BZR, ... و تغییرات اپی ژنتیک (متیلاسیون DNA، دمتیلاسیون هیستون‌ها و استیلاسون هیستون‌ها) می‌تواند موجب تغییر در میزان سفتی بافت میوه شود (Peng et al., 2022). تحقیقات انجام‌گرفته نشان می‌دهد که براسینوئیدها پتانسیل خوبی در ممانعت از فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده دیواره سلولی نظیر پکتین متیل استراز، پلی گالاکتروناز، β -گالاکتوزیداز و پکتین لیاز دارند. از طرف دیگر، افزایش میزان پروتوپکتین، یون کلسیم و پکتین دیواره سلولی در

محلول در آب و پکتین محلول-یونی و با جلوگیری از تضعیف پیوند کووالانسی پکتین از فعالیت آنزیمهای هضم کننده دیوار سلولی جلوگیری کرده و در عین حال مانع بیان ژنهای آنزیمهای هضم کننده دیواره سلولی شده است (Li et al., 2023).

پاسخ به تیمار براسینواستروئیدها در طی دوره رشدونمو محصول از دلایل دیگر نقش براسینواستروئیدها در افزایش سفتی بافت محصولات باغی گزارش شده است (Peng et al., 2004). در دوره پس از برداشت، تیمار براسینواستروئید با ممانعت از افزایش پکتین

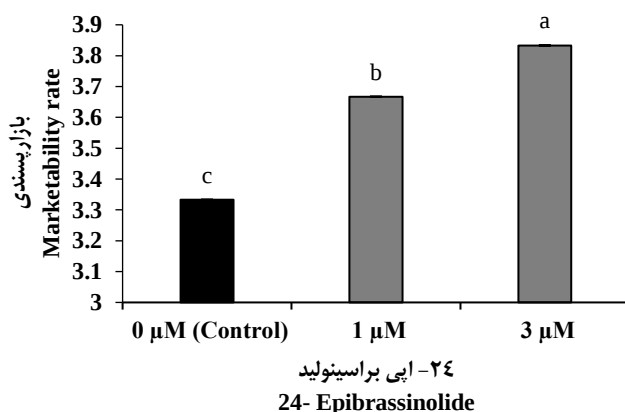


شکل ۴- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر pH (a) و اسیدیته قابل تیتراسیون (b) ($p \leq 0.05$) و میزان مواد جامد محلول (c)، شاخص طعم (d) و سفتی (e) ($p \leq 0.01$) میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 4- Effect of 24- Epibrassinolide on pH (a) and titratable acidity (b) ($p \leq 0.05$), and total soluble solid (c), taste index (d) and firmness (e) ($p \leq 0.01$) of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT)

تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر بازارپسندی

مطابق جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت 24-EBL تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر بازارپسندی میوه توت‌فرنگی در پایان دوره نگهداری داشت (جدول ۲). رنگ، سفتی و انسجام ساختاری محصول، عاری بودن از علائم پوسیدگی، عدم پژمردگی، عطر و طعم مطلوب محصول عواملی هستند که بر بازارپسندی محصول و در نتیجه بر تصمیم مصرف‌کنندگان برای خرید یک محصول با کیفیت تأثیر مستقیم دارند. افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان در خصوص استفاده از ترکیبات سالم و دوستدار



شکل ۵- تأثیر ۲۴- اپی براسینولید بر میزان بازارپسندی میوه توت‌فرنگی رقم 'مونتری' در پایان دوره نگهداری

Figure 5- Effect of 24- Epibrassinolide on the marketability of strawberry cv. Monterey fruit at the end of storage period (DMRT, $p \leq 0.01$)

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد پس از برداشت ۲۴- اپی براسینولید موجب افزایش غلظت ترکیبات فنلی میوه توت‌فرنگی شد که این افزایش هم‌راستا با افزایش فعالیت آنزیم‌های مهم در مسیر بیوسنتز ترکیبات فنلی بود. افزایش میزان متابولیت‌های ثانویه همبستگی مثبت با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت-فرنگی داشت. همچنین بازارپسندی میوه توت فرنگی در پایان دوره نگهداری متأثر از شاخص‌های کیفی و متابولیت‌های ثانویه بود.

بنابراین استفاده از ۲۴- اپی براسینولید روشی مؤثر در جهت بهبود کیفیت خواص حسی و بهبود ارزش تغذیه‌ای میوه توت‌فرنگی به‌عنوان محصولی پرمصرف و با ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای بالا می‌باشد.

