Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Evaluation of the effect of pre-harvest foliar application of chitosan and thymol coating on the quality and storage life of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit 'Parus' cultivar

Zeinab Ghasemi Arshad[1], Abdollah Ehtesham Nia[*2], Eisa Hazbavi[3], Hasan Moumivand[4], Morteza Soleymani Aghdam[5]

1. M.Sc. Student, Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: zeinabghasemiarshad@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Biosystem, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: hazbawi.i@lu.ac.ir
4. Associate Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. E-mail: mumivand.h@lu.ac.ir
5. Associate Prof., Dept. of Horticulture, Faculty of Agriculture, International University of Emam Khomeini, Iran. E-mail: aghdamm@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 07.11.2022
Revised: 07.25.2022
Accepted: 08.10.2022

Keywords:
Edible coating,
Fruit shelf life,
Fruit texture firmness,
Shelf life,
Soluble solids

ABSTRACT

Background and Objectives: The high sensitivity of strawberry fruit to fungal agents has led to a pretty short development for this valuable, useful fruit in the post-harvest period. On the other hand, the use of synthetic antifungal chemical compounds to increase the shelf life of this fruit has caused many concerns. In order to maintain the quality of strawberry fruit during storage, it is necessary to utilize safe methods of preventing spoilage. The aim of this study is to investigate the effect of chitosan, thymol essential oil and their combined use on the storage and shelf life of strawberries of Paros variety.

Materials and Methods: The study was conducted in the greenhouse of Lorestan University's Agricultural College in a completely randomized design. The first factor is the type of material with different concentrations in five levels including 0, 0.3%, 0.6%, the combination of chitosan with thymol 0.3% and 0.6% and the second factor is the storage time in four levels including 0, 9, 18, It was 27 days after storage. During storage, fruits were stored at 4 °C under relative humidity of 90 ± 5 and parameter measurements were taken, including weight loss, pH, fruit firmness, acidity (TA), soluble solids (TSS), and taste index, vitamin C, phenols and flavonoids, and the fruit shelf life during storage.

Results: All traits studied in the study showed significant effects of treatment type and storage time at the level of one percent probability based on analysis of variance results. There was a marked improvement in tissue firmness, vitamin C, taste index, phenolic compounds content, and durability in fruits treated with chitosan and thymol 0.3% and 0.6%. In all four measurement times, chitosan and thymol treatments had the highest levels of phenol, vitamin C and tissue stiffness (0.3 and 0.6 %), and the control had the lowest levels. There was a gradual decrease in fruit tissue firmness during storage, but this trend happened at a slower rate in the treated fruits.

Conclusion: Considering the increase of 7 and 9 days after harvest of combined treatment of chitosan and thymol 0.3% and 0.6% in comparison

with other treatments and control, therefore, pre-harvest application of chitosan and application of edible coating thymol can be recommended as a safe and low cost strategy to increase the postharvest life of strawberry fruit 'Parus' cultivar.

Cite this article: Ghasemi Arshad, Zeinab, Ehtesham Nia, Abdollah, Hazbavi, Eisa, Moumivand, Hasan, Soleymani Aghdam, Morteza. 2024. Evaluation of the effect of pre-harvest foliar application of chitosan and thymol coating on the quality and storage life of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit 'Parus' cultivar. *Journal of Plant Production Research*, 30 (4), 21-40.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20383.2951
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر کیفیت و عمر انبارمانی توت‌فرنگی 'رقم پاروس'

زینب قاسمی ارشد[۱]، عبداله احتشام‌نیا*[۲]، عیسی حزباوی[۳]، حسن مومیوند[٤]، مرتضی سلیمانی اقدم[٥]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: zeinabghasemiarshad@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
۳. استادیار گروه بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: hazbawi.i@lu.ac.ir
٤. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران. رایانامه: mumivand.h@lu.ac.ir
٥. دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ایران. رایانامه: aghdamm@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰٤/۲۰
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۵/۱۹

واژه‌های کلیدی:
پوشش خوراکی،
توت‌فرنگی،
سفتی بافت میوه،
عمر انبارمانی،
ماندگاری

چکیده

سابقه و هدف: توت‌فرنگی به‌دلیل تنفس بالا، مقدار زیاد آب، فعالیت متابولیکی بالا و حساسیت به پوسیدگی قارچی به‌ویژه کپک خاکستری، سریعا دچار فساد شده بنابراین طول انبارمانی پایینی دارد. از سوی دیگر، کاربرد ترکیبات شیمیایی مصنوعی ضدقارچی (کیتوسان) به‌منظور افزایش ماندگاری این میوه نگرانی‌های فراوانی به‌دنبال داشته است. به‌همین دلیل استفاده از روش‌های ایمن برای کنترل فساد و حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی در زمان نگهداری ضروری است. هدف از این مطالعه بررسی اثر کیتوسان، اسانس تیمول و استفاده ترکیبی آن‌ها بر نگهداری و افزایش ماندگاری توت‌فرنگی رقم 'پاروس' بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش، به‌صورت آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. عامل اول، نوع ماده (تیمول و کیتوسان) در غلظت‌های مشخص، در سه زمان محلول‌پاشی (گلدهی، تشکیل میوه، تغییر رنگ میوه) و در پنج سطح شامل صفر، تیمول ۰/۳ درصد، تیمول ۰/٦ درصد، ترکیب کیتوسان ۱/۵ درصد با تیمول ۰/۳ درصد و ترکیب کیتوسان ۱/۵ درصد با تیمول ۰/٦ درصد و عامل دوم زمان انبارداری در چهار سطح شامل صفر، ۹، ۱۸، ۲۷ روز پس از انبارمانی بود. میوه‌های برداشت شده در شرایط دمای چهار درجه سلسیوس و با رطوبت نسبی ۵±۹۰ درصد نگهداری شد و میزان کاهش وزن، pH، سفتی‌بافت میوه، اسیدیته (TA)، موادجامدمحلول (TSS) و شاخص طعم، ویتامین‌ث، فنل و فلاونوئید، ماندگاری میوه (تعداد روز) در دوره انبارمانی، مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع تیمار و مدت زمان انبارمانی بر صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. میوه‌های تیمار شده با ترکیب کیتوسان و تیمول ۰/۳و ۰/٦ درصد از سفتی‌بافت، ویتامین‌ث، فنل، فلاونوئید و مقدار اسیدیته بیش‌تر و ماندگاری بهتری نسبت به شاهد برخوردار بودند. در هر چهار زمان اندازه‌گیری، بالاترین میزان محتوای فنل، ویتامین‌ث و سفتی‌بافت مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ و ۰/٦ درصد و کم‌ترین میزان مربوط به شاهد بود. سفتی بافت میوه طی انبارمانی به‌تدریج کاهش یافت، اما این روند در میوه‌های تیمار شده به‌طور قابل‌توجهی با سرعت کم‌تری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری کلی: با توجه به افزایش ۹ و ۷ روزه عمر پس از برداشت تیمار ترکیبی کیتوسان و تیمول ۰/۳ و ۰/٦ درصد در مقایسه با دیگر تیمارها و شاهد، از این‌رو کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و کاربرد پوشش‌های خوراکی تیمول می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد ایمن و کم‌هزینه جهت افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم 'پاروس' قابل توصیه باشد.

استناد: قاسمی ارشد، زینب، احتشام‌نیا، عبداله، حزباوی، عیسی، مومیوند، حسن، سلیمانی اقدم، مرتضی (۱۴۰۲). بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر کیفیت و عمر انبارمانی توت‌فرنگی 'رقم پاروس'. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۴)، ۴۰-۲۱.

