DOI: 10.48305/jhsr.v19i1.1485 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 19, No. 1, Spring

Received: 04.08.2022 Accepted: 03.12.2022 Published: 04.04.2023

The Effect of Cumin Essential Oil, Sumac Extract, and Chitosan Coating on the Shelf Life of Agaricus Bisporus

Maryam Rajaei[1], Mehrdad Jafarpour[2]

Original Article

Abstract

Background: The use of edible coatings and essential oils is important due to their biodegradability, shelf life, and quality characteristics of harvested products.

Methods: The present study was conducted in the form of a completely randomized design with 6 treatments including control, chitosan (2%), sumac extract (4%), cumin essential oil (5 µl), chitosan + sumac extract, and chitosan + cumin essential oil in 3 replications and qualitative characteristics of Agaricus bisporus mushroom were evaluated on days 0, 7, 14, and 21 of storage.

Findings: The highest tissue stiffness and antioxidant capacity was observed on the day 21 in cumin essential oil and control treatments, respectively. Malondialdehyde (MDA) increased with the increase of storage time from day 0 to day 21. The highest activity of polyphenol oxidase was obtained on the day 7 in the treatment of cumin essence. On the days 7, 14, and 21, the treatment with cumin essential oil and sumac extract showed the highest weight loss. The highest L^* color index was observed on day 0 in the control treatment and the highest a^* color index was observed on day 7 in chitosan and chitosan + sumac extract treatments. Under the treatment of chitosan on days 14 and 21 and chitosan + cumin essence on day 14, the lowest b^* color index was observed. The highest browning index was observed on days 7, 14, and 21 in chitosan + sumac extract, chitosan + cumin essence, and chitosan treatments.

Conclusion: The research treatments showed different results on the qualitative characteristics and shelf life of Agaricus bisporus mushroom. Cumin essential oil and sumac extract alone and in combination with chitosan during the storage period had an effect on the quality characteristics of Agaricus bisporus mushroom.

Keywords: Malondialdehyde; Polyphenol oxidase; Essential oil; Chitosan; Cuminum; Sumac

Citation: Rajaei M, Jafarpour M. **The Effect of Cumin Essential Oil, Sumac Extract, and Chitosan Coating on the Shelf Life of Agaricus Bisporus.** J Health Syst Res 2023; 19(1): 42-51.

1- MSc Student, Department of Horticultural Sciences, School of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Edible and Medicinal Mushroom Research Center AND Department of Horticultural Sciences, School of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Mehrdad Jafarpour; Associate Professor, Edible and Medicinal Mushroom Research Center AND Department of Horticultural Sciences, School of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
Email: jafarpour@khuisf.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

DOI: 10.48305/jhsr.v19i1.1485 Published by Vesnu Publications

تأثیر پوشش کیتوزان حاوی اسانس زیره سبز و عصاره سماق بر خصوصیات کیفی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (Agaricus bisporus)

مریم رجایی[1]، مهرداد جعفرپور[2]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: استفاده از پوشش‌های خوراکی و اسانس‌های روغنی به دلیل زیست تخریب‌پذیری، بهبود ماندگاری و بهبود خصوصیات کیفی محصولات برداشت شده حایز اهمیت است.

روش‌ها: پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار شامل شاهد، کیتوزان (۲ درصد)، عصاره سماق (۴ درصد)، اسانس زیره سبز (۵ میکرولیتر)، کیتوزان + عصاره سماق و کیتوزان + اسانس زیره سبز در سه تکرار اجرا گردید و خصوصیات کیفی قارچ تکمه‌ای در روزهای صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: بیشترین سفتی بافت و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در روز ۲۱ به ترتیب در تیمارهای اسانس زیره و شاهد گزارش شد. با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز صفر به ۲۱، محتوای مالون دی‌آلدئید (Malondialdehyde یا MDA) افزایش یافت. بیشترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در روز ۷ در تیمار اسانس زیره سبز به دست آمد. در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱، تیمار اسانس زیره و عصاره سماق بیشترین میزان کاهش وزن را نشان دادند. بیشترین شاخص رنگ L* در روز صفر در تیمار شاهد و بیشترین شاخص رنگ a* در روز ۷ در تیمارهای کیتوزان و کیتوزان + عصاره سماق مشاهده گردید. تحت تیمار کیتوزان در روزهای ۱۴ و ۲۱ و کیتوزان + اسانس زیره در روز ۱۴، کمترین شاخص رنگ b* وجود داشت. بیشترین شاخص قهوه‌ای شدن در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ در تیمارهای کیتوزان + عصاره سماق، کیتوزان + اسانس زیره و کیتوزان مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: تیمارهای مورد بررسی نتایج متفاوتی را بر خصوصیات کیفی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای نشان دادند. اسانس زیره سبز و عصاره سماق به تنهایی و در ترکیب با کیتوزان در طول دوره انبارمانی، بر ویژگی‌های کیفی قارچ تکمه‌ای تأثیرگذار بودند.

واژه‌های کلیدی: مالون دی‌آلدئید؛ پلی‌فنل اکسیداز؛ اسانس؛ کیتوزان؛ زیره سبز؛ سماق

ارجاع: رجایی مریم، جعفرپور مهرداد. **تأثیر پوشش کیتوزان حاوی اسانس زیره سبز و عصاره سماق بر خصوصیات کیفی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای (Agaricus bisporus)**. مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۲؛ ۱۹ (۱): ۵۱-۴۲

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۹/۱۲ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۱/۱۵

مقدمه

قارچ تکمه‌ای با نام علمی Agaricus bisporus، از راسته Agaricales و تیره Agaricaceae، یکی از محصولات ارزشمند در بخش کشاورزی است که در میان قارچ‌های خوراکی بیشترین میزان تولید را در سطح جهانی به خود اختصاص داده است (۱). رنگ روشن و سفید، داشتن کلاهک گرد و براق و فقدان لکه‌های قهوه‌ای و بی‌رنگ روی اندام باردهی، سبب ایجاد بازارپسندی و افزایش تعداد مصرف‌کنندگان این محصول شده است (۲). به دلیل عدم وجود کوتیکول، سرعت بالای تنفس، رطوبت زیاد و فعالیت شدید آنزیمی، این محصول ماندگاری کمتری نسبت به سایر سبزی‌ها دارد و به همین دلیل، به سرعت فاسد و بلافاصله پس از برداشت، تغییر رنگ آن آغاز می‌شود (۳).

قهوه‌ای شدن آنزیمی در میوه‌ها و سبزی‌ها، سبب تغییرات نامطلوب کیفی در هنگام جابه‌جایی، بسته‌بندی و انبارمانی می‌گردد. این واکنش‌ها بیشتر در اثر فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و پراکسیداز انجام می‌شود. بنابراین، همواره راهی برای جلوگیری و کنترل این آلودگی‌ها مورد نیاز است (۴). استفاده از فیلم‌های خوراکی، به حفظ کیفیت، افزایش ایمنی و افزایش عمر ماندگاری انواع محصولات غذایی آماده مصرف کمک می‌کند (۵). پوشش‌های خوراکی روش نوآورانه‌ای از نظر اقتصادی و تغذیه‌ای می‌باشند که می‌توانند با تأخیر در کاهش از دست دادن آب، حفظ ترکیبات معطر، کاهش تنفس و تأخیر در تغییرات ساختاری، موجب افزایش نگهداری محصولات غذایی گردند. کیتوزان از حذف بخشی از گروه‌های استیل متصل به اتم کربن شماره ۲ مونومرهای ساختاری زنجیر کیتین به دست می‌آید. مکانیسم دقیق فعالیت ضد میکروبی کیتین، کیتوزان و دیگر مشتقات آن به طور کامل شناخته شده نیست، اما مکانیسم‌های متفاوتی پیشنهاد شده است (۶).