سپاسگزاری

از حمایت مالی و معنوی دانشگاه ارومیه در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم.

References

1. Aghdam, M.S., Palma, J.M., & Corpas, F.J. (2020). NADPH as a quality footprinting in horticultural crops marketability. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.002>
2. Ahamad, S., Asrey, R., Vinod, B.R., Meena, N.K., Menaka, M., Prajapati, U., & Saurabh, V. (2024). Maintaining postharvest quality and enhancing shelf-life of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) using brassinosteroids: A novel approach. *South African Journal of Botany*, 169, 402-412. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.049>
3. Ahammed, G.J., Zhou, Y.H., Xia, X.J., Mao, W.H., Shi, K., & Yu, J.Q. (2013). Brassinosteroid regulates secondary metabolism in tomato towards enhanced tolerance to phenanthrene. *Biologia Plantarum*, 57(1), 154-158. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0128-9>

4. Ali, M.M., Anwar, R., Malik, A.U., Khan, A.S., Ahmad, S., Hussain, Z., Hasan, M.U., Nasir, M., & Chen, F. (2022). Plant growth and fruit quality response of strawberry is improved after exogenous application of 24-epibrassinolide. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1786-1799. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10422-2>
5. Ali, S., Anjum, M.A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S., & Ejaz, S. (2019). Effects of brassinosteroids on postharvest physiology of horticultural crops: A concise review. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(3), 62-68.
6. Beaudoin-Eagan, L.D., & Thorpe, T.A. (1985). Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. *Plant Physiology*, 78(3), 438-441. <https://doi.org/10.1104/pp.78.3.438>
7. Bellincontro, A., De Santis, D., Botondi, R., Villa, I., & Mencarelli, F. (2004). Different postharvest dehydration rates affect quality characteristics and volatile compounds of Malvasia, Trebbiano and Sangiovese grapes for wine production. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(13), 1791-1800. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1889>
8. Cao, S., Hu, Z., Zheng, Y., Yang, Z., & Lu, B. (2011). Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chemistry*, 125(1), 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.051>
9. Carlos, E., Lerma, T.A., & Martínez, J. M. (2021). Phytohormones and plant growth regulators—a review. *Journal of Science with Technological Applications*, 10, 27-65. <https://doi.org/10.34294/j.jsta.21.10.66>
10. Chai, Y.M., Zhang, Q., Tian, L., Li, C.L., Xing, Y., Qin, L., & Shen, Y.Y. (2013). Brassinosteroid is involved in strawberry fruit ripening. *Plant Growth Regulation*, 69, 63-69. <https://doi.org/10.1007/s10725-012-9747-6>
11. Cheng, G.W., & Breen, P.J. (1991). Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(5), 865-869. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.5.865>
12. Chun, O.K., Kim, D.O., Moon, H.Y., Kang, H.G., & Lee, C.Y. (2003). Contribution of individual polyphenolics to total antioxidant capacity of plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(25), 7240-7245. <https://doi.org/10.1021/jf0343579>
13. de Pascual-Teresa, S., & Sanchez-Ballesta, M.T. (2008). Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry reviews*, 7, 281-299. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9074-0>
14. Diarte, C., Iglesias, A., Graell, J., & Lara, I. (2022). Firmness and cell wall changes during maturation of 'Arbequina' olive fruit: The impact of irrigation. *Horticulturae*, 8(10), 872. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100872>
15. Doving, A., Mage, F., & Vestrheim, S. (2005). Methods for testing strawberry fruit firmness: a review. *Small Fruits Review*, 4(2): 11-34. https://doi.org/10.1300/J301v04n02_03
16. Fang, H., Zhou, Q., Cheng, S., Zhou, X., Wei, B., Zhao, Y., & Ji, S. (2021). 24-epibrassinolide alleviates postharvest yellowing of broccoli via improving its antioxidant capacity. *Food chemistry*, 365, 130529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130529>
17. Ferguson, L., & Lessenger, J.E. (2006). Plant growth regulators. *Agricultural Medicine: A Practical Guide*, 156-166. https://doi.org/10.1007/0-387-30105-4_15
18. Ge, Y.H., Li, C.Y., Tang, R.X., Sun, R.H., & Li, J.R. (2015). Effects of postharvest brassinolide dipping on quality parameters and antioxidant activity in peach fruit. In *III International Symposium on Postharvest Pathology: Using Science to Increase Food Availability*, 1144, 377-384. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1144.56>
19. Gutierrez-Villamil, D.A., Balaguera-López, H.E., & Alvarez-Herrera, J.G. (2023). Brassinosteroids improve postharvest quality, antioxidant compounds, and reduce chilling injury in 'Arrayana' mandarin fruits under cold storage. *Horticulturae*, 9(6), 622. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060622>
20. Habibi, F., Serrano, M., Zacarias, L., Valero, D., & Guillen, F. (2021). Postharvest application of 24-epibrassinolide reduces chilling injury symptoms and enhances bioactive compounds content and antioxidant activity of blood orange fruit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 629733. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.629733>
21. He, Y., Li, J., Ban, Q., Han, S., & Rao, J. (2018). Role of brassinosteroids in persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 2637-2644.
22. Hu, W., Sarengaowa, Guan, Y., & Feng, K. (2022). Biosynthesis of phenolic compounds and antioxidant activity in fresh-cut fruits and vegetables. *Frontiers in Microbiology*, 13, 906069. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.906069>
23. Ikegaya, A., Toyozumi, T., Ohba, S., Nakajima, T., Kawata, T., Ito, S., & Arai, E. (2019). Effects of distribution of sugars and organic acids on the taste of strawberries. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2419-2426. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1109>
24. Islam, M., Ali, S., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Shah, A.A., & Razzaq, K. (2022). Postharvest 24-epibrassinolide treatment alleviates pomegranate fruit chilling injury by regulating proline metabolism and antioxidant activities. *Postharvest Biology and Technology*, 188, 111906. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111906>

