

Effect of Edible Guar Gum Coating on Quality Preservation and Shelf Life Extension of Button Mushroom during Postharvest Storage

Meisam Mohammadi

Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

*Corresponding author: me.mohamadi@ilam.ac.ir

(Received: 17 October 2025

Revised: 03 December 2025

Accepted: 26 December 2025)

Extended Abstract

- 1. Introduction:** White button mushroom (*Agaricus bisporus*) is a widely consumed edible fungus with high nutritional value but a very short postharvest life due to rapid physiological deterioration. The absence of a protective cuticle, high respiration rate, and high moisture content make mushrooms highly perishable, leading to weight loss, browning, cap opening, and texture degradation during storage. Enzymatic browning, mainly associated with polyphenol oxidase activity, together with oxidative stress induced by reactive oxygen species (H_2O_2 and MDA), is a key factor accelerating senescence and quality loss. Edible coatings based on natural polysaccharides have been proposed as an eco-friendly method to extend the shelf life of fresh produce. Guar gum, a galactomannan polysaccharide, is of interest due to its film-forming ability and barrier properties against moisture and gas exchange, which may reduce respiration and delay quality deterioration. However, limited information exists on its application in mushrooms under cold storage. Therefore, this study evaluated the effect of guar gum coatings on the physicochemical, biochemical, and antioxidant quality of *Agaricus bisporus* during refrigerated storage.
- 2. Materials and Methods:** Fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) were harvested from a commercial farm in Meimeh, Ilam Province, Iran, and transported to the laboratory under cooled conditions. Uniform samples were selected and divided into three groups: control (distilled water dip), 0.5% guar gum, and 1% guar gum (2 min immersion). After air-drying at 21°C, samples were packaged (10 mushrooms per container) and stored at $3 \pm 1^\circ C$ and 85-90% RH for 9 days. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) in a factorial scheme with three replications. Data were analyzed using SAS (v9.2), and means were compared by Duncan's test at the 5% significance level. Shelf life and quality attributes were evaluated based on cap opening, browning, weight loss, TSS, titratable acidity, protein, phenolics, flavonoids, PPO and PAL activities, hydrogen peroxide, malondialdehyde, and antioxidant capacity (DPPH assay).
- 3. Results and Discussion:** Results demonstrated that guar gum coating had a significant positive effect on maintaining postharvest quality and extending the shelf life of white button mushrooms compared to the control. At the end of the storage period, untreated samples exhibited a shelf life of 9.3 days, whereas mushrooms treated with 0.5% and 1% guar gum showed extended shelf lives of 11.6 and 13.3 days, respectively. This improvement indicates the effectiveness of guar gum in delaying senescence and slowing down postharvest deterioration processes. Coated mushrooms showed markedly reduced weight loss, delayed cap opening, and lower browning intensity throughout storage. The superior performance of the 1% guar gum treatment suggests that higher coating concentration enhances the formation of a more effective semi-permeable barrier on the mushroom surface, which likely reduces water vapor loss and restricts gas exchange. Consequently, respiration rate and transpiration processes were suppressed, leading to improved visual and structural quality. From a biochemical perspective, guar gum-coated samples maintained significantly higher levels of total soluble solids, titratable acidity, protein content, total phenolics, and flavonoids compared to the control during storage. The preservation of these quality-related compounds suggests that the coating effectively slowed down metabolic activities and delayed the degradation of key nutritional and bioactive constituents. In particular, the higher retention of phenolic and flavonoid compounds in coated samples reflects improved stability of antioxidant-related metabolites during storage. Enzymatic results further supported these findings, as guar gum coating significantly reduced polyphenol oxidase (PPO) activity while maintaining higher phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity. The suppression of PPO activity indicates a reduction in enzymatic browning, whereas the sustained PAL activity suggests continued biosynthesis of phenolic compounds and delayed

senescence. These enzymatic modifications collectively contributed to better visual quality and slower deterioration in coated mushrooms. Moreover, oxidative stress indicators revealed that guar gum coating effectively reduced the accumulation of hydrogen peroxide (H₂O₂) and malondialdehyde (MDA), both of which are key markers of oxidative damage and lipid peroxidation. The lower levels of these compounds in coated samples indicate that the coating helped mitigate reactive oxygen species accumulation and protected cellular membranes from oxidative injury during storage. Although antioxidant capacity decreased progressively in all treatments over time, coated mushrooms, particularly those treated with 1% guar gum, consistently exhibited significantly higher antioxidant activity compared to the control. This suggests that the coating not only slowed down oxidative degradation but also helped preserve the functional antioxidant system of the mushrooms during storage.

4. **Conclusion:** The present study demonstrates that guar gum coating is an effective natural and biodegradable approach for maintaining postharvest quality of white button mushrooms during refrigerated storage. The application of guar gum significantly reduced weight loss, delayed browning and cap opening, and preserved nutritional and bioactive compounds. Furthermore, guar gum coating reduced oxidative stress and modulated key enzymatic activities associated with senescence. Among the tested concentrations, 1% guar gum was most effective at maintaining overall quality and extending shelf life. In conclusion, guar gum can be recommended as a safe and cost-effective edible coating for improving the postharvest storage life of *Agaricus bisporus* under cold storage conditions. Further studies are suggested to evaluate its combination with other natural coatings or antimicrobial agents to enhance preservation efficiency.

Keywords: Weight loss, total phenolic content, white button mushroom, edible coating, guar gum

Citation: Mohammadi, M. (2026). Effect of Edible Guar Gum Coating on Quality Preservation and Shelf Life Extension of Button Mushroom during Postharvest Storage. *Journal of Vegetables Sciences*, 19(1), 127-142. doi:10.22034/iuvs.2026.2088444.1445

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





اثر پوشش خوراکی صمغ گوار بر حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای در پس از برداشت

میثم محمدی

استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

*نویسنده مسئول: me.mohamadi@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۲۵

چکیده

قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) به دلیل بافت نرم، فعالیت متابولیکی بالا و فقدان لایه محافظ، پس از برداشت به سرعت دچار افت کیفیت، قهوه‌ای شدن و کاهش عمر ماندگاری می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر پوشش خوراکی صمغ گوار بر حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای طی دوره نگهداری پس از برداشت انجام شد. قارچ‌های دکمه‌ای در محلول‌های حاوی صمغ گوار با غلظت‌های ۰ (شاهد)، ۵/۰ و ۱ درصد پوشش‌دهی شدند و به مدت ۹ روز در دمای 3 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. صفات مختلف در روزهای ۳، ۶ و ۹ پس از برداشت ارزیابی شد. نتایج نشان داد پوشش صمغ گوار به‌طور معنی‌داری موجب افزایش عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای شد، به‌طوری‌که عمر ماندگاری از ۹ روز در شاهد به ۱۱ و ۱۳ روز به‌ترتیب در تیمارهای ۵/۰ و ۱ درصد افزایش یافت. در روز نهم نگهداری، افت وزن در نمونه شاهد ۲۳/۶ درصد بود، در حالی که این مقدار در تیمارهای ۵/۰ و ۱ درصد صمغ گوار به‌ترتیب به ۱۷/۹ و ۱۲/۶ درصد کاهش یافت. همچنین میزان باز شدن کلاهک از ۷۵/۲ درصد در شاهد به ۵۲/۶ و ۳۸/۷ درصد و شدت قهوه‌ای شدن سطح به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. در روز نهم بیشترین مقادیر مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون، پروتئین کل، فنول کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱ درصد صمغ گوار مشاهده شد. علاوه بر این، کمترین مقادیر پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در این تیمار ثبت گردید که بیانگر کاهش تنش اکسیداتیو و تأخیر در فرآیند پیری بود.