DOI: 10.22069/JOPP.2022.20383.2951

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

توت‌فرنگی با نام علمی *Fragaria × ananassa* Duch. از خانواده رزاسه است که منبع غنی از ویتامین‌ث و ترکیبات فنلی بوده و از فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالایی برخوردار است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی توت‌فرنگی به‌دلیل حضور آنتوسیانین و ویتامین‌ث است که از اکسیداسیون لیپوپروتئین‌های سبک در سلول‌های بدن انسان جلوگیری کرده و در نتیجه از فعالیت رادیکال‌های آزاد و کاهش قدرت حافظه جلوگیری می‌کند (۱). توت‌فرنگی از مهم‌ترین میوه‌های غیرفرازگرا می‌باشد که دارای ارزش اقتصادی بالایی است. میوه توت‌فرنگی باید در زمان بلوغ کامل که از حداکثر کیفیت ظاهری، تردی، رنگ، نداشتن پوسیدگی یا ناهنجاری‌های فیزیولوژیک، سفتی بافت و آبدار بودن، عطر و بوی مطلوب و ارزش تغذیه‌ای (ویتامین‌ها، عناصرمعدنی و فیبرهای خوراکی) برخوردار است، برداشت شود (۲). میزان تولید سالیانه توت‌فرنگی در دنیا ۳/۵ میلیون تن می‌باشد ولی به‌علت رشد سریع کپک بوتریتیس‌سینرا در حدود ۴۰-۳۰ درصد این محصول فاسد و غیرقابل استفاده می‌گردد (۳). در دهه‌های اخیر تلاش فراوانی در راستای افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی و حفظ ارزش تغذیه‌ای آن در شرایط پس از برداشت با روش‌هایی غیر از قارچ‌کش‌ها مانند اتمسفر کنترل شده، استفاده از ترکیبات حاوی کلسیم، استفاده از امواج فراصوت استفاده از نور فرابنفش، متیل جاسمونات و کاربرد فیلم‌ها و پوشش‌های گیاهی انجام شده است (٤). از دیگر راهکارهای کنترل تلفات و کاهش ضرر اقتصادی پس از برداشت میوه‌ها، استفاده از پوشش‌های خوراکی است. پوشش‌های خوراکی می‌توانند از طریق کاهش رطوبت و املاح، تبادل گازها، تنفس، سرعت واکنش‌های اکسیداتیو و هم‌چنین کاهش اختلالات فیزیولوژیکی موجب افزایش عمر نگهداری میوه‌های تازه شوند (۵). کیتوسان یک پوشش نیمه نفوذپذیر، طبیعی، غیرسمی، زیست تجزیه‌پذیر و دارای فعالیت ضداکسایشی می‌باشد که میزان عبور اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را کنترل نموده و روند تنفس را کند می‌کند و به این ترتیب فرآیند پیری میوه را به تاخیر می‌اندازد (٦). پژوهش‌ها نشان داده که کاربرد کیتوسان موجب افزایش سفتی بافت میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون، محتوای فنول کل و کاهش پوسیدگی و تاخیر در روند رسیدن میوه انگور (۷) شده است. اسانس‌ها مایعات روغنی فراری هستند که از بافت‌های مختلف گیاهی به‌دست می‌آیند و عموماً به‌عنوان طعم‌دهنده غذا استفاده می‌شوند. تیمول، یکی از مهم‌ترین اسانس‌ها، در برابر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها بسیار فعال است که به‌دلیل خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدویروسی، حشره‌کش و آنتی‌اکسیدانی آن‌ها، توجه اخیر به مواد طبیعی جایگزین منجر به آگاهی علمی جدیدی از این مواد شده است (۸). با این حال، تا آن‌جا که می‌دانیم، هیچ اثری در مورد تأثیر اسانس تیمول و ترکیب کیتوسان و اسانس تیمول بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کیفی میوه توت‌فرنگی تازه گزارش نشده است. بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی اثرات کیتوسان، اسانس تیمول و استفاده ترکیبی آنها در غلظت‌های مختلف بر کیفیت نگهداری و افزایش ماندگاری توت‌فرنگی رقم 'پاروس' می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار پنج گلدان، جمعاً بیست گلدان برای هر تیمار بر روی گیاه توت‌فرنگی رقم 'پاروس' انجام شد.

نشاءهای توت‌فرنگی از نهالستان موردتأیید جهاد کشاورزی استان کردستان تهیه و در گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۷ سانتی‌متر در بستر خاکی، کود دامی و ماسه با نسبت وزنی ۱:۱:۲ در اسفندماه پس از رفع نیاز سرمایی کشت شدند، گلدهی اول در فروردین ماه شروع شد. این گیاه به آب فراوان احتیاج دارد به‌خصوص در دوره رسیدن میوه، در غیر این صورت میوه‌ها کوچک باقی می‌مانند. این رقم توت‌فرنگی به‌دلیل روزکوتاه بودن، در روزهایی که بیش‌تر از ۱۳ ساعت نور به آن تابیده شود به‌جای گلدهی، ساقه خزنده می‌دهد و باردهی آن کاهش می‌یابد. توت‌فرنگی‌ها در شرایطی با درجه حرارت مطلوب در شبانه روز ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت‌نسبی بالای ٤۰ درصد در گلخانه رشد کردند. توت‌فرنگی در ابتدا به کود با فسفر بالا (۱۰-۵۲-۱۰) و در هنگام رشد رویشی از کود (۲۰-۲۰-۲۰) استفاده شد. در زمان تشکیل میوه و رشد میوه از کودهای پتاس بالا (۱۲-۱۲-۳٦) و بعد از تشکیل میوه استفاده از کود کلسیم- بور جهت رفع کمبود کلسیم و بور استفاده گردید. برداشت آن‌ها در اواسط فصل پاییز به‌دلیل روز کوتاه بودن انجام شد که بهتر است میوه را همراه با کمی از دم‌میوه و یک و دو برگ در هوای خنک برداشت شود، در واقع در سال، دوره برداشت آن در شرایط گلخانه به شش‌ماه می‌رسد. بوته‌های توت‌فرنگی در سه مرحله گلدهی، تشکیل میوه و تغییر رنگ میوه توسط تمامی تیمارها قبل از برداشت در گلخانه محلول‌پاشی شدند. به‌منظور تشکیل میوه‌های درشت و با کیفیت، گل‌گیری در گلدهی اول انجام شد و هم‌چنین برای ارزیابی عمر پس از برداشت میوه‌های توت‌فرنگی با استفاده از تیمارهای ذکر شده، پس از گلدهی دوم میوه‌ها در چین دوم (زمان رسیدن کامل این رقم یعنی شامل توت‌فرنگی‌هایی درشت با رنگ قرمز روشن، بافتی سفت و آبدار) برداشت شدند. میوه‌ها به یخچال با دمای ٤ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۵±۹۰ درصد در ظروف یک‌بار مصرف دربدار انتقال یافتند. سپس به فاصله هر ۹ روز یک‌بار در طول ۲۷ روز انبارمانی، خصوصیات بیوشیمیایی و کیفی میوه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای این آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب‌های تیماری قبل از برداشت میوه توت‌فرنگی رقم 'پاروس' با کیتوسان (CTS) و تیمول (Thymol).

Table 1. Pre-harvest treatment compounds of 'Parus' strawberry fruit with chitosan (CTS) and thymol (Thymol).

	تیمارها	محلول‌پاشی تیمارها
1	شاهد Control	قبل و بعد از برداشت از آب مقطر استفاده کنید Use distilled water before and after harvesting
2	تیمول ۰/۳ درصد Thymol 0.3%	محلول‌پاشی قبل از برداشت تیمول ۰/۳ درصد با کاربرد با توئین ۸۰ Spraying before harvesting thymol 0.3% with application of Tween 80
3	تیمول ۰/٦ درصد Thymol 0.6%	محلول‌پاشی قبل از برداشت تیمول ۰/٦ درصد با کاربرد با توئین ۸۰ Spraying before harvesting thymol 0.6% with Tween 80
4	کیتوسان ۱/۵ + تیمول ۰/۳ درصد CH 1.5% + Thymol 0.3%	محلول‌پاشی قبل از برداشت با کیتوسان ۱/۵ درصد+ تیمول ۰/۳ درصد با کاربرد توئین ۸۰ Foliar spraying before harvesting with chitosan 1.5% + thymol 0.3% using Tween 80
5	کیتوسان ۱/۵ + تیمول ۰/٦ درصد CH 1.5% + Thymol 0.6%	محلول‌پاشی قبل از برداشت با کیتوسان ۱/۵ درصد + تیمول ۰/٦ درصد با کاربرد توئین ۸۰ Foliar spraying before harvesting with chitosan 1.5% + thymol 0.6% using Tween 80

کیتوسان = CH و تیمول = Thymol

آماده‌سازی ترکیب کیتوسان با اسانس: کیتوسان مواد خوراکی به‌عنوان یک پلی‌ساکارید کاتیونی، دارای خواص بیولوژیکی و ضدقارچی است که می‌تواند یک سد نیمه‌تراوا بر روی سطح میوه ایجاد کند، جو آن را تغییر دهد و بلوغ و پیری را در طیف وسیعی از محصولات باغبانی به تعویق بیندازد (۹). استفاده از اسانس‌های روغنی طبیعی ضد میکروبی (مانند تیمول) در پوشش‌های خوراکی نیز امروز مورد توجه قرار گرفته است. گزارش شده است که اسانس به‌دست آمده از گیاه آویشن دارای اثر ضدباکتریایی، ضدقارچی و ضداکسیدانی بسیار زیادی است (۱۰). برای تهیه ترکیب کیتوسان با جرم مولکولی متوسط با ماده اسانس (تیمول)، ابتدا ۱/۵ درصد کیتوسان (وزنی/ وزنی) استفاده شده یعنی ۱/۵ گرم کیتوسان در ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر استفاده گردید، برای حل شدن بهتر ۵۰۰ میکرولیتر استیک‌اسید یک درصد (حجمی/ حجمی) به آن اضافه شد. به‌منظور افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری پوشش‌ها از پلاستی‌سایزرهای مختلف، معمولاً پلی‌اول‌ها، به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. گلیسرول یک پلاستی‌سایزر آبدوست است، هنگامی که به مقدار صحیح و با توجه به میزان مواد جامد مورداستفاده، اضافه شود می‌تواند به کاهش نیروها مولکولی و افزایش تحرک زنجیر پلیمر کمک کند، و هم‌چنین به‌عنوان نرم‌کننده به پراکندگی تحرک پلیمر کیتوسان کمک می‌کند. سپس گلیسرول ۲۰ درصد (وزنی/ وزنی) قطره قطره به محلول اضافه شد (۵ گرم گلیسرول در ۲۵ گرم محلول حل گردید و ۲۰ درصد آن درست شده). پی‌اچ، با استیک‌اسید یک درصد و سدیم‌هیدروکسید یک‌دهم نرمال تنظیم شد. پس از تنظیم پی اچ ۵/۵، ۲۰ درصد (وزنی/ وزنی) از ترکیب تیمول به‌عنوان یک ترکیب طبیعی داخل محلول گنجانده شد. سپس امولیسیون فایر تولید شده، با دمای ۴۰ درجه سونیک شدند. سپس محلول تولیده شده، داخل پتری‌دیش، ریخته در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت توسط آون خشک شد و در غلظت و حجم موردنظر استفاده گردید (۱۱).