سه مکانیسم برای خاصیت ضد میکروبی کیتوزان وجود دارد؛ ۱- بارهای مثبت موجود بر روی زنجیر پلی‌متریک کیتوزان که مربوط به گروه‌های آمینوی آن است و با بارهای منفی موجود در غشای سلول‌های دیواره باکتری‌ها واکنش

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات قارچ‌های خوراکی و دارویی و گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: مهرداد جعفرپور؛ دانشیار، مرکز تحقیقات قارچ‌های خوراکی و دارویی و گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
Email: jafarpour@khuisf.ac.ir

می‌دهد و منجر به خروج پروتئیناز و دیگر اجزای درون سلولی میکروارگانیسم‌ها و در نهایت، نابودی آن‌ها می‌شود (۷). ۲- کیتوزان به عنوان یک شلاته‌کننده عمل می‌کند و ۳- کیتوزان به علت وزن مولکولی پایین، قادر است به تنهایی وارد هسته سلولی شود و با DNA واکنش دهد، سنتز RNA را تحت تأثیر قرار دهد، تولید پروتئین را تغییر دهد و بر روی کارایی بسیاری از آنزیم‌ها اثر بازدارندگی داشته باشد (۶).

علاوه بر این، تأثیر نامطلوب نگهدارنده‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و آنتی‌اکسیدان‌های مصنوعی بر روی سلامت انسان و محیط زیست و همچنین، افزایش مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها در برخی از سویه‌های باکتریایی، محققان صنایع غذایی را بر آن داشته است تا به دنبال استراتژی‌های جایگزین با تکیه بر منابع طبیعی مانند اسانس‌های گیاهی باشند (۸). وقوع واکنش‌های نامطلوب همچون فساد میکروبی و فرایند اکسیداسیون در بیشتر محصولات فسادپذیر، باعث از بین رفتن ارزش مواد غذایی، ایجاد طعم و عطر نامطلوب و همچنین، بروز بیماری‌های گسترده در انسان می‌گردد (۹).

در سال‌های اخیر، عصاره‌ها و به ویژه اسانس‌های گیاهی به دلیل داشتن مقادیر فراوانی از ترکیبات زیست‌فعال با عملکرد مؤثر دارویی، مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند (۱۰). زیره سبز با نام علمی Cuminum cyminum L. گیاهی از خانواده Apiaceae، علفی، یک ساله، معطر، بدون کرک (به جزء میوه) و دارای ساقه علفی می‌باشد. اسانس زیره سبز دارای ترکیبات کومینول، پینن شامل بتا-پینن و دی‌پینن، آلفا ترپینول، آپی‌ژنین، فلاونوئید، کارون، اپی‌ژنین و لوتئولین، پ-سیمن، کومین الکل و کومین آلدئید است که علاوه بر آرومای خاص، خاصیت ضد میکروبی نیز دارد (۱۱). اسانس زیره سبز یک افزودنی ضد میکروبی طبیعی به شمار می‌رود. تاکنون مهار رشد چندین باکتری بیماری‌زا با استفاده از اسانس زیره سبز در مقالات مختلف گزارش شده است (۱۲). گیاه سماق با نام علمی Rhus coriaria L. از خانواده Anacardiaceae، سرشار از فلاونوئیدها، آنتوسیانین، اسیدگالیک، فلاوون‌هایی مانند کوئرستین، میریستین، کمپفرول و اسیدهای چرب مالیک، پالمیتیک، استئاریک، اولئیک اسید و لینولئیک اسید می‌باشد (۱۳).

با توجه به نگرانی مصرف‌کنندگان قارچ تکمه‌ای در مورد سلامت محصول مصرفی، استفاده از ترکیبات با منشأ طبیعی در این صنعت در سال‌های اخیر گسترش پیدا کرده است. به دلیل عدم وجود پوست مانند خیلی از میوه‌ها و سبزی‌ها در کلاهک و بافت قارچ که موجب جذب آسان و آلودگی به سموم شیمیایی می‌شود (۱۴)، استفاده از پوشش‌های خوراکی و ترکیبات ضد میکروبی که منشأ طبیعی داشته باشند، به عنوان یک ضرورت، اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا، استفاده از ترکیبات ضد میکروبی مؤثر بر باکتری‌های بیماری‌زای قارچ خوراکی مانند اسانس‌های طبیعی که حاوی مخلوطی از اجزای ترپنی و دیگر ترکیبات با خواص ضد میکروبی و عوارض جانبی کمتر در مقایسه با سموم شیمیایی هستند، می‌تواند در رسیدن به این هدف کمک‌کننده باشد (۱۵). بدین منظور، پژوهش حاضر با هدف تشخیص اثرات اسانس روغنی گیاه زیره سبز، عصاره سماق و پوشش کیتوزان بر عمر انبارمانی و برخی خصوصیات حسی و بیوشیمیایی قارچ تکمه‌ای انجام گردید.

روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۴۰۰ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تیمار شامل «شاهد، کیتوزان (۲ درصد)، عصاره سماق (۴ درصد)، اسانس زیره سبز (غلظت ۵ میکرولیتر)، کیتوزان (۲ درصد) + عصاره سماق (۴ درصد) و کیتوزان (۲ درصد) + اسانس زیره سبز (۵ میکرولیتر)» و در سه تکرار بر خصوصیات کیفی و ماندگاری قارچ تکمه‌ای اجرا شد. در نهایت، ۱۸ پلات آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت که در هر پلات، ۱۰۰ گرم قارچ تکمه‌ای قرار داده شد. بدین منظور، قارچ‌های تکمه‌ای خریداری و یک ساعت پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل گردید و به منظور حفظ رطوبت اندام باردهی، تا زمان اجرای طرح، اطراف ظروف قارچ با پوشش پلی‌ونیل کلراید پوشانده شد. سپس قارچ‌ها با اندازه یکنواخت، سالم و عاری از هرگونه آسیب مکانیکی جداسازی و مدت زمان کوتاهی (۲-۱ دقیقه) در آب خیسانده و پس از آن به سرعت با آب سرد به آرامی شستشو داده شد. قارچ‌های دارای کلاهک کاملاً بسته و بدون آسیب‌دیدگی انتخاب شدند.

آماده‌سازی عصاره آبی- الکلی سماق و اسانس زیره سبز: بدین منظور، سماق خریداری و در هوای آزاد خشک گردید. سپس توسط آسیاب به صورت پودر درآورده و از الک به اندازه ۶۰ مش عبور داده شد. پس از آن، ۲۵۰ گرم پودر در یک لیتر الکل اتانول خالص و آب به نسبت ۷۰ به ۳۰ از طریق Shaker حل گردید و به مدت ۶ ساعت در روتاری شیکردار با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار داده شد. بعد از این مدت، از کاغذ واتمن شماره ۴۱ عبوره داده شد و سپس برای حذف حداقل ۹۰ درصد حلال، در تبخیرکننده با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در نهایت، برای تغلیظ نهایی در دسیکاتور قرار داده شد و تا زمان استفاده در شیشه‌های عایق نور و هوا در دمای یخچال نگهداری گردید (۱۶). همچنین، ۵ میکرولیتر از اسانس زیره سبز به یک لیتر آب مقطر استریل اضافه و پس از مخلوط شدن، روی قارچ‌ها اسپری شد و در داخل ظروف بسته‌بندی مخصوص نگهداری قارچ قرار داده شد (۱۷).

شناسایی اجزای تشکیل دهنده اسانس با استفاده از کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (Gas chromatography–mass spectrometry یا GC-MS): جهت شناسایی اجزای تشکیل دهنده اسانس، از دستگاه GC-MS شامل ردیاب جرمی Aglient 5975 C با منبع یونیزاسیون الکترونی کوپل شده با دستگاه کروماتوگرافی گازی Aglient 7890 که از ستون HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر (۱۸)، استفاده شد. بر طبق یافته‌ها، بیشترین میزان ترکیبات تشکیل دهنده عصاره سماق مربوط به پیروگالول (Pyrogallol) (۴۲/۳۵ درصد)، 4-Bromo-1-(1,1-dimethoxyethyl)benzene (۲۰/۶۷ درصد)، 9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (۹/۸۹ درصد) و Hexadecanoic acid, methyl ester (۵/۹۸ درصد) بود. نتایج تجزیه ترکیبات بیوشیمیایی اسانس زیره سبز نشان داد که بیشترین میزان ترکیبات تشکیل دهنده اسانس مربوط به gamma.-Terpinene (γ-terpinene) (۱۸/۹۰ درصد)، Beta-pinene (۱۵/۰۳ درصد)، Benzene, methyl(1-methylethyl)- (۱۰/۱۷ درصد)، 1,3-p-Menthadien-7-al (۹/۳۰ درصد)، Benzaldehyde, 4-(1-methylethyl)- (۹/۲۷ درصد) و Benzenemethanol (۸/۹۵ درصد) بود.