واژه‌های کلیدی: افت وزن، فنول کل، قارچ دکمه‌ای، پوشش خوراکی، صمغ گوار.

مقدمه

استناد: محمدی، م. (۱۴۰۵). اثر پوشش خوراکی صمغ گوار بر حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای در پس از برداشت. علوم سبزی‌ها، ۱۹(۱)، ۱۲۷-۱۴۲.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

راهکارهای حفظ کیفیت قارچ پس از برداشت محسوب می‌شود (Kalita et al., 2025).

در سال‌های اخیر استفاده از پوشش‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر به عنوان جایگزینی مناسب برای بسته‌بندی‌های سنتزی مورد توجه گسترده قرار گرفته است. پوشش‌های خوراکی با ایجاد یک لایه نیمه‌تراوا بر سطح محصول، موجب کاهش تبادل گازها و بخار آب شده و از شدت تنفس، افت رطوبت و فعالیت‌های متابولیکی مرتبط با پیری می‌کاهند. این پوشش‌ها علاوه بر حفظ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، می‌توانند با کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، کیفیت تغذیه‌ای محصولات را طی نگهداری حفظ کنند (Salehi, 2020). در میان ترکیبات مورد استفاده برای تهیه پوشش‌های خوراکی، صمغ‌های طبیعی به دلیل غیرسمی بودن، زیست‌سازگاری، قابلیت تشکیل فیلم و ویژگی‌های مناسب ممانعتی، کاربرد گسترده‌ای در صنایع غذایی پیدا کرده‌اند. صمغ گوار یکی از مهم‌ترین پلی‌ساکاریدهای طبیعی استخراج‌شده از بذر گیاه *Cyamopsis tetragonolobus* است که به دلیل ظرفیت بالای نگهداری آب، ویسکوزیته مناسب و توانایی تشکیل فیلم، به عنوان پوششی مؤثر برای افزایش ماندگاری محصولات تازه شناخته می‌شود (Nehra et al., 2023).

Jiang و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که استفاده از پوشش‌های خوراکی باعث کاهش قهوه‌ای شدن، حفظ سفتی بافت و کاهش افت وزن قارچ دکمه‌ای طی نگهداری شد. همچنین Nasiri و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که پوشش صمغ گوار غنی‌شده با اسانس‌های گیاهی توانست روند پیری و قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ دکمه‌ای را به طور معنی‌داری کاهش دهد و فعالیت پلی‌فنول‌اکسیداز را مهار کند. در مطالعه‌ای دیگر، Huang و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که پوشش ترکیبی کیتوزان و

قارچ دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) یکی از مهم‌ترین قارچ‌های خوراکی در جهان است که به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالا، طعم مطلوب و دارا بودن ترکیبات زیست‌فعال، جایگاه ویژه‌ای در رژیم غذایی انسان دارد. این محصول منبع غنی پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌های گروه B، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر فنول‌ها و فلاونوئیدها است و مصرف آن می‌تواند در کاهش استرس اکسیداتیو و ارتقای سلامت انسان مؤثر باشد (Xia et al., 2024). با این وجود، قارچ دکمه‌ای پس از برداشت به شدت فسادپذیر بوده و در مدت کوتاهی کیفیت خود را از دست می‌دهد. فسادپذیری بالای قارچ دکمه‌ای عمدتاً به دلیل میزان رطوبت زیاد، شدت تنفس بالا، متابولیسم فعال و فقدان لایه کوتیکولی محافظ در سطح آن است. نبود این لایه محافظ موجب افزایش تبخیر آب و افت سریع رطوبت می‌شود که در نهایت باعث کاهش سفتی بافت، چروکیدگی و افت کیفیت ظاهری قارچ می‌گردد. علاوه بر این، طی نگهداری پس از برداشت، بروز تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مرتبط با فرایند پیری نظیر باز شدن کلاhek، قهوه‌ای شدن سطح و کاهش ترکیبات زیست‌فعال، موجب کاهش بازارپسندی و محدود شدن عمر ماندگاری قارچ می‌شود (Jiang et al., 2012). باز شدن کلاhek یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پیری در قارچ دکمه‌ای محسوب می‌شود که نشان‌دهنده ادامه فعالیت‌های متابولیکی و رسیدگی بیش از حد محصول است. همچنین قهوه‌ای شدن سطح قارچ یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت و پذیرش مصرف‌کننده به شمار می‌رود که عمدتاً در اثر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و اکسیداسیون ترکیبات فنولی رخ می‌دهد (Ioannou, 2013). در طی فرایند پیری، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن نظیر پراکسید هیدروژن و تشدید پراکسیداسیون لیپیدها موجب آسیب غشاهای سلولی، افزایش تولید مالون‌دی‌آلدئید و تسریع فساد قارچ می‌شود. بنابراین کاهش تنش اکسیداتیو و کنترل فعالیت آنزیم‌های مرتبط با قهوه‌ای شدن از مهم‌ترین

صمغ گوار در قارچ *Lentinus edodes* باعث کاهش افت وزن، حفظ پروتئین محلول، کاهش مالون‌دی‌آلدئید و حفظ کیفیت کلی قارچ طی دوره نگهداری شد. این پژوهشگران گزارش کردند که پوشش‌های حاوی صمغ گوار می‌توانند از تخریب غشاهای سلولی جلوگیری کرده و روند پیری قارچ را به تأخیر اندازند. Tahir و همکاران (۲۰۱۹) نیز در یک مقاله مروری جامع بیان کردند که پوشش‌های مبتنی بر صمغ‌های طبیعی با ایجاد سد مناسب در برابر اکسیژن و بخار آب، موجب کاهش سرعت تنفس، حفظ ترکیبات فنولی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصولات باغبانی می‌شوند. همچنین Salehi (۲۰۲۰) گزارش کرد که صمغ‌های طبیعی از جمله صمغ گوار می‌توانند موجب کاهش افت وزن، تأخیر در رسیدگی و افزایش ماندگاری محصولات تازه شوند.

با وجود مطالعات انجام‌شده، اطلاعات محدودی درباره تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ گوار بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با قهوه‌ای شدن و شاخص‌های تنش اکسیداتیو در قارچ دکمه‌ای وجود دارد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر پوشش خوراکی صمغ گوار بر ویژگی‌های کیفی، بیوشیمیایی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط با قهوه‌ای شدن و ماندگاری قارچ دکمه‌ای طی نگهداری پس از برداشت انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد آزمایشی و تیمارها

نمونه‌های قارچ دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) از یک واحد تجاری تولید قارچ در استان ایلام، شهرستان دهلران، شهر میمه، در ساعات اولیه صبح برداشت شدند. بلافاصله پس از برداشت، نمونه‌ها در شرایط خنک به آزمایشگاه منتقل شدند تا از بروز تغییرات فیزیولوژیک و افت کیفیت اولیه جلوگیری شود. در آزمایشگاه، قارچ‌ها از نظر اندازه و وزن یکنواخت‌سازی شده و نمونه‌های دارای آسیب یا ناهماهنگ حذف شدند. سپس نمونه‌ها به سه گروه