صفات اندازه‌گیری‌شده

اندازه‌گیری مواد جامد محلول: مواد جامد محلول توت‌فرنگی‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. ابتدا میوه‌های توت‌فرنگی به روش پالمو و گروسو (۲۰۰۵)، با همزن مکانیکی به‌طور کامل و یکدست مخلوط شدند تا پوره همگن میوه به‌دست آید. با استفاده از رفراکتومتر ATAGO (مدل ان یک، ژاپن) مقدار مواد جامد محلول نمونه‌ها براساس درصد بریکس قرائت شد، پیش از شروع به‌کار، رفرکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید. پس از هر بار قرائت به دقت رفراکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد (۱۲).

کاهش وزن: نمونه‌هایی که برای این آزمون انتخاب شدند به‌طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. از هر ظرف ۳ میوه انتخاب گردید که در نهایت ۹ میوه برای سه تکرار بررسی شد. در روز اول پس از تهیه تیمارها وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ مدل GE120 اندازه‌گیری شد. در روزهای دیگر وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز پایانی بیانگر میزان کاهش وزن بوده که به‌صورت درصد کاهش وزن بیان شد (۱۲).

اسیدیته قابل تیتراسیون: اسیدیته براساس درصد اسیدسیتریک موجود در میوه با استفاده از روش پتانسیومتری توصیف شده توسط پالمو گروسو (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۵ گرم از مخلوط پوره میوه در بشر کوچکی ریخته شد و با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۱ استفاده گردید. اسیدیته قابل تیتر به‌صورت درصد اسیدسیتریک بیان شد. برای این منظور، مقدار

هیدروکسید سدیم مصرفی با استفاده از فرمول زیر تبدیل به درصد اسیدسیتریک شد (۱۳).

اندازه‌گیری pH میوه (درجه اسیدی): میزان پی‌اچ آب میوه با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌سنج (مدل، ۳۲۲۰، جنوبی) اندازه‌گیری شد. در هر نوبت اندازه‌گیری ابتدا دستگاه با بافرهای ٤ و ۷ کالیبره شد. سپس الکترود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد و پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، میزان پی‌اچ ثبت شد.

شاخص رسیدگی (شاخص طعم): نسبت TSS به TA با تقسیم TSS به درصد TA محاسبه گردید (۸).

سفتی بافت: سفتی بافت میوه با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج (Lutron FG5020, Taiwan) و با یکبار نفوذ میله نفوذکننده با قطر ۳ میلی‌متر به درون هر میوه انجام شد. سفتی بافت میوه براساس بیشینه نیروی لازم برای نفوذ میله در گوشت میوه و بر حسب کیلوگرم نیرو (Kgf) بیان گردید (۱۳).

ویتامین ث: محتوای ویتامین‌ث مطابق با روش تیتراسیون ٦،۲-دی‌کلروفنول‌ایندوفنل برآورد شد. به‌طور خلاصه، ۵ گرم توت‌فرنگی در ۵۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۲ گرم در میلی‌لیتر محلول اسیداگزالیک همگن شد و سپس در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. مایع رویی (۱۰ میلی‌لیتر) با ۰/۱ درصد ٦،۲- دی‌کلرو فنول‌ایندوفنول به رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت ویتامین‌ث با توجه به حجم تیتراسیون ٦،۲ دی کلروفنول ایندوفنول با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد و به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه (FW) بیان شد (۱٤).

تهیه عصاره توت‌فرنگی برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل و فلاونوئید کل: ۲/۵ گرم میوه توت‌فرنگی با نیتروژن مایع به‌طور کامل پودر شدند. سپس ۳۷/۵ میلی‌لیتر متانول حاوی ۰/۲ درصد استیک اسید به پودر توت‌فرنگی اضافه شد و به مدت ۲ ساعت در دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری شد. پس از عبور از صافی، به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شدند و مایع‌رویی شفاف برای تجزیه و تحلیل صفات مورد بررسی (محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل) در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (۱٤).

محتوای فنل کل (TPC)[1]: محتوای فنل کل با استفاده از روش فولین سیکالتیو مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه، برای هر لوله آزمایش، ۲۰۰ میکرولیتر عصاره، ۲ میلی‌لیتر از معرف فولین سیکالتیو ۱۰ درصد و ٤ میلی‌لیتر سدیم‌کربنات یک مولار اضافه شد. لوله آزمایش به‌مدت ۲ ساعت در دمای اتاق در تاریکی قرار گرفت. سپس نمونه‌ها در طول موج ۷٦۵ نانومتر (بلانک متانول) اندازه‌گیری شد. اسیدگالیک در غلظت‌های مختلف (صفر، ۳۱/۲۵، ٦۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰) به‌عنوان استاندارد استفاده شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم اکی‌والانت اسیدگالیک در گرم وزن میوه بیان شد (۱٤).

ارزیابی محتوای فلاونوئید کل: محتوای فلاونوئیدها با استفاده از روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. ۱۰۰۰ میکرولیتر عصاره توت‌فرنگی و ۵۰۰ میکرولیتر نیتریت‌سدیم ۵ درصد در یک فالکون ۱۰ میلی‌لیتری اضافه شد. پس از ٦ دقیقه، ۵۰۰ میکرولیتر نیترات آلومینویم ۱۰ درصد اضافه شد و اجازه داده شد به‌مدت ٦ دقیقه بماند. سپس ٤ میلی‌لیتر از هیدروکسید سدیم ٤ درصد و الکل اتیلیک ۷۰ درصد به فالکون‌ها اضافه و به مدت ۱۲ دقیقه اجازه داده شد تا بماند. در نهایت جذب در طول‌موج ۵۰۲ نانومتر (بلانک متانول) اندازه‌گیری شد. از ماده روتین (کوئرستین) در غلظت‌های مختلف (صفر، ۳۱/۲۵، ٦۲/۵، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰) برای رسم منحنی

1- Total phenol content

استاندارد استفاده شد و نتایج به صورت میلی‌گرم در گرم وزن میوه گزارش شد (١٤).

ماندگاری میوه (تعداد روز): ماندگاری میوه از طریق برداشت تا تاریخ انقضا ماندگاری محاسبه شده است. ماندگاری میوه با ثبت تعداد روزهایی که میوه‌هایی در زمان نگهداری بدون فاسد شدن در شرایط مناسبی قرار داشتند تعیین شد. زمانی که ٥٠ درصد میوه‌ها از بین رفتند پایان عمر میوه محاسبه گردید (٨).

تجزیه آماری داده‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار و هر تکرار پنج گلدان انجام شد. فاکتور اول، نوع مواد در غلظت‌های مشخص در پنج سطح (صفر، تیمول ٠/٣ درصد، تیمول ٠/٦ درصد، ترکیب کیتوسان ١/٥ درصد با تیمول ٠/٣ درصد، ترکیب کیتوسان ١/٥ درصد با تیمول ٠/٦ درصد) و فاکتور دوم زمان انبارداری در چهار سطح شامل صفر، ٩، ١٨، ٢٧ روز پس از انباری بود. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (v.9.1) انجام شد. برای رسم نمودار از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. داده‌ها به صورت میانگین خطاهای استاندارد ارائه شده و اختلاف معنی‌داری بین تیمارها برای هر صفت با حداقل اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشخص شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع تیمار به‌جز در شاخص طعم و اثر متقابل به‌جز در اسیدیته، مواد جامد محلول و شاخص طعم و فلاونوئید بر تمام صفات مورد بررسی معنی‌دار (سطح احتمال یک درصد) بوده است و اثر زمان در تمامی صفات معنی‌دار شد (جدول ١).

جدول ٢- تجزیه واریانس بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر کیفیت و عمر انبارمانی توت‌فرنگی رقم پاروس.