تهیه محلول کیتوزان حاوی غلظت‌های مختلف عصاره و اسانس: در مورد تیمارهای با پوشش کیتوزان، محلول کیتوزان (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) با وزن مولکولی متوسط ۲ درصد (وزنی- حجمی) درون اسید استیک

(شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) ۱ درصد (حجمی- حجمی) تهیه شد. سپس به آن ۰/۷۵ درصد گلیسرول (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) به عنوان پلاستی‌سایزر اضافه گردید. در مرحله بعد، pH محلول با سود ۱ نرمال به ۵ رسانده و در نهایت، ۰/۲ درصد (حجمی- حجمی) پلی‌سوربات به محلول ساخته شده اضافه شد. بعد از تهیه محلول کیتوزان، نمونه‌ها ۱/۵ دقیقه در محلول آماده شده غوطه‌ور گردید (۱۹). در مورد تیمارهایی که در آن اسانس به کار می‌رود، به منظور پخش یکنواخت و کامل اسانس در محلول کیتوزان، ابتدا اسانس مورد نظر با توئین ۸۰ مخلوط و سپس به محلول کیتوزان اضافه گردید (۱۶). اسانس زیره سبز و عصاره سماق به ترتیب در غلظت‌های ۵ میکرولیتر و ۴ درصد با استفاده از توئین ۸۰ به عنوان امولسیفایر و در محیط آبی تهیه شد و مورد استفاده قرار گرفت. اعمال تیمار به صورت غوطه‌وری سریع به مدت ۲ دقیقه انجام شد. پس از اعمال همه تیمارها بر نمونه‌ها و بعد از خشک شدن نمونه‌ها در دمای محیط، آن‌ها در ظروف بسته‌بندی ۱۰۰ گرمی مخصوص دارای پوشش سلوفان قرار گرفت و به مدت ۲۰ روز در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس در روزهای صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ برای انجام آزمون‌های کیفی و بیوشیمیایی، نمونه‌برداری انجام گرفت.

ارزیابی صفات

آزمون بافت‌سنجی: آزمون ضریب نفوذ در کلاهک قارچ تکمه‌ای با استفاده از یک تحلیلگر بافت انجام شد. یک پروپ استوانه‌ای ۵ میلی‌متری با سرعت ۲ میلی‌متر بر ثانیه تا عمق ۵ میلی‌متری در کلاهک نفوذ و داده‌های نیروی وارد آمده در واحد زمان با استفاده از نرم‌افزار سنجش بافت ثبت گردید (۲۰).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: یک گرم از قارچ تکمه‌ای هموژنیزه شده به ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۱ به ۱ آب و اتانول ۸۰ درصد اضافه و به وسیله دستگاه ورتکس، محلول کاملاً همگنی تهیه شد. سپس محلول به دست آمده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتریفوژ و ۰/۱ میلی‌لیتر محلول به ۳/۹ میلی‌لیتر 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl-hydrate (DPPH) متانولی (۰/۰۳ گرم بر لیتر) (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا) اضافه گردید. در نهایت، طیف جذبی محلول به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی با توجه به رابطه ۱ (۲۱) محاسبه شد.

رابطه ۱ — جذب نمونه−جذب DPPH/ جذب DPPH × ۱۰۰

کاهش وزن: اندام باردهی قارچ برداشت شده بلافاصله پس از بسته‌بندی با استفاده از ترازوی دیجیتال (Toledo Mettler، سوئیس) با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن و در روزهای مورد بررسی نیز مجدد وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. میزان کاهش وزن بر طبق رابطه ۲ (۲۲) محاسبه گردید.

رابطه ۲ — وزن ثانویه−وزن اولیه/ وزن اولیه × ۱۰۰

ارزیابی مالون دی‌آلدئید (Malondialdehyde یا MDA): میزان MDA بر اساس روش Meng و همکاران (۲۳) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲، ۶۰۰ و ۵۴۰ نانومتر قرائت شد. سپس مقدار MDA از طریق رابطه ۳ محاسبه گردید.

رابطه ۳ — $MDA\ (mmol/kg) = [6.45 \times (0D532-0D600)-0.56 \times 0D450] \times Vt \times Vr/ (Vs \times m)$

در رابطه ۳، Vt حجم کل محلول عصاره، Vr حجم محلول مخلوط واکنش، Vs حجم کل عصاره موجود در محلول مخلوط واکنش و m وزن نمونه بود.

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: فعالیت این آنزیم طبق روش Pizzocaro و همکاران و بر اساس اکسیداسیون کاتکول انجام شد (۲۴). فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز به وسیله اسپکتروفتومتر در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به وسیله تزریق ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر کاتکول ۵۰ میلی‌مولار (تهیه شده با بافر فسفات سدیم ۱۰۰ میلی‌مولار، pH = ۶/۵) اندازه‌گیری گردید. منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۲۰ نانومتر به مدت ۲ دقیقه قرائت و سپس فعالیت آنزیم به صورت تغییرات جذب در ۰/۰۰۱ دقیقه تعریف و فعالیت آنزیم به صورت هر بخش در دقیقه بر گرم بیان شد.

ارزیابی رنگ نمونه‌های قارچ تکمه‌ای: ارزیابی رنگ نمونه‌ها با استفاده از روش جعبه مخصوص انجام گرفت. سپس عکس‌ها در نرم‌افزار Adobe Photoshop نسخه ۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و شاخص‌های RGB استخراج گردید. نمودار استانداردی بر اساس شاخص RGB کارت‌های رنگی RAL ترسیم و شاخص RGB عکس با آن کالیبره شد. در نهایت، شاخص RGB کالیبره و نمونه‌ها به شاخص Lab تبدیل گردید (۲۵).

شاخص قهوه‌ای شدن: شاخص قهوه‌ای شدن که نشان دهنده خلوص رنگ قهوه‌ای می‌باشد، با توجه به رابطه ۴ (۲۵) ارزیابی گردید و مقدار x از رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه ۴ — $BI = [100\ (x-0.31)]/0.172$

رابطه ۵ — $X = (a+1.75\ L))/\ (5.645\ L + a\ -3.012\ b)$

یافته‌ها

سفتی بافت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر سفتی بافت معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش مدت زمان انبارمانی به روز ۲۱، میزان سفتی بافت کاهش معنی‌داری را نشان داد. کمترین میزان سفتی بافت در روز ۲۱ انبارمانی در تیمارهای شاهد، کیتوزان، عصاره سماق، کیتوزان + عصاره سماق و کیتوزان + اسانس زیره به ترتیب با میزان ۰/۶۰، ۱/۱۷، ۱/۳۵، ۱/۶۴ و ۲/۰۷ نیوتن نشان داده شد؛ در حالی که در روز ۲۱ انبارمانی، تیمار اسانس زیره بیشترین سفتی بافت را با میزان ۷/۴۰ نیوتن نشان داد. همچنین، تیمار کیتوزان در روز ۷ انبارمانی و تیمار اسانس زیره در روز ۱۴ انبارمانی بیشترین سفتی بافت را به خود اختصاص داد (جدول ۲).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز صفر به روز ۲۱، در گروه شاهد و تحت تیمارهای مورد بررسی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد. بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد در روز ۲۱ انبارمانی با میزان ۷۳/۲۰ درصد مشاهده شد. در بین تیمارها نیز بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در روز ۲۱ تحت تیمار پوشش‌دهی کیتوزان با میزان ۵۸/۹۳ درصد نشان داده شد. کمترین میزان نیز در روز ۷ انبارمانی تحت تیمارهای اسانس زیره و عصاره سماق به ترتیب با ۲۴/۵۷ و ۲۵/۵۳ درصد گزارش شد (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر زمان نگهداری و تیمار بر برخی از خصوصیات بیوشیمیایی قارچ تکمه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		سفتی بافت	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی	MDA	پلی‌فنل اکسیداز	L^*	a^*	b^*	شاخص قهوه‌ای شدن
زمان	۳	۳۵۳/۲۰*	۱۲۵۹/۰۰*	۱/۱۰۰۰**	۰/۱۸۰**	۱۰۶۲**	۷۵۳/۱۰**	۷۵۵/۳۰**	۶۱۰۶۵۵**
تیمار	۵	۱۱/۹۴*	۷۵۹/۸*	۰/۲۰۰۰**	۰/۰۹۰**	۷۶۵/۹۰**	۲۲/۳۵**	۳۵۹/۳۰**	۵۶۳۰۴**
زمان × تیمار	۱۵	۹/۱۳*	۹۸/۲۵*	۰/۰۲۰۰**	۰/۰۱۳**	۳۰۰/۵۰**	۲۱/۱۸**	۱۸۴/۹۰**	۱۸۱۸۹**
خطا	۴۸	۱/۲۶	۱/۰۵	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲	۳۲/۲۰	۴/۴۳	۱۴/۶۰	۳۱۹۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۵/۴۱	۲/۲۲	۲/۸۸۰	۵/۰۴۰	۱۶/۳۳	۱۶/۶۳	۱۷/۶۲	۲۰/۳۲