آزمایشی تقسیم شدند. گروه اول به عنوان شاهد در داخل آب مقطر به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور شد و پس از خارج شدن، در شرایط بهداشتی در محیط آزمایشگاه با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا رطوبت سطحی آن‌ها خشک شود. گروه دوم و سوم به ترتیب در محلول صمغ گوار ۰.۵ درصد و ۱ درصد (وزنی/حجمی) به مدت ۲ دقیقه غوطه‌ور شدند و سپس مشابه نمونه‌های شاهد در شرایط بهداشتی و در دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا رطوبت سطحی آن‌ها خشک شده و لایه یکنواخت پوشش روی سطح قارچ تشکیل شود. پس از خشک شدن، تمامی نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند، به‌طوری که در هر بسته ۱۰ عدد قارچ با اندازه و وزن یکنواخت و کلاhek کاملاً بسته قرار داده شد. نمونه‌های بسته‌بندی‌شده تا پایان دوره نگهداری در انکوباتور با دمای 1 ± 3 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. ارزیابی صفات فیزیکی، شیمیایی، بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی در زمان برداشت (روز صفر) و همچنین در روزهای ۳، ۶ و ۹ پس از برداشت انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با سه تکرار طراحی و اجرا شد. فاکتور اول شامل تیمارهای شاهد، صمغ گوار ۰.۵ درصد و ۱ درصد بود و فاکتور دوم زمان‌های مختلف بررسی صفات را شامل می‌شد.

اندازه‌گیری عمر ماندگاری، باز شدن کلاhek و

قهوه‌ای شدن سطح

عمر ماندگاری قارچ‌ها براساس تعداد روزهایی که قارچ‌ها بازرسندی خود را براساس میزان قهوه‌ای شدن سطحی، باز شدن کلاhek و افت وزن تعیین شد. میزان باز شدن کلاhek توسط نقاله اندازه‌گیری و بر حسب درصدی از محیط دایره‌ای کلاhek قارچ گزارش شد. میزان قهوه‌ای شدن سطح قارچ توسط نمرده‌دهی از ۱ تا ۵ تعیین شد، بطوریکه قارچ‌های بدون تغییر رنگ و کاملاً سفید نمره ۱، تا ۲۵ درصد تغییر رنگ نمره ۲، ۲۶ تا ۵۰ درصد تغییر رنگ نمره ۳، ۵۱ تا ۷۵ درصد

تغییر رنگ نمره ۴ و بیشتر از ۷۶ درصد تغییر رنگ نمره ۵ در نظر گرفته شد و در نهایت میزان تغییر رنگ در هر واحد آزمایشی براساس میانگین تغییر رنگ تمامی قارچ‌های آن واحد آزمایشی محاسبه و گزارش شد (Azizpanah et al., 2023).

اندازه‌گیری افت وزن، مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون

افت وزن نمونه‌ها به روش وزنی و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. وزن اولیه هر بسته در زمان برداشت ثبت گردید و سپس در روزهای ۳، ۶ و ۹ نگهداری مجدداً توزین شد. درصد افت وزن از رابطه اختلاف وزن اولیه و وزن در هر زمان نسبت به وزن اولیه محاسبه شد. برای جلوگیری از خطا، نمونه‌ها قبل از توزین به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط محیطی ثابت قرار گرفتند تا اثر رطوبت سطحی حذف گردد (Wills et al., 2007).

مواد جامد محلول (TSS) با استفاده از رفراکتومتر دیجیتال (کالیبره‌شده با آب مقطر در ۲۰ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. ابتدا ۱۰ گرم نمونه هموژن شده و با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر استخراج گردید. عصاره از کاغذ صافی واتمن شماره ۱ عبور داده شد و چند قطره از فاز شفاف روی منشور دستگاه قرار گرفت. مقدار مواد جامد محلول به‌صورت درصد بریکس ثبت شد (Azizpanah et al., 2023). برای اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون (TA)، ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از آب قارچ‌ها توسط آمیوه‌گیری جدا شد و سپس با سود سوزآور ۰/۱ نرمال تا رسیدن به پی‌اچ ۸/۱ تیتر شد و نتایج بر حسب اسید سیتریک معادل گزارش گردید (Ranganna, 1986).

اندازه‌گیری پروتئین، فنول و فلاونوئید

محتوای پروتئین کل نمونه‌ها به روش رنگ‌سنجی برادفورد و با استفاده از آلبومین سرم گاوی (BSA) به عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد. در این روش، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت قارچ در

۵ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH 7.0) حاوی ۱ درصد PVP در شرایط سرد (۴ درجه سانتی‌گراد) هموژن گردید. سپس عصاره در دور ۱۲,۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ و سوپرناتانت شفاف برای آزمون استفاده شد. برای اندازه‌گیری، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۵ میلی‌لیتر معرف Bradford مخلوط و به مدت ۵ تا ۱۰ دقیقه در دمای اتاق انکوبه شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار پروتئین بر اساس منحنی استاندارد BSA محاسبه و به صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر گزارش گردید (Bradford, 1976). محتوای فنول کل نمونه‌ها به روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالتو- (Folin-Ciocalteu) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ابتدا یک گرم از بافت قارچ دکمه‌ای در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تحت استخراج قرار گرفت. سپس عصاره حاصل در دور ۱۰,۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و سوپرناتانت شفاف برای آزمون استفاده گردید. برای انجام واکنش، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالتو ۱۰ درصد مخلوط شد. پس از ۵ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر محلول سدیم کربنات ۷/۵ درصد اضافه گردید. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق و در شرایط تاریکی نگهداری شد تا رنگ آبی تشکیل گردد. سپس جذب نوری در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فنول کل بر اساس منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه و به صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک در گرم وزن تر گزارش شد (Singleton et al., 1999). محتوای فلاونوئید کل به روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد. ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد هموژن و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه

سوپرناتانت شفاف به عنوان منبع آنزیمی مورد استفاده قرار گرفت. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۲/۹ میلی‌لیتر محلول سوبسترای کاتکول ۰/۱ مولار مخلوط شد. تغییرات جذب نوری در طول موج ۴۲۰ نانومتر به مدت ۳ دقیقه با فاصله زمانی مشخص ثبت گردید. فعالیت آنزیم به صورت تغییر جذب در دقیقه به ازای میلی‌گرم پروتئین محاسبه و گزارش شد (Vamos-Vigyazo, 1981).

اندازه‌گیری محتوای پراکسید هیدروژن، مالون

دی آلدئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری پراکسید هیدروژن، ۱ گرم نمونه در ۵ میلی‌لیتر اسید تری‌کلرو استیک ۰/۱ درصد هموزن شده و سپس در دور ۱۲,۰۰۰ rpm به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. از سوپرناتانت، ۰/۵ میلی‌لیتر با ۰/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH 7.0) و ۱ میلی‌لیتر محلول یدید پتاسیم یک مولار مخلوط شد. پس از واکنش، جذب نوری در طول موج ۳۹۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. مقدار پراکسید هیدروژن بر اساس منحنی استاندارد محاسبه و به صورت میکرومول در گرم وزن تر گزارش شد (Velikova et al., 2000). محتوای مالون دی‌آلدئید به عنوان شاخص پراکسیداسیون لیپیدی با روش اسید تیوباریتوریک (TBA) تعیین شد. بدین منظور، ۱ گرم نمونه در ۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک ۵ درصد هموزن و سانتریفیوژ گردید. سپس ۲ میلی‌لیتر از سوپرناتانت با ۲ میلی‌لیتر محلول تیوباریتوریک اسید ۰/۶۷ درصد مخلوط و در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد. بلافاصله نمونه‌ها در حمام یخ سرد شدند تا واکنش متوقف شود. جذب نوری در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید و میزان مالون دی‌آلدئید بر اساس فرمول استاندارد محاسبه و به

سانتی‌گراد استخراج گردید. سپس عصاره در دور ۱۰,۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. برای انجام واکنش، ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره با ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر محلول کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری گردید. سپس جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فلاونوئید کل بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و به صورت میلی‌گرم معادل کوئرستین در گرم وزن تر گزارش شد (Chang et al., 2002).