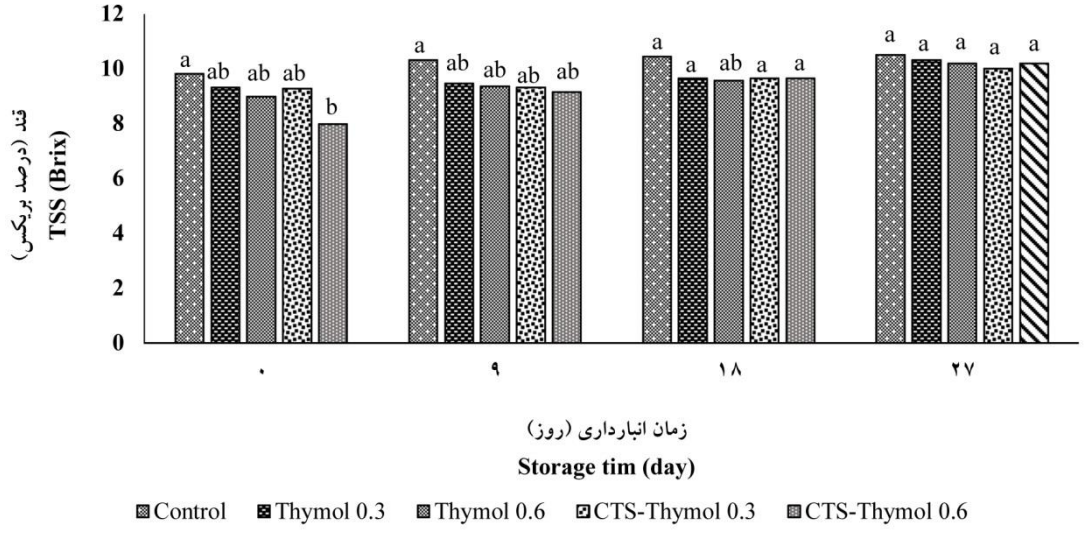
Table 2. Variance analysis of the effect of foliar spraying before harvesting chitosan and thymol coating on the quality and shelf life of Parus strawberry.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	کاهش وزن Weight Loss	پی‌اچ pH	سفتی Firmness	اسیدیته TA	مواد جامد محلول TSS	شاخص طعم TSS/TA	ویتامین ث Vitamin C	فنول کل Total phenolic	فلاونوئید Flavonoid
تیمار Treatment	4	275.84**	0.434**	0.961**	0.020**	1.725^{ns}	143.63**	136.02**	1.163**	0.057**
زمان انبارمانی Storage time	3	505.35**	1.979**	0.521**	0.016**	3.588*	151.93**	3165.97**	0.584**	0.024**
تیمار × زمان انبارمانی Treatment × Storage time	12	46.79**	0.0316*	0.273**	0.0001^{ns}	0.262^{ns}	1.317^{ns}	3.68^{ns}	0.098**	0.0016**
خطا Error	40	1.296	0.015	0.096	0.0012	0.956	6.205	6.19	0.028	0.0005
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	15.467	3.985	13.343	8.459	10.112	10.335	9.618	10.837	8.318

*، ** و ^{ns} وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

*, ** and ^{ns} Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively

مواد جامد محلول (TSS)[1]: نتایج مقایسه میانگین این آزمایش مربوط به مواد جامد محلول طی دوره انبارداری در دمای سرد نشان داد با افزایش زمان نگهداری توت‌فرنگی‌ها، مواد جامد محلول میوه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). در این آزمایش همه تیمار افزایش TSS داشتند اما روند افزایش تیمار کیتوسان با تیمول ۰/۳ درصد از همه کم‌تر می‌باشد (این تیمار از این نظر وضعیت بهتری دارد). به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار در روز اول مربوط به تیمار ترکیب کیتوسان و تیمول ۰/٦ درصد (۸ درصد) و در روز آخر بیش‌ترین میزان قند مربوط به تیمار شاهد (۱۰/۵۲ درصد) مشاهده شد. گزارش شده است. هرچه تغییرات مواد جامد محلول در طی نگهداری کم‌تر باشد نشان از به‌تعویق افتادن رسیدگی و پیری میوه توت‌فرنگی دارد (۱۲). افزایش مقدار مواد جامد محلول در این پژوهش می‌تواند مربوط به کاهش شدید وزن بر اثر از دست دادن رطوبت و تنفس میوه باشد زیرا که با تنفس، پلی‌ساکاریدها شکسته و تبدیل به ترکیبات ساده‌تر می‌گردد (۱۲). به‌عنوان مثال حل شدن بخشی از پلی‌اُرونیدها و همی‌سلولزهای دیواره سلولی توت‌فرنگی‌ها طی نگهداری می‌تواند موجب افزایش مواد جامد محلول گردد (۱۵). در مطالعه علیرضالو و همکاران (۱۳۹۷)، نمونه‌های توت‌فرنگی پوشش داده شده با کیتوسان حاوی عصاره چای سبز نشان داد که در طول مدت زمان نگهداری ۱٦ روز میزان مواد جامد محلول روند صعودی داشت. این افزایش در تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار بالاتر از تیمارهای پوشش‌دار بود. علت افزایش مواد جامد محلول می‌تواند مربوط به خروج رطوبت از توت‌فرنگی باشد. هم‌چنین بالاتر بودن میزان تنفس در نمونه‌های شاهد یکی دیگر از دلایل بالاتر بودن مواد جامد محلول می‌باشد. بدین‌صورت که افزایش میزان تنفس سبب افزایش تبدیل پکتین و پلی‌ساکاریدها به قندهای ساده می‌شود (۲).

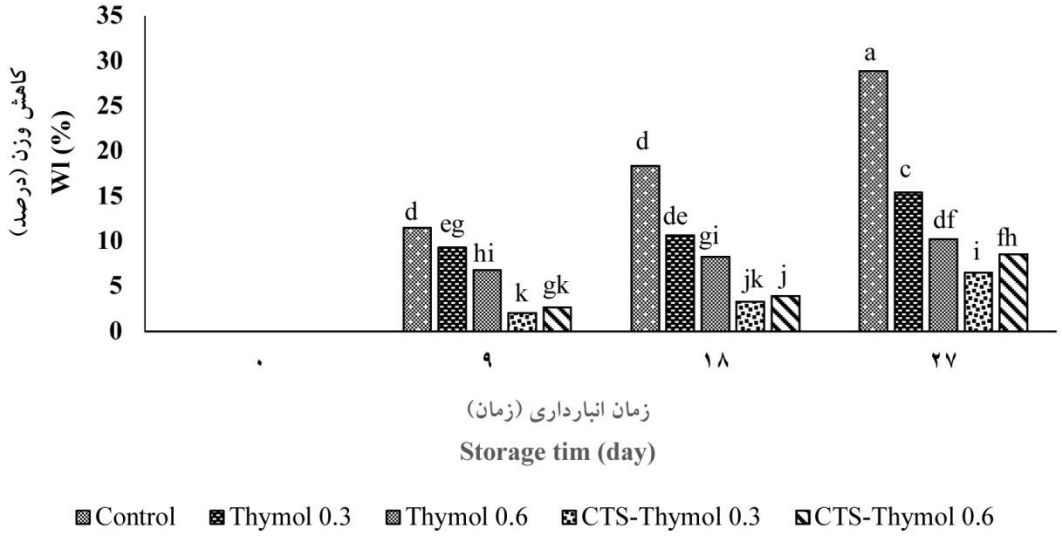


شکل ۱- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر موادجامد محلول کل بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 1. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on total soluble solids of Parus strawberry fruit tissue.

1- Total soluble solids

کاهش وزن (WL)[1]: درصد کاهش وزن یکی از ساده‌ترین و مهم‌ترین آزمون‌های ارزیابی ماندگاری و کیفیت توت‌فرنگی است. میانگین نتایج مربوط به میزان کاهش وزن نمونه‌های تیمار شده با کیتوسان و تیمول در این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج این آزمایش، با افزایش زمان نگهداری، تمامی نمونه‌ها به‌طور پیوسته کاهش وزن ناشی از تبخیر رطوبت را داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان کاهش وزن در روز آخر آزمایش مربوط به نمونه شاهد (۲۸/۸۷ درصد) و در همین روز کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد (٦/٥٣ درصد) بوده است. در نمونه‌های پوشش‌داده با کیتوسان افت وزن کم‌تری مشاهده شد. به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد که تلفیق تیمول در پوشش خوراکی مانند کیتوسان نیز بر جلوگیری از کاهش وزن توت‌فرنگی‌ها مؤثر بوده است. تغییرات کاهش وزن میوه در روزهای آخر به‌علت افزایش فعالیت متابولیکی و هم‌چنین رشد سریع میکروبی با تخریب بافت میوه می‌باشد. اسانس به‌عنوان سدی بین میوه و محیط پیرامون قرارگرفته، بنابراین تبادل‌های خارجی را کاهش داده و در نهایت جلوی از دست دادن آب میوه‌ها را می‌گیرد (١٦). نتایج این پژوهش نشان داد که به مانند سایر پوشش‌های خوراکی (کیتوسان)، تیمول نیز موجب جلوگیری از افت رطوبت و کنترل تغییرات تنفسی شد. به‌طورکلی این اثر مثبت پوشش‌های خوراکی مربوط به خصوصیات هیگروسکوپیک آن‌ها می‌باشد که موجب تشکیل یک مانع در مقابل آب میوه و محیط پیرامون می‌شود و در نتیجه از انتقال آن به خارج از میوه اجتناب می‌شود (١٧).