*معنی‌دار شدن در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار شدن در سطح احتمال ۱ درصد

کاهش وزن: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر کاهش وزن معنی‌دار بود (جدول ۱). در روزهای ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی، تیمار اسانس زیره و عصاره سماق بیشترین میزان کاهش وزن را به ترتیب با میزان ۷/۷۷، ۶/۷۳، ۶/۶۷، ۶/۲۷، ۵/۷۳ و ۴/۷۰ درصد نشان دادند. کمترین میزان کاهش وزن در روزهای مورد بررسی در تیمارهای شاهد و پوشش‌دهی کیتوزان مشاهده گردید. در روز ۲۱ انبارمانی در تیمارهای شاهد و کیتوزان به ترتیب با میزان ۱/۴۷ و ۲/۱۶ درصد، کمترین میزان کاهش وزن نشان داده شد (جدول ۲).

محتوای MDA: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر محتوای MDA معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز صفر به روز ۲۱، تحت تیمارهای مورد بررسی و در گروه شاهد، محتوای MDA افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین محتوای MDA در روز ۲۱ انبارمانی در تیمار اسانس زیره با میزان ۱/۱۱ میکرومول بر گرم وزن تر مشاهده گردید. کمترین محتوای MDA در روز صفر در تیمار شاهد با میزان ۰/۳۲ میکرومول بر گرم وزن تر گزارش شد (جدول ۲).

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز: اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر آنزیم پلی‌فنل اکسیداز معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش مدت زمان انبارمانی تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با گروه شاهد، میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در روز ۷ انبارمانی در تیمار اسانس زیره با میزان ۰/۵۵ هر بخش در دقیقه بر گرم مشاهده شد. با افزایش مدت زمان انبارمانی به روز ۲۱، میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز تحت تیمارهای مورد بررسی کاهش معنی‌داری را نشان داد. بین تیمار شاهد در روزهای صفر، ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در روز ۲۱ انبارمانی در تیمارهای شاهد و کیتوزان به ترتیب با میزان ۰/۱۱ و ۰/۱۶ هر بخش در دقیقه بر گرم گزارش شد. بین برخی از تیمارها نیز در سطح ۵ درصد آزمون Duncan تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۲).

شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^*: اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر شاخص‌های رنگ L^*، a^* و b^* معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین شاخص رنگ L^* در روز صفر انبارمانی در تیمار شاهد با میزان ۷۰/۸۵ درصد مشاهده شد. با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز ۷ به روز ۲۱ و تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی، شاخص رنگ L^* کاهش معنی‌داری را نشان داد. در روز ۲۱ انبارمانی نیز بیشترین شاخص رنگ L^* مربوط به تیمار شاهد با میزان ۵۶/۱۸ درصد بود. کمترین شاخص رنگ L^* در روز ۱۴ انبارمانی در تیمارهای پوشش‌دهی کیتوزان و کیتوزان + اسانس زیره مشاهده گردید (جدول ۲). بیشترین شاخص رنگ a^* در روز ۷ انبارمانی در تیمارهای کیتوزان و کیتوزان + عصاره سماق و در روز ۷ انبارمانی در تیمار کیتوزان + عصاره سماق به ترتیب با میزان ۲۵/۳۵، ۲۴/۵۸ و ۲۲/۰۲ درصد گزارش شد. با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز ۷ به روز ۲۱ و تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی، شاخص رنگ a^* کاهش معنی‌داری را نشان داد. کمترین شاخص رنگ a^* در روز صفر در تیمار شاهد با میزان ۵/۶۸ درصد حاصل گردید (جدول ۲). بیشترین شاخص رنگ b^* در روز ۲۱ انبارمانی در تیمار شاهد با میزان ۴۱/۷۸ درصد و در روز ۱۴ انبارمانی در تیمار اسانس زیره با میزان ۳۹/۳۸ درصد مشاهده شد. با افزایش مدت زمان انبارمانی در تیمار شاهد، شاخص رنگ b^* نیز افزایش معنی‌داری را نشان داد. تحت تأثیر تیمار کیتوزان در روزهای ۱۴ و ۲۱ انبارمانی و تیمار کیتوزان + اسانس زیره در روز ۱۴ انبارمانی، کمترین شاخص رنگ b^* مشاهده گردید (جدول ۲).

شاخص قهوه‌ای شدن: اثر زمان، تیمار و اثر متقابل زمان و تیمار در سطح احتمال ۱ درصد بر شاخص قهوه‌ای شدن معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین شاخص قهوه‌ای شدن در روز ۷ انبارمانی در تیمارهای کیتوزان + عصاره سماق و کیتوزان به ترتیب با ۵۱۷/۰۱ و ۴۹۱/۵۲ درصد، در روز ۱۴ انبارمانی در تیمارهای کیتوزان + عصاره سماق و کیتوزان + اسانس زیره به ترتیب با ۵۲۲/۱۷ و ۴۹۷/۷۹ درصد و در روز ۲۱ انبارمانی در تیمار کیتوزان با میزان ۴۶۸/۳۶ درصد گزارش شد. کمترین شاخص قهوه‌ای شدن نیز در تیمار شاهد در روز صفر با میزان ۲۵/۷۳ درصد بود. در روز ۲۱ انبارمانی در تیمار شاهد و تحت تأثیر اسانس زیره، کمترین شاخص قهوه‌ای شدن مشاهده شد (جدول ۲).

بحث

طی نگهداری قارچ، بافت آن نرم و دچار آسیب‌دیدگی می‌شود. دلیل کاهش سفتی بافت با افزایش مدت زمان انبارمانی به روز ۲۱، ممکن است کاهش میزان رطوبت قارچ، رشد باکتری‌ها، فعالیت آنزیمی و تخریب دیواره سلولی باشد. در دوره رسیدن و پیری، فعالیت آنزیم‌ها بر بافت قارچ‌ها اثر می‌گذارد و موجب حل شدن پکتین و در نتیجه، نرمی بافت می‌گردد (۱).

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل زمان و تیمار بر خصوصیات بیوشیمیایی و کیفی قارچ تکمه‌ای