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز و

پلی‌فنول اکسیداز

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالاز بر اساس روش استخراج و اندازه‌گیری تولید اسید سینامیک تعیین شد. بدین منظور، ۱ گرم نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر بافر بورات ۰/۱ مولار (pH 8.8) در شرایط سرد هموزن و سپس سانتریفیوژ شد. از عصاره به دست آمده، ۰/۵ میلی‌لیتر با ۰/۵ میلی‌لیتر محلول L-phenylalanine با غلظت ۰/۰۲ مولار مخلوط گردید و مخلوط حاصل در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه انکوبه شد. واکنش آنزیمی با افزودن ۶ نرمال HCl متوقف شد. سپس جذب نوری در طول موج ۲۹۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. فعالیت آنزیم بر اساس مقدار اسید سینامیک تولید شده و با استفاده از منحنی استاندارد مربوطه محاسبه شد (Hyodo et al., 1978). برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز، ۱ گرم از نمونه قارچ در ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۵ مولار (pH 6.5) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد هموزن شد. عصاره حاصل پس از هموزن‌سازی در دور ۱۰,۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید و

شاهد ۷۵/۲ درصد بود ولی در تیمارهای صمغ گوار ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب ۵۲/۶ درصد و ۳۸/۷ درصد از کلاهک قارچ‌ها در روز نهم انبارمانی باز شده بود (شکل ۱-ب). نتایج مربوط به میزان قهوه‌ای شدن سطح قارچ‌ها نیز نشان داد در روز نهم انبارمانی میزان قهوه‌ای شدن در نمونه‌های شاهد بیشتر از تیمارهای صمغ گوار بود و کمترین مقدار این شاخص در تیمار صمغ گوار ۱ درصد مشاهده شد (شکل ۱-ث).

صورت میکرومول در گرم وزن تر گزارش شد (Heath & Packer, 1968). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش مهار رادیکال آزاد DPPH تعیین شد. در این روش، ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره نمونه با ۳/۹ میلی‌لیتر محلول DPPH (۰/۱ میلی‌مولار در متانول) مخلوط گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای اتاق انکوبه شد. سپس جذب نوری در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد مهار رادیکال آزاد بر اساس اختلاف جذب نمونه و شاهد محاسبه گردید و به عنوان شاخص ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گزارش شد (Brand-Williams *et al.*, 1995).

تجزیه و تحلیل آماری

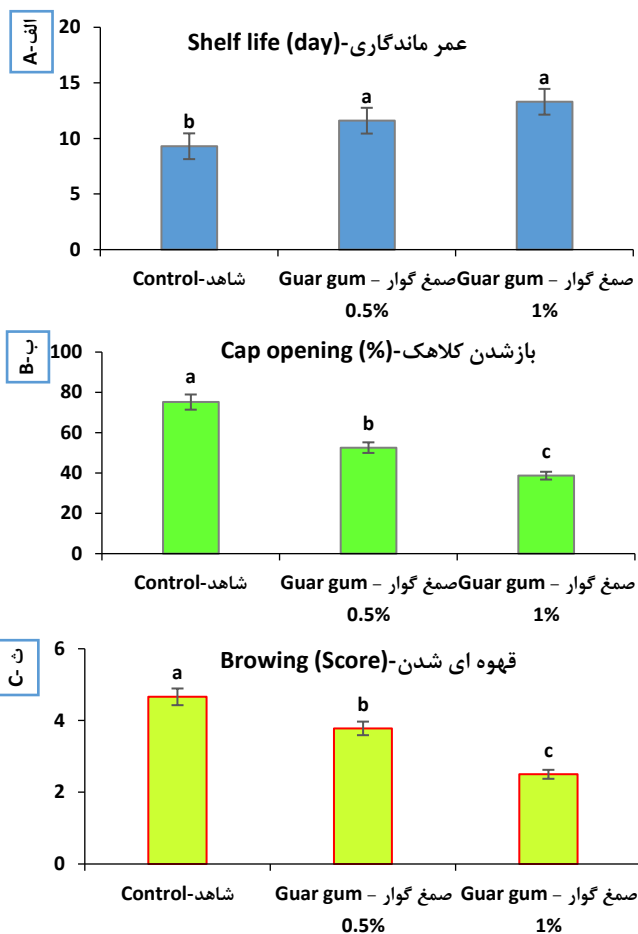
آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار طراحی و اجرا شد. نتایج توسط نرم‌افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد. میانگین‌ها $\pm$ انحراف معیار در قالب نمودار گزارش شدند.

نتایج و بحث

نتایج

عمر ماندگاری، باز شدن کلاهک و قهوه‌ای شدن سطح قارچ

نتایج نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ گوار بخوبی باعث حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار شد. براساس نتایج در پانزده دوره انبارمانی نمونه‌های شاهد (فاقد پوشش) دارای میانگین عمر ۹/۳ روز بودند، درحالی‌که میانگین ماندگاری در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ گوار در تیمارهای ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب ۱۱/۶ روز و ۱۳/۳ روز بود که به ترتیب ۲/۳ روز و ۴ روز بیشتر از نمونه‌های شاهد بود (شکل ۱-الف). نتایج مربوط به میزان باز شدن کلاهک قارچ به عنوان نشانه‌ای از شروع فرایند پیری در قارچ دکمه‌ای در روز نهم انبارمانی نیز نشان داد که پوشش‌دهی با صمغ گوار بخوبی باعث کاهش این شاخص در قارچ‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد بطوریکه میزان باز شدن در نمونه‌های



شکل ۱- اثر پوشش‌دهی با صمغ گوار بر عمر ماندگاری (الف)، باز شدن کلاهک (ب) و قهوه‌ای شدن سطح (ث) قارچ دکمه‌ای در روز نهم پس از برداشت. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن خلقت اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Figure 1. Effect of guar gum coating on shelf life (a), cap opening (b), and surface browning (c) of button mushrooms on the ninth day after harvest. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون

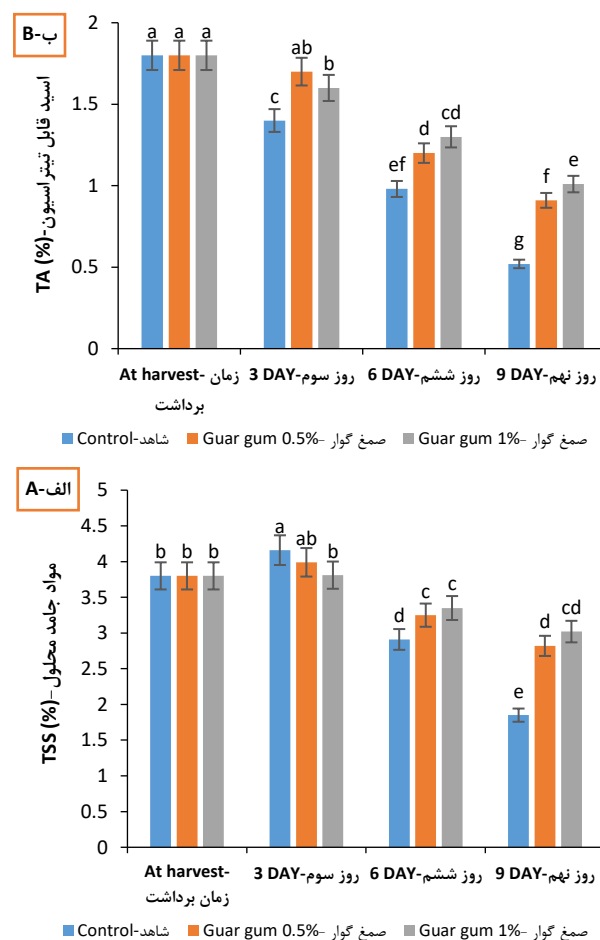
شکل ۲- اثر پوشش‌دهی با صمغ گوار بر مواد جامد محلول (الف) و اسید قابل تیتراسیون (ب) قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Figure 2- Effect of guar gum coating on total soluble solids (a) and titratable acidity (b) of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