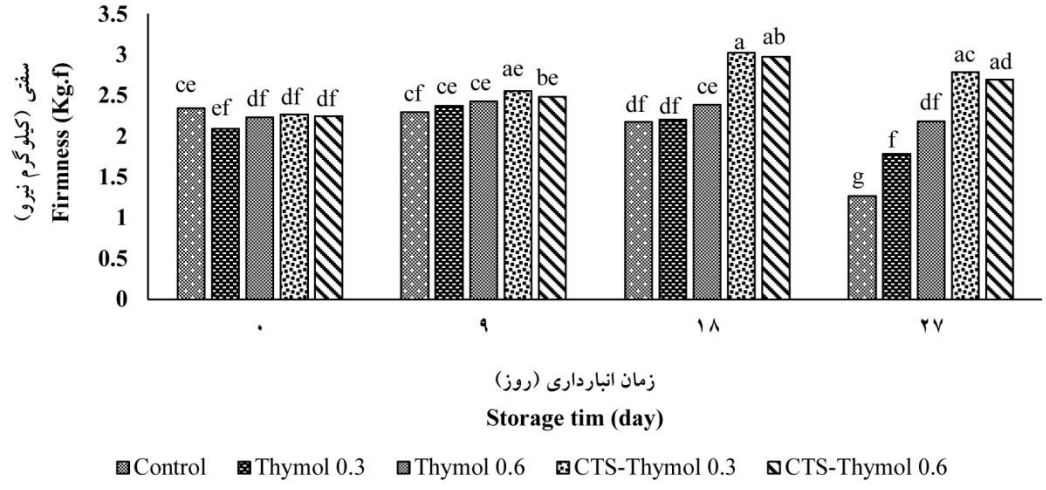


شکل ۲- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 2. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on fruit weight loss of Parus strawberry.

1- Weight loss

سفتی بافت (Firmness): سفتی، یک ویژگی مهم حسی، شاخصی از ماندگاری و کیفیت میوه است. میانگین نتایج مربوط به میزان سفتی بافت میوه در این آزمایش نشان داد طی ۲۷ روز نگهداری توت‌فرنگی‌ها در یخچال، سفتی بافت نمونه شاهد کاهش یافت، اما تغییرات سفتی بافت سایر تیمارها مطابق با الگوی مورد انتظار نبود. به‌طوری‌که با افزایش زمان، میزان سفتی بافت میوه در تیمار شاهد کاهش یافته اما در تیمارهای تیمول ۰/۳ درصد و تیمول ۰/٦ درصد تا روز ۹ افزایش و در تیمارهای ترکیبی کیتوسان با تیمول ۰/۳ درصد و ۰/٦ درصد تا روز ۱۸ به‌دلیل وجود ترکیب کیتوسان و اسانس تیمول افزایشی و بعد از آن روند کاهشی تا روز آخر مشاهده شد. درواقع بیش‌ترین میزان سفتی مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد (۳/۰۳ کیلوگرم نیرو) در روز ۱۸ و کم‌ترین میزان سفتی مربوط به تیمار شاهد (۱/۲۷ کیلوگرم نیرو) در روز آخر بوده است (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد که تیمول به‌تنهایی و تلفیق تیمول در پوشش خوراکی مانند کیتوسان بر سفتی توت‌فرنگی‌ها مؤثر بوده است. در مطالعه احتشام‌نیا و همکاران (۲۰۲۱)، انگورهای پوشش داده شده با کیتوسان و آلوئه‌ورا به‌طور قابل‌توجهی ($P<0/05$) سفت‌تر از میوه‌های تیمار شده با کیتوسان بودند (۷). میزان نرم شدن میوه به‌طور مستقیم با سرعت پوسیدگی ترکیبات پکتین دیواره سلولی از طریق فعالیت آنزیمی آنزیم‌های پکتین‌متیل‌استراز [1](PME) و پلی‌گالاکتروناز [2](PG) در طول رسیدن مرتبط است. کیتوسان فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌سلولی را کاهش می‌دهد و پوسیدگی قارچی را کاهش می‌دهد که در نتیجه می‌تواند سفتی بافت را در مقایسه با شاهد حفظ کند (۱۸). Cosme Silva و همکاران (۲۰۱۷) استحکام بیش‌تری را در میوه‌های انبه با افزایش پوشش کیتوسان گزارش کردند (۱۹). نتایج با سایر پژوهش‌های روی انبه، که نشان‌دهنده اثر خوب درمان ترکیبی با کیتوسان و آلوئه‌ورا بود، مطابقت داشت (۲۰). در نتیجه به‌نظر می‌رسد ترکیب کیتوسان با تیمول و تیمول به‌تنهایی در غلظت‌های پایین می‌توانند با کاهش فعالیت آنزیم‌های تخریب‌کننده دیواره‌سلولی، که پیری میوه را کاهش داده و باعث از دست دادن آب شود، بر حفظ سفتی در توت‌فرنگی تأثیر مثبت بگذارد.

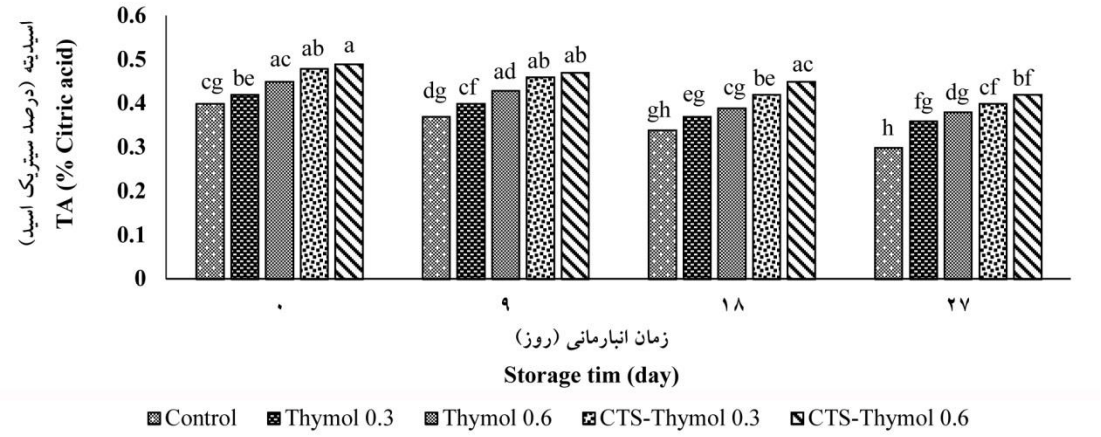


شکل ۳- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر سفتی بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 3. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on firmness of Parus strawberry fruit texture.

1- Pectin Methylesterases
2- Polygalacturonases

اسیدیته قابل‌تیتر (TA)[1]: نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها این آزمایش نشان داد که مقدار اسید قابل‌تیتر برای توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده بیش‌تر از نمونه‌های شاهد بود (شکل ٤). به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان اسید قابل‌تیتر (٤٩/ ٠ درصد اسید سیتریک) در روز صفر مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ٠/٦ درصد و کم‌ترین اسید قابل‌تیتر در روز آخر مربوط به تیمار شاهد (٠/٣ درصد اسیدسیتریک) مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد با گذشت زمان تیمول و تلفیق آن با کیتوسان سبب کاهش کم‌تر اسید قابل‌تیتر شده است. میزان اسید در میوه توت‌فرنگی طی زمان نگهداری به‌ویژه انبارهای با دمای پایین کاهش می‌یابد که می‌تواند به‌دلیل شکسته شدن اسید به قند در طول تنفس میوه باشد. البته در برخی مطالعات به فعالیت آنزیم طی نگهداری توت‌فرنگی اشاره شده است که سبب کاهش اسیدیته میوه می‌شود (٢١). هر چقدر میزان تنفس بالاتر باشد رسیدگی میوه بیش‌تر است و به تبع آن اسید قابل‌تیتر زودتر کاهش می‌یابد. پوشش‌دهی با کیتوسان و تیمول احتمالاً به‌دلیل ایجاد یک لایه محافظتی، از عبور گازها جلوگیری کرده و میزان تنفس میوه را کاهش می‌دهد که این امر باعث کاهش کم‌تر اسید قابل‌تیتر در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به شاهد می‌شود (٢). کاهش اسید قابل‌تیتر توت‌فرنگی در طول نگهداری به‌دلیل تغییرات متابولیکی در میوه می‌باشد که این تغییرات متابولیکی در نتیجه مصرف اسیدهای آلی در تنفس سلولی می‌باشد (٢٢).