زمان (روز)	تیمار	سفتی بافت (نیوتن)	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (درصد)	کاهش وزن (درصد)	MDA (میکرومول بر گرم وزن تر)	پلی‌فنل اکسیداز (واحد در دقیقه بر گرم)	L^*	a^*	b^*	شاخص قهوه‌ای شدن
صفر	شاهد	^{a}۱۲/۹۰	^{f}۴۷/۸۰	–	^{o}۰/۳۲	^{i}۰/۱۴	^{a}۷۰/۸۵	^{i}۵/۶۸	^{hi}۱۲/۷۷	^{j}۲۵/۷۳
	شاهد	^{cde}۷/۳۳	^{c}۵۹/۰۷	^{k}۲/۳۳	^{n}۰/۳۷	^{ij}۰/۱۳	$^{d-g}$۱۹/۵۷	$^{b-e}$۱۸/۶۳	^{def}۲۵/۶۵	^{abc}۴۲۸/۸۳
۷	کیتوزان	^{b}۹/۸۷	^{j}۳۶/۷۰	^{i}۳/۴۶	^{n}۰/۳۷	^{ef}۰/۲۷	^{de}۲۴/۴۵	^{a}۲۵/۳۵	^{bc}۳۴/۴۵	^{ab}۴۹۱/۵۲
	عصاره سماق	^{cde}۷/۵۷	^{l}۲۵/۵۳	^{b}۶/۷۳	^{i}۰/۶۸	^{b}۰/۴۸	^{de}۲۶/۴۵	^{bcd}۱۹/۰۷	^{bc}۳۴/۱۸	^{bcd}۴۱۴/۹۸
	اسانس زیره	^{de}۶/۷۷	^{l}۲۴/۵۷	^{a}۷/۷۷	^{g}۰/۷۵	^{a}۰/۵۵	^{d}۲۸/۶۷	^{def}۱۵/۵۷	^{cd}۳۱/۹۸	^{efg}۲۹۸/۴۰
	کیتوزان + عصاره سماق	^{bcd}۸/۴۰	^{j}۳۶/۶۷	^{e}۵/۳۴	^{k}۰/۵۸	^{d}۰/۳۴	$^{d-g}$۱۸/۷۵	^{a}۲۴/۵۸	^{def}۲۷/۰۷	^{a}۵۱۷/۰۱
	کیتوزان + اسانس زیره	^{bc}۸/۷۷	^{k}۳۰/۶۷	^{c}۶/۳۴	^{j}۰/۶۳	^{b}۰/۴۷	^{ghi}۹/۹۳	^{bc}۱۹/۹۸	^{h}۱۴/۱۷	^{abc}۴۸۱/۰۲
	شاهد	^{fg}۴/۶۲	^{b}۶۵/۰۳	^{l}۱/۹۸	^{m}۰/۴۹	^{ij}۰/۱۳	^{d}۲۷/۴۰	^{cde}۱۸/۰۵	^{cde}۲۹/۲۲	^{efg}۲۹۶/۶۷
	کیتوزان	^{gh}۳/۲۳	^{j}۴۵/۹۷	^{j}۲/۷۳	^{l}۰/۵۲	^{g}۰/۲۲	^{i}۵/۵۲	^{fg}۱۳/۱۲	^{i}۷/۳۰	$^{a-d}$۴۲۶/۲۷
۱۴	عصاره سماق	^{ef}۶/۲۸	^{hi}۴۲/۴۰	^{c}۶/۲۷	^{d}۰/۹۲	^{d}۰/۳۴	$^{f-i}$۱۳/۰۳	^{ef}۱۵/۰۲	^{gh}۱۶/۴۷	^{cde}۳۸۸/۹۵
	اسانس زیره	^{b}۹/۷۳	^{j}۳۵/۶۳	^{b}۶/۶۷	^{c}۰/۹۷	^{b}۰/۴۶	^{c}۴۵/۵۸	^{def}۱۵/۷۰	^{ab}۳۹/۳۸	^{hi}۱۹۴/۲۳
	کیتوزان + عصاره سماق	^{e}۶/۴۷	^{h}۴۳/۳۰	^{g}۴/۳۵	^{h}۰/۷۱	^{e}۰/۲۸	$^{e-h}$۱۶/۸۷	^{ab}۲۲/۰۲	^{ef}۲۴/۲۰	^{a}۵۲۲/۱۷
	کیتوزان + اسانس زیره	^{g}۳/۹۰	^{i}۴۱/۲۰	^{d}۵/۶۷	^{f}۰/۷۹	^{c}۰/۳۹	^{hi}۹/۰۷	^{ef}۱۵/۳۸	^{hi}۱۳/۱۸	^{ab}۴۹۷/۷۹
	شاهد	^{i}۰/۶۰	^{a}۷۳/۲۰	^{m}۱/۴۷	^{i}۰/۶۷	^{j}۰/۱۱	^{b}۵۶/۱۸	^{h}۹/۰۷	^{a}۴۱/۷۸	^{i}۱۳۳/۸۳
	کیتوزان	^{i}۱/۱۷	^{c}۵۸/۹۳	^{kl}۲/۱۶	^{fg}۰/۷۷	^{h}۰/۱۶	^{hi}۸/۸۸	^{ef}۱۵/۰۳	^{hi}۱۲/۴۲	^{abc}۴۶۸/۳۶
۲۱	عصاره سماق	^{i}۱/۳۵	^{f}۴۸/۵۷	^{f}۴/۷۰	^{b}۱/۰۰	^{e}۰/۲۹	$^{d-g}$۱۹/۲۷	^{fgh}۱۲/۱۷	^{fg}۲۲/۷۲	^{def}۳۳۲/۹۲
	اسانس زیره	^{cde}۷/۴۰	^{f}۴۷/۶۳	^{d}۵/۷۳	^{a}۱/۱۱	^{d}۰/۳۵	^{c}۳۸/۳۷	^{gh}۱۰/۱۸	^{cd}۳۰/۹۵	^{hi}۱۶۵/۱۵
	کیتوزان + عصاره سماق	^{hi}۱/۶۴	^{e}۵۲/۴۰	^{h}۳/۷۰	^{e}۰/۸۷	^{g}۰/۲۱	^{def}۲۰/۱۵	^{h}۹/۴۳	^{gh}۱۷/۷۷	^{ghi}۲۰۸/۴۴
	کیتوزان + اسانس زیره	^{hi}۲/۰۷	^{d}۵۴/۳۷	^{e}۵/۲۰	^{b}۱/۰۰	^{f}۰/۲۵	^{def}۲۰/۸	^{gh}۱۰/۷۸	^{fg}۲۰/۹۲	^{fgh}۲۵۴/۹۲

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف متفاوت هستند، در سطح ۵ درصد آزمون Duncan اختلاف معنی‌داری داشتند.

MDA: Malondialdehyde

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس اثر زمان نگهداری و تیمار بر کاهش وزن قارچ تکمه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
		کاهش وزن
زمان نگهداری	۲	۱۰/۱۹*
تیمار	۵	۳۲/۳۰*
زمان × تیمار	۱۰	۰/۲۵*
خطا	۳۶	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۲/۶۹

*معنی‌دار شدن در سطح احتمال ۱ درصد

از طرف دیگر، کاهش سفتی اندام باردهی قارچ در طول دوره انبارمانی به دلیل ایجاد تغییرات وابسته به تخریب پروتئین و پلی‌ساکاریدها، شکستن واکوئل‌ها و گسترش مواد ذخیره شده در واکوئل در فضای بین سلولی است که در غشا اتفاق می‌افتد (۲۶). تخریب ساختار بین سلولی و کاهش حجم واکوئل مرکزی، می‌تواند با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها بر بافت قارچ نیز مرتبط باشد که در نهایت، فساد میکروبی و کاهش فشار آماس سلولی را به همراه دارد (۱).

در قارچ‌های تیمار شده با اسانس زیره سبز به دلیل فعالیت ضد قارچی و پوشاندن کوتیکول و عدسک، تنفس و سایر فرایندهای رسیدن در طول ذخیره‌سازی کاهش یافت (۲۷). تیمار اسانس زیره سبز در روز ۲۱ انبارمانی، بیشترین سفتی بافت را نشان داد. تأثیر مثبت اسانس زیره سبز در شرایط انبار بر حفظ سفتی بافت، ممکن است به دلیل کاهش فعالیت آنزیم‌های نرم‌کننده دیواره سلولی مانند پلی‌گالاکتوروناز و گالاکتوز اکسیداز، ممانعت از تجزیه پکتین دیواره سلولی، حفظ ترکیبات فنلی، کاهش تولید پراکسید هیدروژن و حفظ پایداری غشای سلولی در اندام باردهی قارچ باشد که نتیجه آن، جلوگیری از نرم شدن بافت میوه می‌باشد (۲۹، ۲۸). Jiang و همکاران نیز تأثیر مثبت اسانس آویشن و میخک هندی را بر حفظ سفتی کلاهک قارچ تکمه‌ای گزارش نمودند (۳۰). نتایج حاصل از پژوهش حاضر مبنی بر افزایش سفتی بافت اندام باردهی قارچ تکمه‌ای تحت تأثیر تیمارهای کیتوزان و اسانس زیره سبز، با یافته‌های مطالعات Jiang و همکاران (۳۰) و نصیری و همکاران بر روی قارچ تکمه‌ای (۲۹) مطابقت داشت. سطوح پایین اکسیژن و سطوح بالای دی‌اکسید کربن توسط پوشش کیتوزان در روز ۷ انبارمانی، ممکن است فعالیت آنزیم‌های نرم‌کننده دیواره سلولی را محدود کند و امکان حفظ استحکام در طول دوره انبارمانی را فراهم نماید (۳۱). محمدی و همکاران، کاهش تعرق و احتباس آب در میوه خیار را پس از استفاده از پوشش کیتوزان حاوی اسانس گزارش نمودند (۳۲) که با نتایج تحقیق حاضر در روز ۷ انبارمانی همخوانی داشت. کاهش سفتی بافت اندام باردهی قارچ در تیمارهای کیتوزان + عصاره سماق و کیتوزان + اسانس زیره، ناشی از افزایش فعالیت حیاتی سلول در مجاورت این گروه از ترکیبات است. علاوه بر این، افزایش فعالیت آبی پوشش در حضور مقادیر اسانس زیره و یا عصاره سماق و جذب بالای این ترکیب، موجب تشدید فعالیت‌های میکروبی و تجزیه مواد پکتینی دیواره سلولی و نرم شدن بافت می‌شود (۳۳).