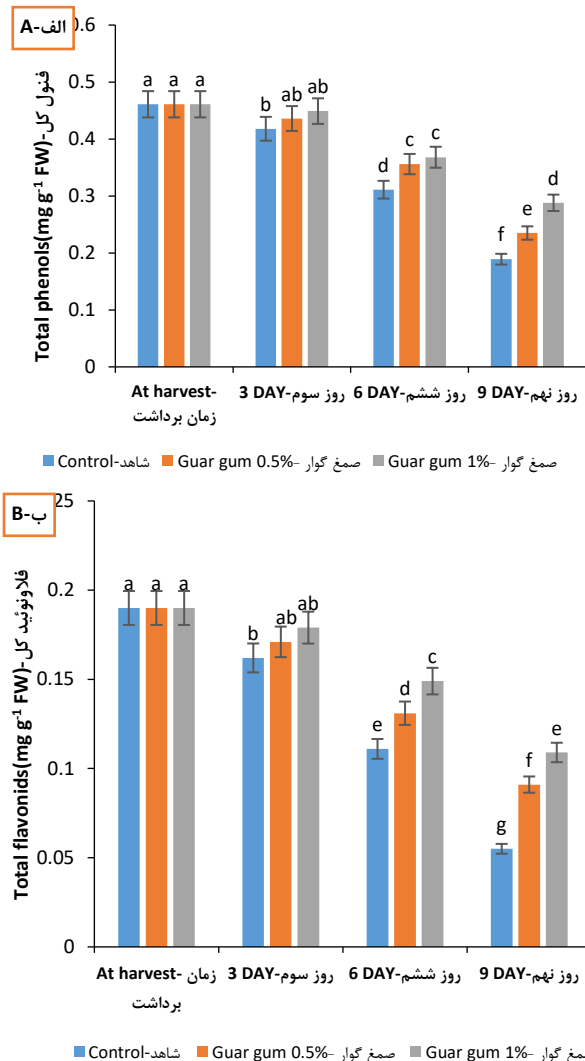
افت وزن و پروتئین کل

نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری قارچ‌ها در انبار میزان افت وزن افزایش یافت، اما میزان افت وزن در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ گوار کمتر از نمونه‌های شاهد بود. بطوریکه در روز نهم انبارمانی نمونه‌های شاهد ۲۳/۶ درصد افت وزن داشتند در حالیکه در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ گوار ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب ۱۷/۹ درصد و ۱۲/۶ درصد افت وزن مشاهده شد (شکل ۳-الف). بررسی محتوای پروتئین کل نیز نشان داد با افزایش ماندگاری قارچ‌ها و شروع فرایند پیری محتوای پروتئین کل کاهش یافت، ولی پوشش صمغ گوار بخوبی توانست باعث حفظ پروتئین کل در قارچ‌های تیمار شده در مقایسه با شاهد شود. بطوریکه در روز نهم انبارمانی کمترین مقدار پروتئین ۱۸/۲ میلی گرم در گرم وزن تر در نمونه‌های شاهد مشاهده شد، در حالیکه مقدار پروتئین کل در تیمارهای صمغ گوار ۰/۵ درصد و ۱ درصد (بدون اختلاف معنی‌دار با همدیگر) به ترتیب ۲۲/۶ و ۲۳/۹ میلی گرم در گرم وزن تر بود (شکل ۳-ب).

نتایج مربوط به مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون نشان داد که مقادیر آن‌ها با افزایش زمان ماندگاری در قارچ‌ها کاهش یافت ولی قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ گوار دارای مقادیر بیشتری از این ترکیبات در طول دوره ماندگاری پس از برداشت بودند. بطوریکه در روز نهم انبارمانی کمترین مقدار مواد جامد محلول با ۱/۸۵ درصد در نمونه‌های شاهد مشاهده شد، در حالیکه اگرچه بین تیمارهای صمغ گوار اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ولی این مقادیر برای تیمارهای صمغ گوار ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب ۲/۸۲ درصد و ۳/۰۲ درصد بود که بطور معنی‌داری بیشتر از نمونه‌های شاهد بود (شکل ۲-الف). همچنین در روز نهم انبارمانی کمترین مقدار اسید قابل تیتراسیون ۰/۵۲ درصد بود که مربوط به نمونه‌های شاهد بود، در حالیکه در همین زمان تیمارهای صمغ گوار ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب با مقادیر ۰/۹۱ درصد و ۱/۰۱ درصد دارای اسید قابل تیتراسیون بیشتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بودند (شکل ۲-ب).

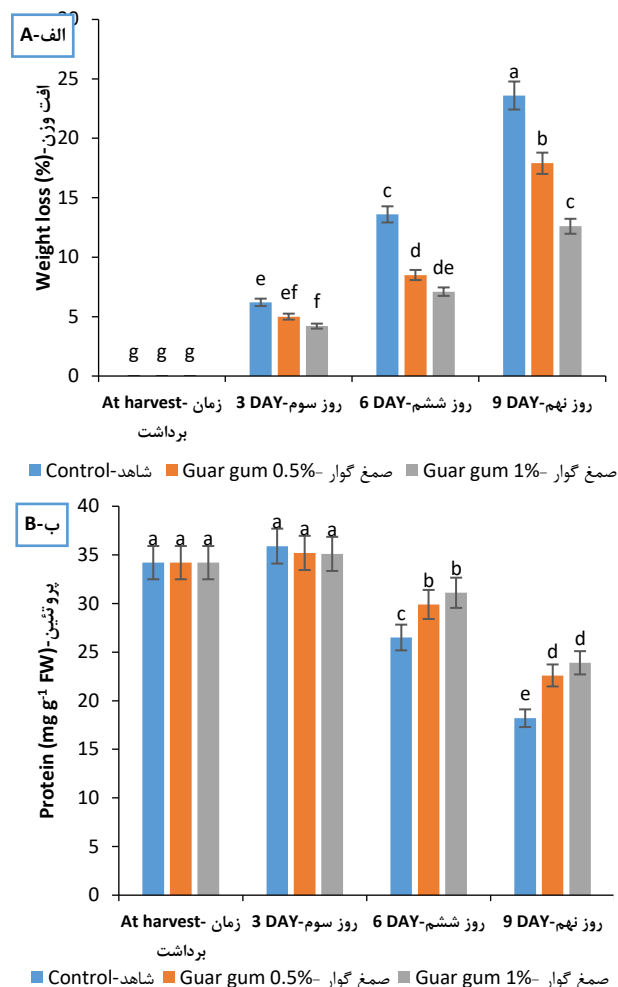


مشاهده شد. این در حالی بود که بیشترین مقدار فنول کل (۰/۲۸۸ میلی گرم در گرم وزن تر) و فلاونوئید کل (۰/۱۰۹ میلی گرم در گرم وزن تر) مربوط به تیمار صمغ گوار ۱ درصد بود (شکل ۴).