شکل ٤- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر اسیدیته قابل‌تیتر بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

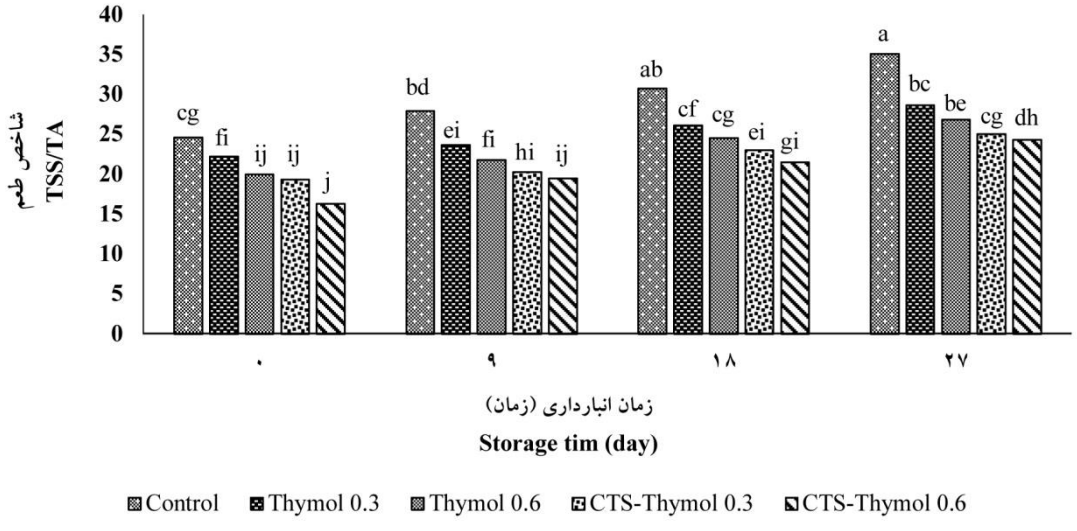
Fig. 4. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on titratable acidity of Parus strawberry fruit tissue.

شاخص طعم (TSS/TA): نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها این آزمایش نشان داد که نسبت TSS/TA با مدت زمان انبارداری افزایش یافت. میزان افزایش در میوه‌های گروه شاهد بیش‌تر از میوه‌های پوشش داده شده با کیتوسان بود. بیش‌ترین میزان نسبت TSS/TA مربوط به تیمار شاهد (٣٥/٠٦) در روز آخر و کم‌ترین این نسبت مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ٠/٦ درصد (١٦/٣٢) در روز صفر مشاهده شد (شکل ٥). افزایش بیش‌تر نسبت TSS/TA در میوه‌های گروه شاهد نشان‌دهنده تغییرات بیش‌تر میزان مواد جامد محلول و اسیدیته کل در این میوه‌ها در مقایسه با میوه‌های پوشش داده شده با کیتوسان است. پوشش کیتوسان با کاهش

1- Titratable acidity

فعالیت‌های متابولیکی و تنفس و کندکردن فرآیند پیری در میوه‌های تیمار شده، میزان تغییرات مواد جامد محلول و اسیدهای آلی را کاهش و بدین‌طریق میزان تغییرات نسبت TSS/TA را آهسته‌تر کرد.

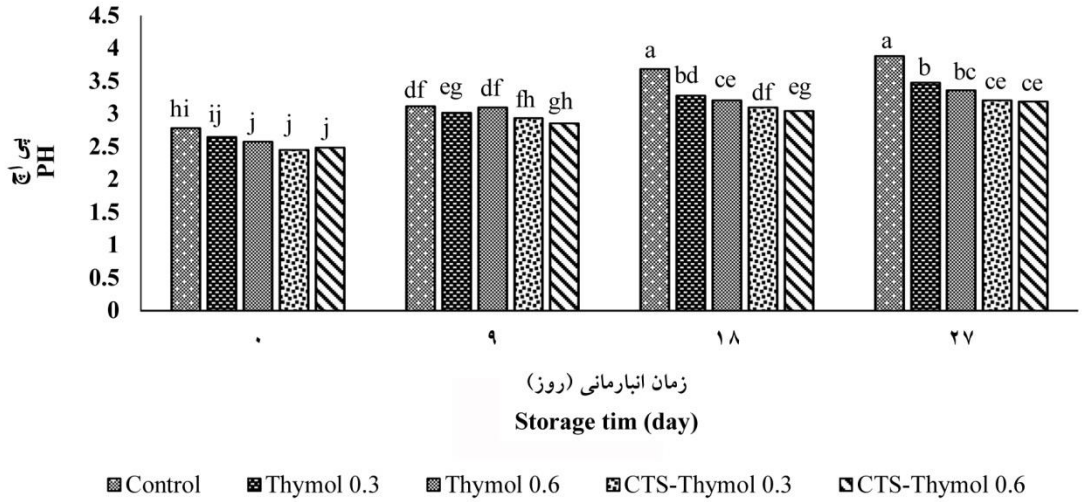
میزان تغییرات نسبت TSS/TA در طول دوره انبارداری در میوه‌های انار پوشش داده شده کیتوسان در مقایسه با شاهد کاهش یافت که با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد (٤).



شکل ٥- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر شاخص طعم بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 5. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on the taste index of Parus strawberry fruit texture.

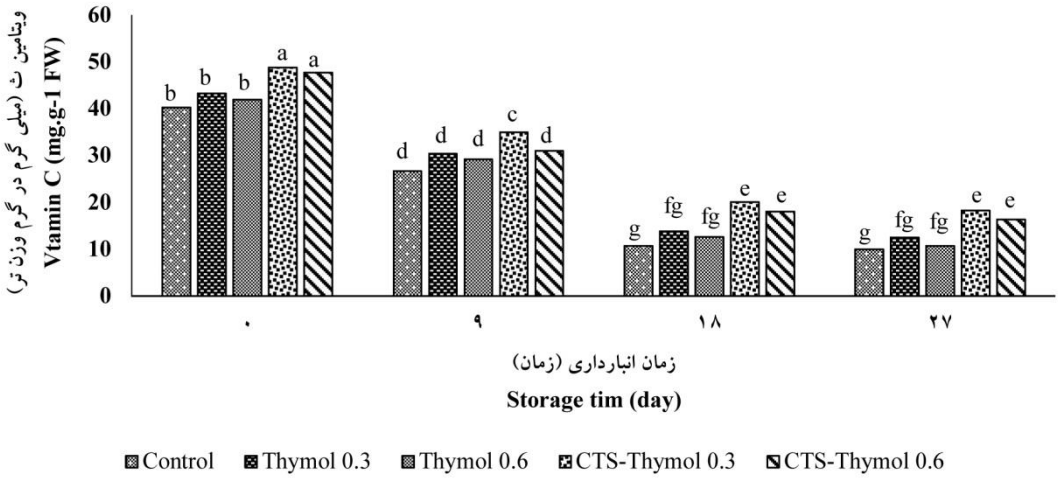
pH (درجه اسیدی): نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها این آزمایش نشان داد که در طول مدت زمان نگهداری میزان درجه اسیدی توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده و شاهد افزایش پیدا کرد ولی این افزایش در مورد تیمارهای شاهد بالاتر بود. درجه اسیدی توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده به‌صورت معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) کم‌تر از نمونه شاهد بود (جدول ۲). به‌طوری‌که کم‌ترین درجه اسیدی مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ در روز صفر (۲/٤٥) و بیش‌ترین میزان درجه اسیدی در روز آخر مربوط به تیمار شاهد (۳/۸۹) بوده است (شکل ٦). علت این تغییر احتمالاً می‌تواند مربوط به ممانعت‌کنندگی پوشش کیتوسان و اثرات ضدمیکروبی تیمول باشد که باعث کاهش میزان تنفس و رشد میکروب‌ها می‌شود. علت افزایش میزان درجه اسیدی در تیمار شاهد می‌تواند به دلیل عدم وجود پوشش مناسب در اطراف آن باشد که باعث افزایش میزان تنفس میوه و مصرف اسیدهای آلی باشد (۲۳). برخلاف اسید قابل‌تیتر، افزایش در درجه‌اسیدی آب میوه در طی زمان انبارمانی می‌تواند ناشی از اکسیداسیون اسیدهای آلی باشد که در طول دوره انبارداری میوه توت‌فرنگی اتفاق می‌افتد. کاهش اسیدیته کل و افزایش درجه اسیدی در طی انبارداری در میوه‌هایی مثل انگور (۲٤) و انار (٤) گزارش شده است. مورایس و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که استفاده از پوشش‌های خوراکی، تغییرات درجه اسیدی را در میوه کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به افزایش زمان ماندگاری و کیفیت خوراکی میوه توت‌فرنگی می‌شود (۲٥). هم‌چنین ولیکووا و همکاران (۲۰۱۳) در پوشش‌دهی توت‌فرنگی با کیتوسان نشان دادند که میزان افزایش درجه‌اسیدی در توت‌فرنگی‌های بدون پوشش بسیار بیش‌تر از نمونه پوشش‌دار بود (۲٦).



شکل ٦- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر درجه اسیدی بافت میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 6. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on pH of Parus strawberry fruit tissue.