25. Kelly, K., Whitaker, V.M., & do Nascimento Nunes, M.C. (2016). Physicochemical characterization and postharvest performance of the new Sensation®'Florida127' strawberry compared to commercial standards. *Scientia Horticulturae*, 211, 283-2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.012>
26. Khatoon, F., Kundu, M., Mir, H., & Nandita, K. (2023). Exogenous Brassinolide Application Improves Growth, Yield and Quality of Strawberry Grown in the Subtropics. *Erwerbs-Obstbau*, 65(6), 2271-2279. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00981-x>
27. Khripach, V., Zhabinskii, V., & de Groot, A. (2000). Twenty years of brassinosteroids: steroidal plant hormones warrant better crops for the XXI century. *Annals of botany*, 86(3), 441-447. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1227>
28. Kou, Y., Ren, J., Ma, Y., Guo, R., Shang, J., Qiu, D., & Ma, C. (2023). Effects of Exogenous Substances Treatment on Fruit Quality and Pericarp Anthocyanin Metabolism of Peach. *Agronomy*, 13(6), 1489. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061489>
29. Lester, G.E., Lewers, K.S., Medina, M.B., & Saftner, R.A. (2012). Comparative analysis of strawberry total phenolics via Fast Blue BB vs. Folin-Ciocalteu: Assay interference by ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 102-107. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.003>
30. Li, J., Guo, T., Guo, M., Dai, X., Xu, X., Li, Y., Song, Z., & Liang, M., (2023). Exogenous BR delayed peach fruit softening by inhibiting pectin degradation enzyme genes. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1226921. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1226921>
31. Li, S., Zheng, H., Lin, L., Wang, F., & Sui, N. (2021). Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. *Plant Growth Regulation*, 93, 29-38. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00672-7>
32. Luan, L.Y., Zhang, Z.W., Xi, Z.M., Huo, S.S., & Ma, L.N. (2013). Brassinosteroids regulate anthocyanin biosynthesis in the ripening of grape berries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 34(2), 196-203.
33. Ma, F., An, Z., Yue, Q., Zhao, C., Zhang, S., Sun, X., Li, K., Zhao, L., & Su, L. (2022). Effects of brassinosteroids on cancer cells: A review. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 36(6), e23026. <https://doi.org/10.1002/jbt.23026>
34. Min, Z., Jiang, L., Zhao, Y., Wang, X., Liu, Q., & Zhang, Y. (2022). Effects of 24-epibrassinolide on the postharvest quality and antioxidant activities of blueberry fruits. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/01140671.2022.2128828>
35. Montero, T.M., Molla, E.M., Esteban, R.M., & Lopez-Andreu, F.J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(96\)00892-8](https://doi.org/10.1016/0304-4238(96)00892-8)
36. Nolan, T.M., Vukašinović, N., Liu, D., Russinova, E., & Yin, Y. (2020). Brassinosteroids: multidimensional regulators of plant growth, development, and stress responses. *The Plant Cell*, 32(2), 295-318. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00335>
37. Pakkish, Z., Ghorbani, B., & Najafzadeh, R. (2019). Fruit quality and shelf life improvement of grape cv. Rish Baba using Brassinosteroid during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 967-975. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-0011-2>
38. Peng, Z., Liu, G., Li, H., Wang, Y., Gao, H., Jemrić, T., & Fu, D. (2022). Molecular and genetic events determining the softening of fleshy fruits: a comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20), 12482. <https://doi.org/10.3390/ijms232012482>
39. Peng, J., Tang, X., & Feng, H. (2004). Effects of brassinolide on the physiological properties of litchi pericarp (Litchi chinensis cv. nuomoci). *Scientia Horticulturae*, 101(4), 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.11.012>
40. Pennington, J.A., & Fisher, R.A. (2009). Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, S23-S31. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.11.012>
41. Pereira-Netto, A. B. (Ed.). (2012). *Brassinosteroids: practical applications in agriculture and human health*. ebook, Curitiba- PR, Brazil, Bentham Science Publishers.
42. Rademacher, W. (2015). Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *Journal of plant growth regulation*, 34, 845-872. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9541-6>
43. Sanchez-Ballesta, M.T., Maoz, I., & Figueroa, C.R. (2022). Secondary metabolism and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1072193. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1072193>
44. Simkova, K., Veberic, R., Grohar, M.C., Pelacci, M., Smrke, T., Ivancic, T., Medic, A., Cvelbar Weber, N., & Jakopic, J. (2024). Changes in the Aroma Profile and Phenolic Compound Contents of Different Strawberry Cultivars during Ripening. *Plants*, 13(10), 1419. <https://doi.org/10.3390/plants13101419>
45. Simpson, D. (2018). The economic importance of strawberry crops. *The genomes of rosaceous berries and their wild relatives*, 1-7. Compendium of plant genomes. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76020-9_1
46. Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>