شکل ۴- اثر پوشش دهی با صمغ گوار بر محتوای فنول کل (الف) و فلاونوئید کل (ب) قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند.

Figure 4- Effect of guar gum coating on total phenolic content (a) and total flavonoid content (b) of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.



شکل ۳- اثر پوشش دهی با صمغ گوار بر افت وزن (الف) و محتوای پروتئین (ب) قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی دار می‌باشند.

Figure 3- Effect of guar gum coating on weight loss (a) and protein content (b) of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

فنول کل و فلاونوئید کل

نتایج نشان داد با افزایش نگهداری قارچ‌ها در انبار از زمان برداشت تا روز نهم به تدریج محتوای فنول کل و فلاونوئید کل کاهش یافت، اما پوشش صمغ گوار توانست باعث حفظ این ترکیبات در مقایسه با نمونه‌های شاهد طی دوره نگهداری در انبار شود. بطوریکه در روز نهم کمترین مقدار فنول کل (۰/۱۸۹ میلی گرم در گرم وزن تر) و فلاونوئید کل (۰/۰۵۵ میلی گرم در گرم وزن تر) در نمونه‌های شاهد

شکل ۵- اثر پوشش‌دهی با صمغ گوار بر فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز (الف) و پلی فنول اکسیداز (ب) قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Figure 5- Effect of guar gum coating on phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity (a) and polyphenol oxidase (PPO) activity (b) of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدهید

نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری قارچ‌ها در انبار و پیشروی فرایند پیری، محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدهید افزایش یافت اما تیمار صمغ گوار بخوبی توانست از افزایش بیش از حد این ترکیبات در مقایسه با نمونه‌های شاهد جلوگیری کند، بطوریکه در روز نهم ماندگاری کمترین مقدار پراکسید هیدروژن (۱۲/۲۳ میکرومول در گرم وزن تر) و مالون دی آلدهید (۴۴۱/۱ میکرومول در گرم وزن تر) در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ گوار ۱ درصد مشاهده شد. این در حالی بود در همین زمان بیشترین مقدار مربوط به نمونه‌های شاهد بود. همچنین در مرتبه دوم تیمار صمغ عربی ۰/۵ درصد دارای محتوای پراکسید هیدروژن و مالون دی آلدهید کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد بود (شکل ۶).

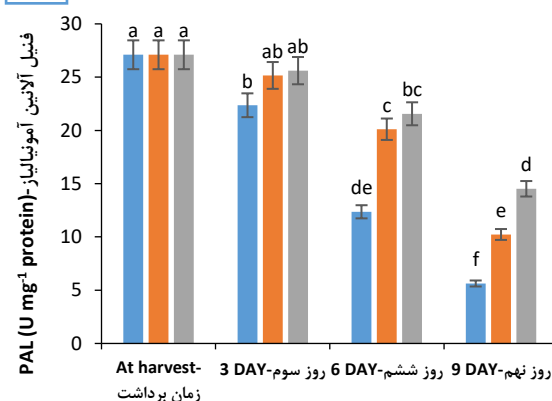
ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماندگاری قارچ‌ها در انبار، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی به تدریج کاهش یافت، اما کماکان همراستا با سایر نتایج حاضر، پوشش‌دهی با صمغ گوار توانست باعث حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در قارچ‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد شود. بطوریکه در روز نهم نگهداری بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵۴/۶ درصد) در تیمار صمغ گوار ۱ درصد و سپس در صمغ گوار ۰/۵ درصد (۳۹/۱) مشاهده شد. این در حالی بود که کمترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۲۲/۳) در نمونه‌های شاهد مشاهده شد (شکل ۷).

فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالایز و پلی فنول اکسیداز

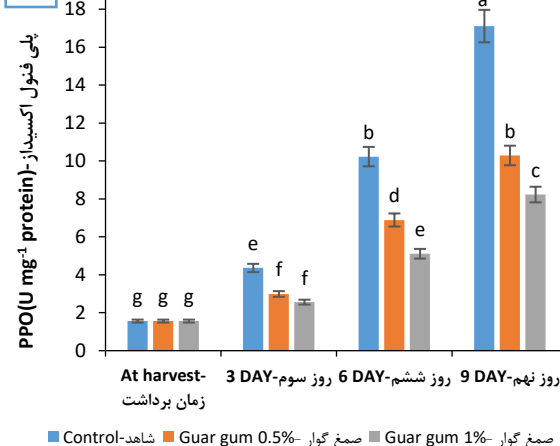
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش زمان نگهداری قارچ‌ها در انبار، فعالیت آنزیم‌های فنیل آلانین آمونیالایز کاهش و فعالیت پلی فنول اکسیداز افزایش یافت، اما در طول دوره نگهداری قارچ‌ها در انبار پوشش‌دهی با صمغ گوار باعث حفظ فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز در سطح بیشتر و پلی فنول اکسیداز در سطح کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. بطوریکه در روز نهم انبارمانی کمترین فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالایز (۵/۶۳ واحد آنزیمی در میلی گرم پروتئین) و بیشترین فعالیت پلی فنول اکسیداز (۱۷/۱۱ واحد آنزیمی در میلی گرم پروتئین) در نمونه‌های شاهد مشاهده گردید. این در حالی بود در همین زمان بیشترین فعالیت فنیل آلانین آمونیالایز و کمترین فعالیت پلی فنول اکسیداز در تیمار صمغ گوار ۱ درصد مشاهده گردید (شکل ۵).