روند تغییرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده طی دوره انبارمانی، شاید به تغییر میزان ترکیبات دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط می‌شود که نتیجه تغییرات فعالیت‌های متابولیکی و شدت تنفس طی دوره انبارمانی است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارهای مختلف با یکدیگر متفاوت است (۳۴). نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز صفر به روز ۲۱ در گروه شاهد و تحت تیمارهای مورد بررسی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی افزایش معنی‌داری را نشان داد. افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در طول مدت زمان انبارمانی، می‌تواند در اثر تشکیل ترکیبات جدید دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی همچون فرآورده‌های واکنش Maillard -که البته در انبارهای کمی طولانی مدت اتفاق می‌افتد- باشد (۳۵). افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد طی مدت زمان انبارمانی را به دلیل تشکیل ترکیبات قهوه‌ای رنگ با وزن مولکولی بالا می‌دانند که بعد از مراحل واکنش Maillard پدیدار می‌شود (۲۲). این مواد قهوه‌ای رنگ فنل‌ها هستند که در طول رسیدن و انبارمانی محصولات افزایش می‌یابند و باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شوند. عوامل ژنتیکی و شرایط رشد نیز نقش مهمی در تشکیل متابولیت‌های ثانویه شامل اسیدهای فنلی دارند (۳۶). پوشش‌دهی کیتوزان در روز ۲۱، سبب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گردید. کیتوزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در سطوح بالاتری حفظ می‌نماید. نتایج مطالعات متعدد نشان می‌دهد که کیتوزان به عنوان یک الیسیتور (Elicitor) زیستی ممکن است دارای پتانسیلی برای از بین بردن رادیکال‌های آزاد باشد (۵). نتایج حاصل از بررسی حاضر مبنی بر افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اندام باردهی قارچ تکمه‌ای با نتایج مطالعه Khojah و همکاران روی قارچ تکمه‌ای (۳۷) مشابهت داشت.

نفوذپذیری غشای سلولی به عنوان شاخصی از پایداری و سلامت آن از طریق اندازه‌گیری نشت الکترولیت و میزان اکسیداسیون لیپیدها با سنجش محتوای MDA در طول دوره نگهداری قارچ‌ها ارزیابی شد. MDA تحت تأثیر تغییرات بیوشیمیایی گیاه قرار می‌گیرد. برخی محققان اعتقاد دارند که میزان این ماده ارتباط مستقیمی با تخریب غشای سلولی دارد. البته برخی از پژوهشگران دلیل آن را تخریب و تجزیه چربی‌های غشای سلولی می‌دانند (۴). نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان انبارمانی از روز صفر به روز ۲۱، محتوای MDA در تیمارهای مورد بررسی و در گروه شاهد افزایش یافت. تغییر در نفوذپذیری غشا و محتوای MDA، بیان‌کننده آسیب‌های غشایی است؛ چرا که با صدمه اکسیداتیو سلولی، محتوای MDA که محصول پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی است، افزایش می‌یابد (۳۸).

زمانی که محصول در شرایط تنش (دمای پایین) انبارمانی قرار می‌گیرد، سرما با اختلال در فرایند انتقال الکترون در میتوکندری و کلروپلاست و تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن، منجر به آسیب اکسیداتیو به غشای سلول و در نتیجه، افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و تولید MDA می‌گردد (۳۹). بر طبق نتایج حاصل از مطالعه حاضر، در روز ۷، ۱۴ و ۲۱ انبارمانی، پوشش کیتوزان و کیتوزان + عصاره سماق در مقایسه با دیگر تیمارهای مورد بررسی، نقش مثبتی در حفظ پایداری غشا و تأخیر در تجزیه دیواره سلولی را به دلیل کنترل آلودگی‌های میکروبی، شدت تنفس محصول قارچ و به دنبال آن، بهبود صفات کیفی پس از برداشت داشت که با نتایج تحقیق Xing و همکاران بر روی فلفل دلمه‌ای تحت تأثیر اسانس دارچین (۴۰) همسو بود. همچنین، در پژوهش دیگری مشاهده گردید که اسانس دارچین باعث جلوگیری از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و نشت یونی در هلو می‌شود (۴۱).

آنزیم پلی‌فنل اکسیداز عامل مهم قهوه‌ای شدن آنزیمی محصول طی انبارمانی و اکسید شدن و تبدیل فنل‌ها به اورتوکینون‌ها است. این آنزیم میزان

آنتی‌اکسیدان‌ها و پلی‌فنل‌ها را به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی کمتر محصول، کاهش می‌دهد (۴۲). افزایش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در قارچ تکمه‌ای تحت تأثیر تیمار اسانس زیره سبز، می‌تواند به علت افزایش سوبسترای در دسترس آنزیم و کم شدن اثر بازدارندگی آنزیم در غلظت مورد استفاده اسانس زیره سبز باشد. همچنین، ممکن است ترکیبات موجود در قارچ تکمه‌ای با ترکیبات اسانس زیره سبز واکنش نشان دهد و موجب تجزیه عصاره به ترکیبات فنل فعال دیگر شده باشد که در واکنش با آب اکسیژنه شبیه نقش گایاکول را ایفا می‌نماید و میزان فعالیت آنزیم را بیشتر نشان دهد (۴۳). به عبارت دیگر، اسانس زیره سبز نه تنها نتوانست فعالیت آنزیم پراکسیداز در قارچ تکمه‌ای را مهار کند، بلکه خود به عنوان عامل تشدیدکننده، با ترکیب فنلی فعال با اکسیژن حاصل از تأثیر آنزیم بر آب اکسیژنه واکنش و شدت تشکیل رنگ قهوه‌ای را افزایش می‌دهد. نتایج مطالعه کریمی و همکاران نیز مؤید تفاوت تأثیر اسانس‌های مختلف روی منابع آنزیمی مختلف بود (۴۳). پوشش کیتوزان و کیتوزان غنی شده با عصاره سماق، تأثیر معنی‌داری را در کاهش میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نشان داد. در خصوص مکانیسم تأثیر عصاره‌های گیاهی مانند عصاره سماق، تحقیقی گزارش کرد که ترکیبات فنلی موجود در عصاره سماق، باعث واسرشتی آنزیم‌ها می‌شود (۴۲). همچنین، ترکیبات پلی‌فنلی در اثر واکنش با جایگاه فعال آنزیم، موجب مهار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌شود؛ بدین صورت که این ترکیبات از طریق گروه هیدروکسیل خود، به جایگاه فعال آنزیم متصل می‌گردند و یا توسط گروه آلدئیدی خود از طریق تشکیل بازشیف، باعث کمپلکس کردن فلز مس (کوفاکتور آنزیم پلی‌فنل اکسیداز) می‌شوند. علاوه بر این، ممکن است عوامل ممانعت‌کننده دیگری در قارچ تکمه‌ای وجود داشته باشد که با عصاره سماق و پوشش کیتوزان واکنش دهد و اثر آن را بر آنزیم پلی‌فنل اکسیداز کاهش داده باشد (۴۳).