47. Song, Y., Hu, C., Xue, Y., Gu, J., He, J., & Ren, Y. (2022). 24-epibrassinolide enhances mango resistance to *Colletotrichum gloeosporioides* via activating multiple defense response. *Scientia Horticulturae*, 303, 111249. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111249>
48. Tang, J., Han, Z., & Chai, J. (2016). Q&A: what are brassinosteroids and how do they act in plants? *BMC biology*, 14, 1-5. <https://doi.org/10.1186/s12915-016-0340-8>
49. Tavallali, V. (2018). Vacuum infiltration of 24-epibrassinolide delays chlorophyll degradation and maintains quality of lime during cold storage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 17: 35-48. <https://doi.org/10.24326/asphc.2018.1.4>
50. Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., De Vos, C.R., Capanoglu, E., Bovy, A. & Battino, M. (2008). Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 56(3), 696-704. <https://doi.org/10.1021/jf0719959>
51. Xiang, W., Wang, H.W., & Sun, D.W. (2021). Phytohormones in postharvest storage of fruit and vegetables: mechanisms and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18), 2969-2983. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1864280>
52. Yadav, R.K., Devi, L.L., & Singh, A.P. (2023). Brassinosteroids in plant growth and development. In *Plant Hormones in Crop Improvement*, pp. 185-203. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91886-2.00004-5>
53. Yang, N., Zhou, Y., Wang, Z., Zhang, Z., Xi, Z., & Wang, X. (2023). Emerging roles of brassinosteroids and light in anthocyanin biosynthesis and ripeness of climacteric and non-climacteric fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(20), 4541-4553. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2004579>
54. Zhang, S.R., Li, C.Y., Xu, H.P., Liu, J.Q., & Ge, Y.H. (2023). Effect of postharvest brassinolide treatment on phenylpropanoid pathway and cell wall degradation in peach fruits. *Food Science*, 44(21), 175-179. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20230203-031>
55. Zaharah, S.S., Singh, Z., Symons, G.M., & Reid, J.B. (2012). Role of brassinosteroids, ethylene, abscisic acid, and indole-3- acetic acid in mango fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31, 363-372. <https://doi.org/10.1007/s00344-011-9245-5>
56. Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, 268, 109376. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109376>
57. Zhou, Y., He, W., Zheng, W., Tan, Q., Xie, Z., Zheng, C., & Hu, C. (2018). Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars. *Food Chemistry*, 259, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.102>
58. Zhu, X., Chen, Y., Li, J., Ding, X., Xiao, S., Fan, S., Song, Z., Chen, W., & Li, X. (2021). Exogenous 2, 4-epibrassinolide treatment maintains the quality of carambola fruit associated with enhanced antioxidant capacity and alternative respiratory metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 12, 678295. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.678295>