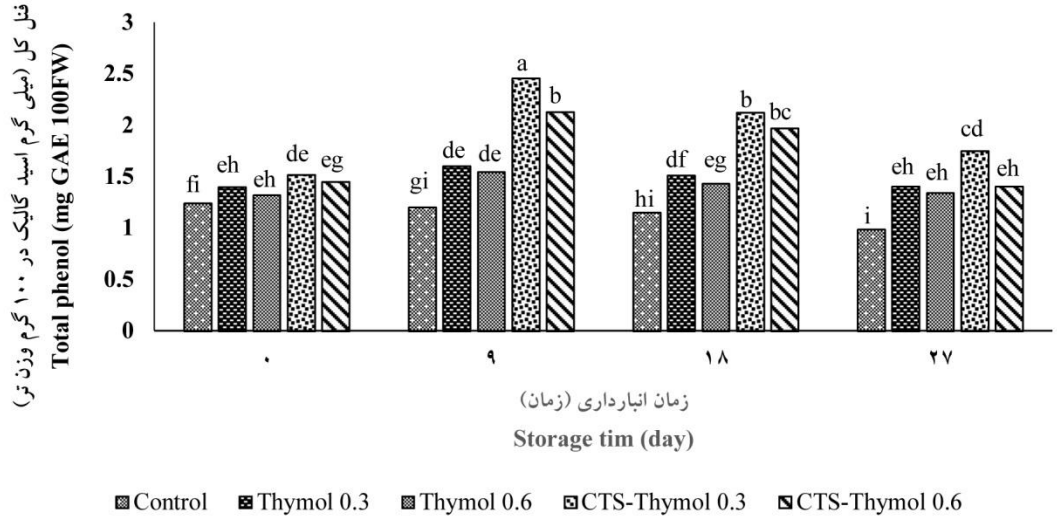
ویتامین‌ث: براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها اثرات متقابل تیمارهای ترکیبی کیتوسان با تیمول تأثیر مثبتی بر میزان ویتامین‌ث توت‌فرنگی در چهار زمان اندازه‌گیری داشتند. به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار ویتامین‌ث مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد (٤٨/٨٦ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در روز صفر و کم‌ترین میزان ویتامین‌ث مربوط تیمار شاهد درصد (۹/۹۵ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) در روز آخر مشاهده شد (شکل ۷). طی زمان انبارمانی در انبار میزان اسیدآسکوربیک توت‌فرنگی کاهش می‌یابد. این کاهش می‌تواند به‌دلیل اکسیدشدن اسید آسکوربیک در اثر محیط باشد. علاوه بر اکسیداسیون، افزایش pH در اثر فعالیت آنزیمی می‌تواند سبب نابودی اسیدآسکوربیک شود. ابتدا در اثر اکسیداسیون، اسیدآسکوربیک به دهیدرو L- آسکوربیک اسید و در صورت ادامه واکنش به دی‌کتو L- گلوکونیک تبدیل می‌شود که این مسیر غیرقابل برگشت است و در نتیجه افت شدیدی در میزان این ترکیب در زمان نگهداری توت‌فرنگی در انبار مشاهده می‌شود (۲۷). در نمونه تیمار به‌دلیل کنترل میزان ورود اکسیژن به داخل سلول و فعالیت آنزیمی میزان کاهش این ویتامین کم‌تر بود. در پژوهش Wang و Gao (۲۰۱۳) نیز کاهش میزان اسیدآسکوربیک با گذشت زمان گزارش شد (۲۸).



شکل ۷- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر میزان ویتامین‌ث میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 7. The effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on vitamin C content of Parus strawberry fruits.

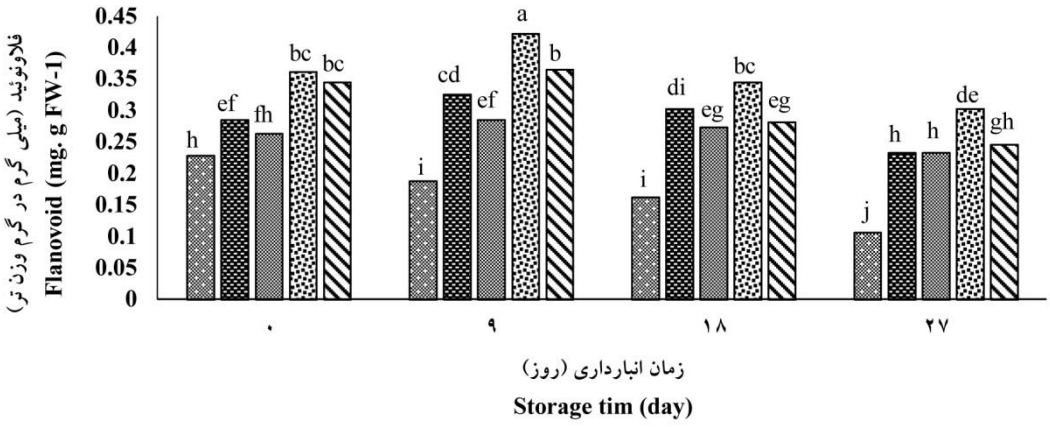
میزان فنل کل: مقایسه میانگین داده‌ها این آزمایش نشان داد که روند تغییر فنل طی دوره نگهداری میوه در همه تیمارها به‌جز شاهد تا روز ۹ افزایشی، اما پس ۹ روز میزان فنل کاهشی بود. به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان فنل مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد (۲/٤٥ میلی‌گرم اسیدگالیک در۱۰۰ گرم وزن تر) در روز ۹ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار شاهد (۰/۹۸ میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر) در روز آخر مشاهده شد (شکل ۸). نگهداری میوه‌های بالغ در سردخانه به‌طور معنی‌داری باعث افزایش فنل‌ها می‌گردد و این مسأله می‌تواند به واسطه تغییرات در متابولیسوم فنلی در طی انبارداری و هم‌چنین افزایش فعالیت فنیل‌آلانین آمونیالیاز باشد (۲۹). نوروزی‌فاز و همکاران (۱۳۹۵) گزارش کردند تیمار تیمول و منتول در سطح ۵ میکرولیتر به ترتیب ۱۵ و ۲٦/۸ درصد افزایش در ترکیب‌های فنلی را نسبت به شاهد باعث شدند (۳۰). قاسم‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که زردآلوهای تیمار شده با کیتوسان در مقایسه با شاهد از ترکیبات فنلی بیش‌تری برخوردار بودند (۳۱). امیری و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که مقدار مواد فنولی در آخرین روز نگهداری در میوه‌های بسته‌بندی شده با اسانس نعناع فلفلی با غلظت ۲٤ میکرولیتر/میلی‌لیتر اسانس بیش‌تر بود. آنزیم فنیل آلانین‌آمینولیاز، آنزیم کلیدی در چرخه فنیل پروپانوئید و متابولیسم ترکیبات فنولی می‌باشد. تیمار توت‌فرنگی با اسانس درخت چای باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین می‌گردد (۳۲).



شکل ۸- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر محتوای کل فنل میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 8. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on the total phenolic content of Parus strawberry fruit.

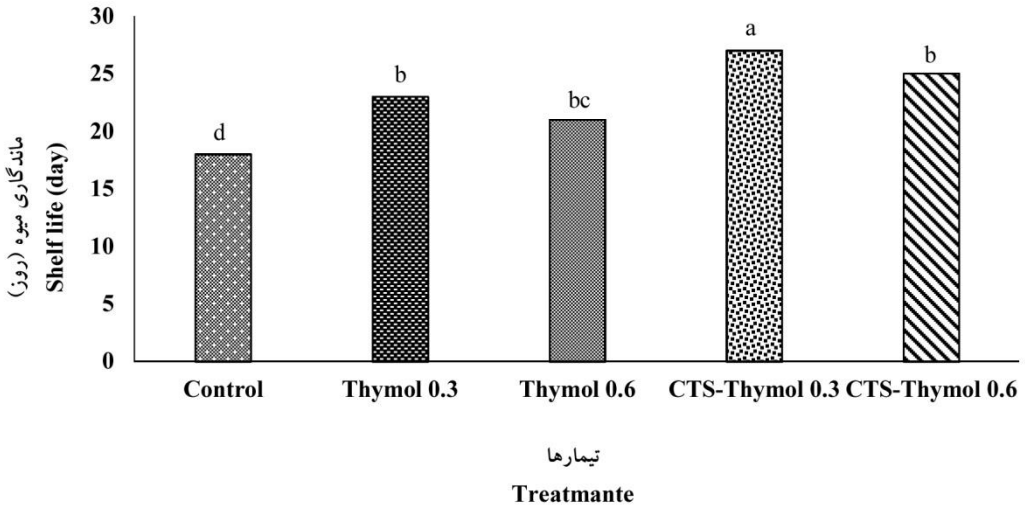
فلانوئید: فلاونوئیدها گروه عمده‌ای از خانواده ترکیبات فنلی با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و بیولوژیکی هستند که در میوه‌ها شناسایی شده‌اند (۳۳). همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است روند تغییر فلاونوئید طی دوره نگهداری میوه در همه تیمارها به‌جز شاهد تا روز ۹ افزایشی، اما پس ۹ روز میزان فلاونوئید کاهشی بود. به‌طوری‌که کم‌ترین محتوای فلاونوئید مربوط به شاهد (۰/۱۰ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در روز آخر و بیش‌ترین میزان فلاونوئید مربوط به تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد (۰/٤۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر) در روز ۹ انبارمانی بود. فلاونوئیدهای تیمارهای کیتوسان نسبت به شاهد افزایش یافته که نشان می‌دهد تیمار کیتوسان قبل از برداشت به‌طور قابل‌توجهی بر محتوای فلاونوئید تأثیر می‌گذارد (۳٤). آنزیم فنیل‌آلانین‌آمینولیاز، آنزیم کلیدی در چرخه فنیل پروپانوئید و متابولیسم ترکیبات فنولی می‌باشد. تیمار توت‌فرنگی با اسانس درخت چای باعث افزایش فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین می‌گردد (۳۵).