افت وزن قارچ‌ها به دلیل تعرق و خروج دی‌اکسید کربن در حین تنفس می‌باشد. پوشش‌های خوراکی با به وجود آوردن یک غشای نیمه تراوا که مانعی در مقابل عبور گازها و بخار آب محسوب می‌شود، سبب کاهش تنفس و از دست رفتن آب و در نتیجه، کاهش افت وزن قارچ می‌شود. کاهش وزن کمتر قارچ پوشش داده شده با کیتوزان در روز ۲۱ انبارمانی ممکن است به دلیل ویژگی‌های پوشش به عنوان یک مانع نیمه تراوا در برابر دی‌اکسید کربن، اکسیژن، رطوبت و حرکت املاح باشد (۴۴). نقش کیتوزان در کاهش وزن میوه را می‌توان به خاصیت پلی‌کاتیونی آن نسبت داد. این پوشش با شکسته شدن به قطعات پلیمری و تشکیل مجدد زنجیره پلیمری، باعث تشکیل فیلم پوششی سطحی با حالت ژله‌ای می‌گردد (۲۹). این پوشش منجر به ایجاد یک لایه آب‌دوست در اطراف میوه می‌شود که مانعی در برابر تبادلات گازی است و بدین ترتیب، تنفس را کاهش می‌دهد و از تعرق و کاهش رطوبت سطحی نیز جلوگیری می‌کند (۴۵). افزایش از دست رفتن وزن میوه در تیمار اسانس زیره سبز و عصاره سماق ممکن است به دلیل افزایش تنفس میوه تحت تأثیر این تیمارها باشد. کاهش از دست رفتن رطوبت با کاربرد پوشش کیتوزان در قارچ تکمه‌ای گزارش شده است (۴۶) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. علاوه بر این، اثر مثبت پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدهایی مانند کیتوزان در کنترل افت وزن در روز ۲۱ انبارمانی، در برخی از مطالعات (۴۷) گزارش شده است. Jiang و همکاران در تحقیق خود، کیفیت پس از برداشت قارچ پوشش داده شده با کیتوزان– گلوکز را تحت نگهداری سرد بررسی کردند. نتایج آن‌ها پس از ۱۶ روز نگهداری نشان داد که میزان کاهش وزن قارچ پوشش داده شده با کیتوزان–گلوکز، ۲/۴۱ درصد و قارچ شاهد، ۳/۷۱ درصد می‌باشد. بنابراین، پوشش‌دهی با کیتوزان، موجب کاهش افت وزن گردید (۴۷) که با نتایج بررسی حاضر همسو بود.

هنگامی که یک تنش در بافت محصول رخ می‌دهد، مسیر حرکتی برخی از سلول‌ها با مشکل مواجهه می‌شود که در نتیجه آن، ترکیبات فنلی مانند کاتچین و پلی‌فنل‌ها با پلی‌فنل اکسیداز و یا فنل پراکسیداز به هم نزدیک می‌شوند و این اتفاق می‌تواند در برخی مناطق با شدت بالاتری همراه شود و برخی نواحی نسبت به سایر نقاط تیره‌تر باشد (۴۸، ۴۲). افزایش میزان زردی رنگ را می‌توان با توجه به واکنش‌های منجر به قهوه‌ای شدن توجیه کرد. اسانس زیره سبز در ترکیب با پوشش کیتوزان با کاهش متابولیسم، ممانعت از تولید اتیلن و ممانعت از تخریب رنگدانه‌ها، از رسیدن و تغییر رنگ فرآورده‌های خوراکی جلوگیری می‌کند. افزایش شاخص a* در طول دوره نگهداری، می‌تواند ناشی از پیری و یا پیشرفت فرایند غیر آنزیمی قهوه‌ای شدن در اندام باردهی باشد. همچنین، ممکن است به دلیل افزایش در سرعت تنفس و تحریک فعالیت‌های آنزیمی شامل واکنش‌های قهوه‌ای شدن و سایر واکنش‌هایی مسؤول کاهش کیفیت محصول هستند، باشد (۲۰). نتایج پژوهش حاضر مبنی بر کاهش شاخص L* با افزایش مدت زمان انبارمانی، با نتایج مطالعه Gao و همکاران روی قارچ تکمه‌ای (۲۰) مطابقت داشت. در روز ۲۱ انبارمانی، تیمار اسانس زیره کمترین شاخص قهوه‌ای شدن را نشان داد. به نظر می‌رسد ترکیبات فنلی موجود در اسانس زیره، باعث واسرشتی آنزیم‌ها می‌شود. همچنین، ترکیبات پلی‌فنلی در اثر واکنش با جایگاه فعال آنزیم، منجر به مهار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز می‌شوند؛ بدین صورت که این ترکیبات از طریق گروه هیدروکسیل خود به جایگاه فعال آنزیم متصل می‌گردند و یا توسط گروه آلدئیدی خود از طریق تشکیل بازشیف، باعث کمپلکس کردن فلز مس (کوفاکتور آنزیم پلی‌فنل اکسیداز) می‌شوند. از طرف دیگر، کاهش میزان قهوه‌ای شدن اندام باردهی قارچ تکمه‌ای در اثر کاربرد اسانس زیره در روز ۲۱ انبارمانی را می‌توان به وجود ترکیبات آلدئیدی در اسانس و عمل بازدارندگی این ترکیبات علیه آنزیم‌های دخیل در قهوه‌ای شدن مرتبط دانست. یکی دیگر از دلایل کاهش شاخص قهوه‌ای شدن تحت تأثیر اسانس زیره سبز را می‌توان به کاهش جمعیت باکتری نسبت داد (۴۲).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، با افزایش مدت زمان انبارمانی به روز ۲۱، بسیاری از خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی اندام باردهی قارچ تکمه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تیمار اسانس زیره سبز، عصاره سماق و پوشش کیتوزان، تأثیر معنی‌داری را بر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی قارچ تکمه‌ای در طول مدت زمان انبارمانی نشان داد. بررسی غلظت‌های دیگر اسانس‌های زیره سبز و عصاره سماق بر خصوصیات کیفی و بیوشیمیایی قارچ تکمه‌ای ممکن است بتواند نتایج متفاوت‌تری را ارایه دهد که بتوان به تولیدکنندگان این صنعت پیشنهاد نمود.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با شماره ۱۶۲۴۲۵۸۵۰، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) می‌باشد. بدین وسیله از تمام کسانی که در انجام این تحقیق همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Yadav D, Negi PS. Bioactive components of mushrooms: Processing effects and health benefits. Food Res Int 2021; 148: 110599.
2. Lagnika C, Zhang M, Mothibe KJ. Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (Agaricus bisporus) during postharvest storage. Postharvest Biol Technol 2013; 82: 87-94.
3. Liu G, Ye J, Li W, Zhang J, Wang Q, Zhu XA, et al. Extraction, structural characterization, and immunobiological activity of ABP Ia polysaccharide from Agaricus bisporus. Int J Biol Macromol 2020; 162: 975-84.
4. Tulkova E, Kabashnikova L. Malondialdehyde content in the leaves of small-leaved linden tilia cordata and Norway maple acer platanoides under the influence of volatile organic compounds. Plant Biosyst 2022; 156(3): 619-27.
5. Chen C, Peng X, Chen J, Gan Z, Wan C. Mitigating effects of chitosan coating on postharvest senescence and energy depletion of harvested pummelo fruit response to granulation stress. Food Chem 2021; 348: 129113.
6. Nair MS, Saxena A, Kaur C. Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (Psidium guajava L.). Food Chem 2018; 240: 245-52.
7. Shamshad A, Iqbal SZ, Abdull Razis AF, Usman S, Ali NB, Mumtaz A, et al. Influence of chitosan-based edible coating on the shelf life and nutritional quality of guava (Psidium guajava L.) fruit in room and refrigerated temperatures. Preprints 2021, 2021030652.
8. Souza AG, Ferreira RR, Paula LC, Mitra SK, Rosa DS. Starch-based films enriched with nanocellulose-stabilized Pickering emulsions containing different essential oils for possible applications in food packaging. Food Packag Shelf Life 2021; 27: 100615.
9. Locali-Pereira AR, Guazi JsS, Conti-Silva AC, Nicoletti VR. Active packaging for postharvest storage of cherry tomatoes: Different strategies for application of microencapsulated essential oil. Food Packag Shelf Life 2021; 29: 100723.
10. Donsi F, Ferrari G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. J Biotechnol 2016; 233: 106-20.
11. Hada M, Nishi K, Ishida M, Onda H, Nishimoto S, Sugahara T. Inhibitory effect of aqueous extract of Cuminum cyminum L. seed on degranulation of RBL-2H3 cells and passive cutaneous anaphylaxis reaction in mice. Cytotechnology 2019; 71(2): 599-609.
12. Koohsari S, Sheikholeslami MA, Parvardeh S, Ghafghazi S, Samadi S, Poul YK, et al. Antinociceptive and antineuropathic effects of cuminaldehyde, the major constituent of Cuminum cyminum seeds: Possible mechanisms of action. J Ethnopharmacol 2020; 255: 112786.
13. Alsamri H, Athamneh K, Pintus G, Eid AH, Iratni R. Pharmacological and antioxidant activities of Rhus coriaria L. (Sumac). Antioxidants (Basel) 2021; 10(1): 73.
14. Donglu F, Wenjian Y, Kimatu BM, Mariga AM, Liyan Z, Xinxin A, et al. Effect of nanocomposite-based packaging on storage stability of mushrooms (Flammulina velutipes). Innov Food Sci Emerg Technol 2016; 33: 489-97.
15. Gharachorloo M, Honarvar M, Mardani S. Chemical compositions and antioxidant activity of Heracleum persicum essential oil. Braz J Pharm Sci 2018; 53(3): e00260.
16. Mojaddar Langroodi A, Tajik H. Antimicrobial effects of hydroalcohol sumac extract with chitosan containing Zataria multiflora Boiss essential oil on beef meat in normal and modified atmosphere packaging. Studies in Medical Sciences 2017; 28(3): 192-205. [In Persian].
17. Pirani M, Tadayoni M, Fazl AA. (Agaricus bisporus) by peracetic acid and Cuminum cyminum essential oil. Food Science and Technology 2018; 15(1): 51-63. [In Persian].
18. Mittal M, Gupta N, Parashar P, Mehra V, Khatri M. Phytochemical evaluation and pharmacological activity of Syzygium aromaticum: A comprehensive review. Int J Pharm Pharm Sci 2014; 6(8): 67-72.
19. Hassanzadeh P, Tajik H, Razavi Rohani M. Application of chitosan edible coating containing grape seed extract on the quality and shelf life of refrigerated chicken meat. Journal of Food Research (Agricultural Scienc) 2012; 21(4): 467-482. [In Persian].
20. Gao M, Feng L, Jiang T. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (Agaricus bisporus) by essential oils fumigation treatment. Food Chem 2014; 149: 107-13.
21. Wu X, Guan W, Yan R, Lei J, Xu L, Wang Z. Effects of UV-C on antioxidant activity, total phenolics and main phenolic compounds of the melanin biosynthesis pathway in different tissues of button mushroom. Postharvest Biol Technol 2016; 118: 51-8.
22. Xu Y, Tian Y, Ma R, Liu Q, Zhang J. Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, Agaricus bisporus. Food Chem 2016; 197(Pt A): 436-44.
23. Meng X, Zhang M, Adhikari B. Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment. Postharvest Biol Technol 2012; 71: 13-20.
24. Pizzocaro F, Torreggiani D, Gilardi G. Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. J Food Process Preserv 2007; 17: 21-30.