A-الف

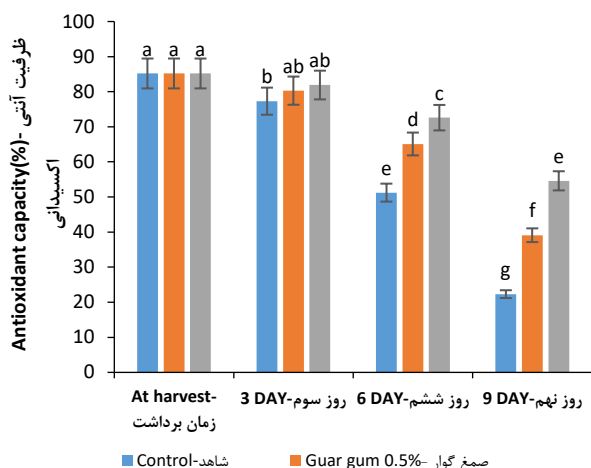


■ شاهد-شاهد ■ صمغ گوار 0.5% ■ صمغ گوار 1%

B-ب



■ شاهد-شاهد ■ صمغ گوار 0.5% ■ صمغ گوار 1%



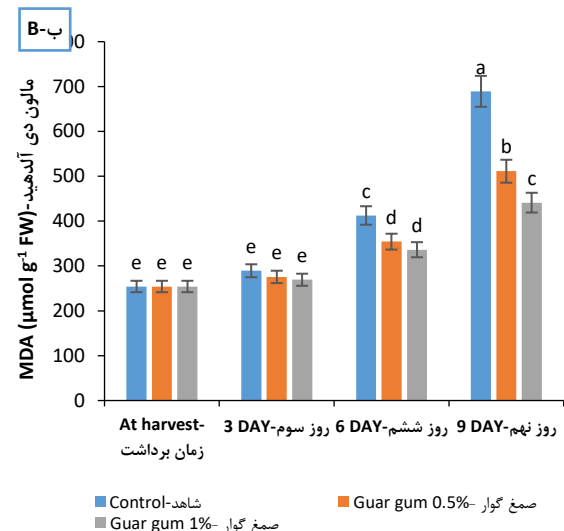
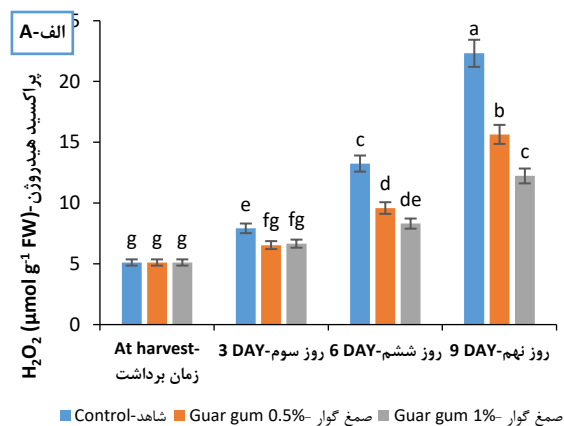
شکل ۷- اثر پوشش‌دهی با صمغ گوار بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Figure 7- Effect of guar gum coating on antioxidant capacity of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پوشش‌دهی قارچ دکمه‌ای با صمغ گوار به طور معنی‌داری توانست کیفیت ظاهری، ویژگی‌های بیوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ را طی دوره نگهداری پس از برداشت حفظ کرده و روند پیری و فساد را به تأخیر اندازد. به طور کلی، تیمار صمغ گوار ۱ درصد در اغلب شاخص‌های اندازه‌گیری شده عملکرد بهتری نسبت به تیمار ۰/۵ درصد و نمونه‌های شاهد داشت که بیانگر اثر وابسته به غلظت این پوشش خوراکی در حفظ کیفیت قارچ دکمه‌ای است. این نتایج نشان می‌دهد که پوشش صمغ گوار با ایجاد یک سد نیمه‌تراوا روی سطح قارچ، موجب کاهش تبادل رطوبت و گازها شده و در نتیجه شدت تنفس، تعرق و واکنش‌های متابولیکی مرتبط با پیری را کاهش داده است.

یکی از مهم‌ترین نتایج این پژوهش، افزایش معنی‌دار عمر ماندگاری قارچ‌های پوشش‌دهی‌شده با صمغ گوار در مقایسه با نمونه‌های شاهد بود. قارچ دکمه‌ای به دلیل دارا بودن بیش از ۹۰ درصد رطوبت و فقدان لایه کوتیکولی محافظ، پس از برداشت به شدت مستعد از دست دادن آب،



شکل ۶- اثر پوشش‌دهی با صمغ گوار بر محتوای پراکسید هیدروژن (الف) و مالون دی‌آلدئید (ب) قارچ دکمه‌ای طی نگهداری در انبار. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Figure 6- Effect of guar gum coating on hydrogen peroxide (H₂O₂) content (a) and malondialdehyde (MDA) content (b) of button mushrooms during storage. Means sharing at least one common letter are not significantly different at the 5% probability level according to Duncan's multiple range test.

است. نتایج مشابهی توسط Nasiri و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شد؛ آن‌ها نشان دادند که پوشش صمغ گون غنی‌شده با اسانس‌های گیاهی باعث کاهش فعالیت پلی‌فنول‌اکسیداز و کاهش قهوه‌ای شدن قارچ دکمه‌ای شد. همچنین Xia و همکاران (۲۰۲۴) در مقاله مروری خود اشاره کردند که پوشش‌های خوراکی طبیعی با کاهش فعالیت آنزیم‌های مرتبط با قهوه‌ای شدن می‌توانند نقش مهمی در حفظ کیفیت قارچ‌ها داشته باشند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محتوای مواد جامد محلول و اسید قلیل تیتراسیون در طول دوره نگهداری کاهش یافت، اما قارچ‌های پوشش‌دهی‌شده با صمغ گوار مقادیر بیشتری از این ترکیبات را حفظ کردند. کاهش مواد جامد محلول و اسیدهای آلی طی انبارمانی معمولاً ناشی از مصرف این ترکیبات در فرایند تنفس و متابولیسم سلولی است. بنابراین حفظ مقادیر بیشتر این ترکیبات در تیمارهای پوشش‌دهی‌شده نشان‌دهنده کاهش شدت تنفس و کند شدن روند پیری در قارچ‌ها است. Huang و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که پوشش‌های حاوی صمغ گوار موجب حفظ پروتئین محلول، اسید آسکوربیک و ترکیبات محلول در قارچ شدند. همچنین Tahir و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که پوشش‌های مبتنی بر صمغ‌های طبیعی می‌توانند با تنظیم تبادل گازها و کاهش سرعت متابولیسم، از کاهش ترکیبات محلول جلوگیری کنند.

افت وزن یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کاهش کیفیت قارچ‌های خوراکی طی انبارمانی است که عمدتاً در نتیجه تعرق و از دست دادن آب رخ می‌دهد. در پژوهش حاضر، پوشش صمغ گوار به طور معنی‌داری افت وزن قارچ‌ها را کاهش داد. این موضوع احتمالاً ناشی از توانایی بالای صمغ گوار در نگهداری آب و ایجاد یک لایه محافظ روی سطح قارچ است که مانع خروج رطوبت می‌شود. نتایج این بخش با یافته‌های Yazicioğlu و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد که گزارش کردند پوشش صمغ گوار موجب کاهش افت وزن و حفظ ویژگی‌های بافتی قارچ دکمه‌ای شد. همچنین در پژوهش Cavusoglu و همکاران (۲۰۲۱) نیز انواع پوشش‌های خوراکی توانستند افت وزن و نرم شدن بافت قارچ را کاهش دهند. در این پژوهش، پوشش صمغ گوار موجب حفظ پروتئین کل قارچ طی دوره نگهداری شد. کاهش پروتئین طی انبارمانی معمولاً ناشی از تجزیه

نرم شدن بافت و فساد سریع است. بنابراین هرگونه تیمار که بتواند افت رطوبت و شدت تنفس را کاهش دهد، نقش مهمی در افزایش ماندگاری این محصول خواهد داشت. در پژوهش حاضر، پوشش صمغ گوار موجب کاهش افت وزن و حفظ کیفیت ظاهری قارچ شد که احتمالاً ناشی از ویژگی ممانعتی این پوشش در برابر بخار آب و اکسیژن است. نتایج این مطالعه با یافته‌های Huang و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد که گزارش کردند پوشش ترکیبی کیتوزان و صمغ گوار موجب حفظ سفتی بافت، کاهش افت وزن و افزایش ماندگاری قارچ *Lentinus edodes* شد. این پژوهشگران بیان کردند که پوشش‌های مبتنی بر صمغ گوار با کاهش تبادل گازها و جلوگیری از تخریب غشاهای سلولی، روند پیری قارچ را کند می‌کنند. در پژوهش حاضر، پوشش صمغ گوار موجب کاهش معنی‌دار بازشدن کلاهک قارچ شد. بازشدن کلاهک یکی از شاخص‌های مهم پیری در قارچ دکمه‌ای محسوب می‌شود که بیانگر ادامه فعالیت‌های فیزیولوژیک و رسیدگی بیش از حد قارچ پس از برداشت است. کاهش بازشدن کلاهک در تیمارهای پوشش‌دهی‌شده احتمالاً ناشی از کاهش شدت تنفس و کاهش سرعت متابولیسم در قارچ‌ها بوده است. نتایج این بخش با گزارش Zhu و همکاران (۲۰۱۹) درباره قارچ *Pholiota nameko* مطابقت دارد؛ آن‌ها مشاهده کردند که پوشش‌های خوراکی مبتنی بر آلژینات توانستند درصد بازشدن کلاهک را طی نگهداری کاهش دهند و روند پیری را به تأخیر اندازند. همچنین Cavusoglu و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که استفاده از پوشش‌های مبتنی بر صمغ، آلژینات و پروتئین سفیده تخم‌مرغ باعث کاهش بازشدن کلاهک و حفظ کیفیت ظاهری قارچ دکمه‌ای شد.