شکل ۹- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر میزان کل فلاونوئید میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 9. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on total flavonoid content of Parus strawberry fruit.

ماندگاری میوه (تعداد روز): تمام تیمارهای این مطالعه بر عمر ماندگاری توت‌فرنگی تأثیرگذار بودند. براساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰، کم‌ترین (۱۸ روز) و بیش‌ترین (۲۷ روز) ماندگاری میوه به‌ترتیب در تیمار شاهد و تیمار کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد است. مطالعات قبلی، ماندگاری انجیر تیمارشده ساکی و همکاران (۲۰۱۹) و انبه تیمارشده تادوری و همکاران (۲۰۱۷) به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از شاهد در طول دوره نگهداری بود (۸، ۳٦).



شکل ۱۰- تأثیر قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی تیمول بر ماندگاری میوه توت‌فرنگی رقم پاروس.

Fig. 10. Effect of pre-harvest chitosan and thymol coating on Parus strawberry fruit shelf life.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تیمار ترکیبی کیتوسان و تیمول ۰/۳ و ۰/٦ درصد، سبب بهبود صفات سفتی بافت میوه، ویتامین‌ث، محتوای ترکیبات فنلی، اسیدیته میوه توت‌فرنگی در مقایسه با دیگر تیمارها و شاهد گردید. هم‌چنین، استفاده از این تیمارها توانست عمر پس از برداشت این رقم را در مقایسه با شاهد ۷ روز (کیتوسان و تیمول ۰/٦) و ۹ روز (کیتوسان و تیمول ۰/۳) بهبود بخشد (در این آزمایش، بهترین تیمار، کیتوسان و تیمول ۰/۳ درصد می‌باشد). از این‌رو کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و کاربرد پوشش‌های خوراکی تیمول می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد ایمن و کم‌هزینه جهت افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی رقم 'پاروس' قابل توصیه باشد.

منابع

1.Chen, F. H., Liu, H., Yang, S., Lai, S., Cheng, Y., Xin, B., Yang, H., Hou, Y., Yao, S., Zhang, G. Bu. & Deng, Y. (2011). Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry*, 126, 450-459.

2.Alirezalu, K., Tavakolian, R. & Jaffarpour, P. (2018). Effect of postharvest application of chitosan coating containing green tea extract on quality characteristics and shelf life of Selva strawberry cultivar. *Research in Pomology*, 3 (1), 43-56.

3. Villa-Rojas, R., Sosa-Morales, M. E., Lopez-Malo, A. & Tang, J. (2012). Thermal inactivation of Botrytis cinerea conidia in synthetic medium and strawberry puree. *International Journal of Food Microbiology*, 155, 269-272.
4. Meighani, H., Ghasemnezhad, M. & Bakhshi, D. (2015). Effect of different coatings on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (7), 4507-4514.
5. Dhall, R. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. Critical Reviews in *Food Science and Nutrition*, 53, 435-450.
6. Romanazzi, G. (2009). Chitosan treatmentfor the control of postharvest decay oftable grapes, strawberries and sweet cherries. *Fresh Produce*, 4, 111-115.
7. Nia, A. E., Taghipour, S. & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest Aloe vera gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, 347, 129012.
8. Saki, M., ValizadehKaji, B., Abbasifar, A. & Shahrjerdi, I. (2019). Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13 (2), 1147-1158.
9. Baswal, A. K., Dhaliwal, H. S., Singh, Z., Mahajan, B., Kalia, A. & Gill, S. K. (2020). Influence of carboxy methylcellulose, chitosan and beeswax coatings on cold storage life and quality of Kinnow mandarin fruit. *Scientia Horticulturae*, 260, Article 108887.
10. Farajpour, P. & Sheykhlouei, H. (2021). Study on edible coating effect, based on Aloe vera gel and thymol on the postharvest quality and storage life of strawberry. *Journal of Food Science and Technology*, 18 (112), 81-95.
11. Fernández-Pan, I., Maté, J. I., Gardrat, C. & Coma, V. (2015). Effect of chitosan molecular weight on the antimicrobial activity and release rate of carvacrol-enriched films. *Food hydrocolloids*, 51, 60-68.
12. Tanada-Palmu, P. & Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films a coating on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology*, 36, 199-208.
13. Ehtesham Nia, A., Taghipour, S. & Siahmansour, S. (2021). Effect of Pre-harvest Application of Putrescine and Post Harvesting Aloe vera Gel on the Quality and Shelf Life of Table Grape (*Vitis vinifera* cv. 'Yaghouti'). *Journal of Horticultural Science*, 35 (1), 103-116.
14. He, Y., Bose, S. K., Wang, W., Jia, X., Lu, H. & Yin, H. (2018). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International journal of molecular sciences*, 19 (8), 2194.
15. Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110, 428-435.
16. Montero-Prado, P., Rodriguez-Lafuente, A. & Nerin, C. (2011). Active label-based packaging to extend the shelf-life of "Calanda" peach fruit: Changes in fruit quality and enzymatic activity. *Postharvest Biology and Technology*, 60, 211-219.
17. Aminifard, M. & Mohammadi, S. (2013). Essential oils to control *Botrytis cinerea* in vitro and in vivo on plum fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 348-353.
18. Mostofi, Y. W. & Asghari, M. (2010). Effect of C-UV irradiation on the control of gray rot and postharvest quality of strawberry (Selva). *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 41 (1), 46-39. [In Persian]
19. Cosme Silva, G. M., Silva, W. B., Medeiros, D. B., Salvador, A. R., Cordeiro, M. H. M., da Silva, N. M. & Mizobutsi, G. P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism

in mango (*Mangifera ndica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, 237, 372-378.

20. Shah, S. H. & Majid, S. (2020). Chitosan-*Aloe vera* gel coating delays postharvest decay of mango fruit. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61 (2), 279-289.
21. Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M. & Voilley, A. (2002). Factors affecting the moisture permeability of lipidbased edible films: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 67-89.
22. Maftoonazad, N., Ramaswamy, H.S. & Marcotte, M. (2008). Shelf-life extension of peaches through sodium alginate and methyl cellulose edible coatings. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 951-957.
23. Zivanovic, S., Li, J., Davidson, P. M. & Kit, K. (2007). Physical, mechanical, and antibacterial properties of Chitosan / PEO blend films. *Biomacromolecules*, 8, 1505-1510.
24. Shiri, M. A., Bakhshi, D., Chasemnezhad, M., Dadi, M., Papachatzis, A. & Kalorizou, H. (2013). Chitosan coating improves the shelf life and postharvest quality of table grape (*Vitis vinifera*) cultivar Shahroudi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 148-156.
25. Moraes, K. S., de Fagundes, C., Melo, M. C., Andreani, P. & Monteiro, A.R. (2012). Con-servation of Williams pear using edible coating with alginate and carrageenan. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, 32, 679-684.
26. Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D. & Moldão-Martins, M. (2013). Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh straw-berries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions. *Food Science and Technology*, 52, 80-92.
27. Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A. & Gonzalez-Martinez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biol. Technol*. 41, 164-71.
28. Wang, S. Y. & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x aranassa*). LWT - *Food Science and Technology*, 52, 71 79.
29. Leja, M., Mareczek, A. & Ben, J. (2008). Antioxidant properties of two apple cultivars during long-term storage. The Journal of *Food Composition and Analysis*, 21, 396-401.
30. Norouzi Faz, F., Mirdehghan, S., Karimi, H. & Alaei, H. (2016). Eeffect of thymol and menthol essential oils combined with packaging with celofan on the maintenance of postharvest quality of *strawberry cv. Parus*. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 47 (1), 81-91.
31. Ghasemnezhad, M., Shiri, M. A. & Sanavi, M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Journal of Enviromental Sciences*, 8, 25-33.
32. Amiri, A., Mortazavi, S. M. H., Mahmoodi sourestani, M., Kiasat, A. R. & Ramezani, Z. (2019). The Effect of Active Microbial Packaging on Postharvest Quality of Strawberry Fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 16 (87), 279-290.
33. Guo, X., Li, T., Tang, K. & Liu, R. H. (2012). Effect of Germination on phytochemical profiles and antioxidant activity of Mung Bean sprouts (*Vigna radiata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 11050-11055.
34. Bursac Kovacevic, D., Putnik, P., Uzelac Verica, D. & Livaj, B. (2015). Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams. *Food Chem*. 181, 94-100.
35. Shao, X., Wang, H., Xu, F. & Cheng, S. (2013). Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 94-101.
36. Taduri, M., Reddy, N. N., Lakshmi, J. & Josh, V. (2017). Effect of pre harvest treatments on shelf life and quality of mango CV. Amrapali. *The Pharma Innovation Journal*, 6(7), 54-59.