25. Saxena S, Gautam S, Sharma A. Physical, biochemical and antioxidant properties of some Indian honeys. Food Chem 2010; 118(2): 391-7.
26. Ding Y, Zhu Z, Zhao J, Nie Y, Zhang Y, Liu C, et al. Effects of postharvest brassinolide treatment on the metabolism of white button mushroom (Agaricus bisporus) in relation to development of browning during storage. Food Bioprocess Technol 2016; 9(8): 1327-34.
27. Singh S, Gaikwad KK, Lee M, Lee YS. Thermally buffered corrugated packaging for preserving the postharvest freshness of mushrooms (Agaricus bispours). J Food Eng 2018; 216: 11-9.
28. Chu Y, Gao C, Liu X, Zhang N, Xu T, Feng X, et al. Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. LWT 2020; 122: 109054.
29. Nasiri M, Barzegar M, Sahari MA, Niakousari M. Application of Tragacanth gum impregnated with Satureja khuzistanica essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (Agaricus bisporus). Int J Biol Macromol 2018; 106: 218-26.
30. Jiang T, Luo Z, Ying T. Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (Lentinus edodes). Food Chem 2015; 172: 692-8.
31. Sami R, Khojah E, Elhakem A, Benajiba N, CHAVALI M, Vivek K, et al. Investigating the nano-films effect on physical, mechanical properties, chemical changes, and microbial load contamination of white button mushrooms during storage. Coatings 2021; 11(1): 44.
32. Mohammadi S, Zarei M, Zarei MM, Salehi I. Effect of hydroalcoholic leaves extract of rhus coriaria on pain in male rats. Anesth Pain Med 2016; 6(1): e32128.
33. Barry-Ryan C, O'beirne, D. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method. J. Food Sci 1998; 63(5): 851-6.
34. Lee H, Song Y, Park YH, Uddin MS, Park JB. Evaluation of the effects of Cuminum cyminum on cellular viability, osteogenic differentiation and mineralization of human bone marrow-derived stem cells. Medicina (Kaunas) 2021; 57(1): 38.
35. Sami R, Elhakem A, Alharbi M, Almatrafi M, Benajiba N, Ahmed Mohamed T, et al. In-vitro evaluation of the antioxidant and anti-inflammatory activity of volatile compounds and minerals in five different onion varieties. Separations 2021; 8(5): 57.
36. Cheng SY, Wang BJ, Weng YM. Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids. LWT 2015; 63(1): 115-21.
37. Khojah E, Sami R, Helal M, Elhakem A, Benajiba N, Alharbi M, et al. Effect of coatings using titanium dioxide nanoparticles and chitosan films on oxidation during storage on white button mushroom. Crystals 2021; 11(6): 603.
38. Toth B, Moloi MJ, Szoke L, Danter M, Grusak MA. Cultivar differences in the biochemical and physiological responses of common beans to aluminum stress. Plants (Basel) 2021; 10(10).
39. Giannakoula A, Therios I, Chatzissavvidis C. Effect of lead and copper on photosynthetic apparatus in citrus (Citrus aurantium L.) Plants. The role of antioxidants in oxidative damage as a response to heavy metal stress. Plants (Basel) 2021; 10(1): 155.
40. Xing Y, Li X, Xu Q, Yun J, Lu Y, Tang Y. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (Capsicum annuum L.). Food Chem 2011; 124(4): 1443-50.
41. Montero-Prado P, Rodriguez-Lafuente A, Nerin C. Active label-based packaging to extend the shelf-life of ‘‘Calanda’’ peach fruit: Changes in fruit quality and enzymatic activity. Postharvest Biol Technol 2011; 60(3): 211-9.
42. Karimi M, Hosseini M, Zahedi S. The effect of postharvest chitosan treatment on the quality maintenance of banana (Musa acuminata cv. Cavendish) during cold storage. Journal of Crop Production and Processing 2018; 8(1): 1-14. [In Persian].
43. Mohseni MARY, Mohamadi Sani A, Daraei Garmakhani A. An investigation on the effects of clove essence on deactivation of horseradish peroxidase. International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Science 2015; 4(7): 4891-7.
44. Eldib R, Khojah E, Elhakem A, Benajiba N, Helal M. Chitosan, Nisin, silicon dioxide nanoparticles coating films effects on blueberry (Vaccinium myrtillus) Quality. Coatings 2020; 10(10): 962.
45. Liu F, Chang W, Chen M, Xu F, Ma J, Zhong F. Tailoring physicochemical properties of chitosan films and their protective effects on meat by varying drying temperature. Carbohydr Polym 2019; 212: 150-9.
46. Jiang T, Feng L, Zheng X. Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (Lentinus edodes). J Agric Food Chem 2012; 60(1): 188-96.
47. Jiang T, Feng L, Li J. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (Lentinus edodes) treated with chitosan glucose complex coating under cold storage. Food Chem 2012; 131(3): 780-6.
48. Walkowiak-Tomczak D, Idaszewska N, Bieńczak K, Komoch W. The effect of mechanical actions occurring during transport on physicochemical changes in Agaricus bisporus mushrooms. Sustainability 2020; 12(12): 4993.