کاهش قهوه‌ای شدن سطح قارچ در تیمارهای صمغ گوار نیز از دیگر نتایج مهم پژوهش حاضر بود. قهوه‌ای شدن سطح یکی از اصلی‌ترین عوامل کاهش بازارپسندی قارچ دکمه‌ای است که عمدتاً در اثر فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و اکسیداسیون ترکیبات فنولی رخ می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که پوشش صمغ گوار توانست فعالیت پلی‌فنول‌اکسیداز را کاهش داده و در نتیجه از تشکیل رنگدانه‌های قهوه‌ای جلوگیری کند. احتمالاً این اثر به دلیل محدود شدن دسترسی اکسیژن به سطح بافت قارچ و کاهش شدت واکنش‌های اکسیداسیون فنولی بوده

ترکیبات نیتروژنی و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده در جریان پیری است. بنابراین حفظ پروتئین در قارچ‌های تیمارشده نشان می‌دهد که پوشش صمغ گوار توانسته شدت فرایندهای تخریبی را کاهش دهد. نتایج مشابهی توسط Huang و همکاران (۲۰۱۹) گزارش شد که در آن پوشش‌های حاوی صمغ گوار باعث حفظ پروتئین محلول و کاهش تخریب ساختارهای سلولی شدند.

کاهش تدریجی محتوای فنول کل و فلاونوئید کل طی نگهداری در پژوهش حاضر، احتمالاً ناشی از مصرف این ترکیبات در مقابله با تنش اکسیداتیو و همچنین اکسیداسیون آن‌ها توسط آنزیم‌های اکسیداتیو است. با این حال، پوشش صمغ گوار توانست از کاهش شدید این ترکیبات جلوگیری کند و مقادیر بیشتری از فنول‌ها و فلاونوئیدها را در قارچ حفظ نماید. ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی نقش مهمی در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ دارند و کاهش آن‌ها موجب افت کیفیت تغذیه‌ای محصول می‌شود. Nasiri و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که پوشش‌های خوراکی مبتنی بر صمغ موجب حفظ ترکیبات فنولی و کاهش اکسیداسیون آن‌ها در قارچ دکمه‌ای شدند. همچنین Xia و همکاران (۲۰۲۴) بیان کردند که پوشش‌های خوراکی طبیعی با کاهش تنش اکسیداتیو، از تخریب ترکیبات فنولی جلوگیری می‌کنند. نتایج مربوط به فعالیت آنزیم‌های فنیل‌آلانین آمونیا‌لیاز و پلی‌فنول اکسیداز نشان داد که پوشش صمغ گوار موجب حفظ فعالیت فنیل‌آلانین آمونیا‌لیاز و کاهش فعالیت پلی‌فنول اکسیداز شد. آنزیم فنیل‌آلانین آمونیا‌لیاز یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های مسیر بیوسنتز ترکیبات فنولی است و افزایش فعالیت آن معمولاً با افزایش تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی همراه است. در مقابل، پلی‌فنول اکسیداز آنزیم اصلی مسئول قهوه‌ای شدن آنزیمی در قارچ‌ها محسوب می‌شود. بنابراین افزایش فعالیت فنیل‌آلانین آمونیا‌لیاز و کاهش پلی‌فنول اکسیداز در تیمارهای پوشش‌دهی‌شده نشان می‌دهد که صمغ گوار توانسته تعادل مناسبی میان سنتز و اکسیداسیون ترکیبات فنولی ایجاد کند. نتایج مشابهی در مطالعه Nasiri و همکاران (۲۰۱۹) مشاهده شد که پوشش‌های صمغی غنی‌شده با اسانس‌ها موجب کاهش فعالیت پلی‌فنول اکسیداز و حفظ کیفیت قارچ شدند. همچنین در مطالعه مروری اخیر درباره فناوری‌های نگهداری قارچ، گزارش شد که پوشش‌های خوراکی می‌توانند با تعدیل فعالیت

آنزیم‌های اکسیداتیو، روند قهوه‌ای شدن و پیری را به تأخیر اندازند. Azizpanah و همکاران (۲۰۲۳) گزارش کردند استفاده از دیسک‌های آغشته به اسانس گیاهان دارویی با کاهش بار میکروبی و جلوگیری از افت وزن باعث حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای در پس از برداشت می‌شوند.

پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید از مهم‌ترین شاخص‌های تنش اکسیداتیو و آسیب‌های غشایی در بافت‌های گیاهی محسوب می‌شوند. افزایش این ترکیبات در نمونه‌های شاهد نشان‌دهنده تشدید تنش اکسیداتیو و تخریب غشاهای سلولی طی انبارمانی بود. در مقابل، پوشش صمغ گوار توانست از تجمع بیش از حد این ترکیبات جلوگیری کند که بیانگر کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی است. Huang و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که پوشش‌های حاوی صمغ گوار موجب کاهش محتوای مالون دی‌آلدئید و کاهش نشت الکترولیت‌ها در قارچ شدند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قارچ‌ها در طی نگهداری کاهش یافت، اما قارچ‌های پوشش‌دهی‌شده با صمغ گوار مقادیر بیشتری از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را حفظ کردند. این موضوع احتمالاً ناشی از حفظ ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و همچنین کاهش تنش اکسیداتیو در بافت قارچ است. از آنجا که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نقش مهمی در حفظ کیفیت تغذیه‌ای و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو دارد، حفظ این ویژگی می‌تواند ارزش تغذیه‌ای قارچ را طی نگهداری افزایش دهد. نتایج مشابهی در مطالعات Nasiri و همکاران (۲۰۱۹) و Xia و همکاران (۲۰۲۴) گزارش شده است که نشان دادند پوشش‌های خوراکی طبیعی باعث حفظ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش تخریب ترکیبات زیست‌فعال در قارچ‌ها می‌شوند. به طور کلی، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پوشش خوراکی صمغ گوار به ویژه در غلظت ۱ درصد، راهکاری مؤثر و ایمن برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای پس از برداشت است. این پوشش با کاهش افت وزن، جلوگیری از قهوه‌ای شدن، کاهش بازشدن کلاهک، حفظ ترکیبات زیست‌فعال و کاهش تنش اکسیداتیو توانست روند پیری قارچ را به تأخیر اندازد. بنابراین استفاده از صمغ گوار می‌تواند به عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر در صنایع پس از برداشت و بسته‌بندی قارچ مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پوشش‌دهی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با صمغ گوار به‌عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی و زیست‌تخریب‌پذیر، نقش مؤثری در بهبود کیفیت پس از برداشت و افزایش عمر ماندگاری این محصول دارد. به‌طور کلی، تیمارهای صمغ گوار (به‌ویژه غلظت ۱ درصد) توانستند با ایجاد یک لایه نیمه‌تراوا بر سطح قارچ، شدت تنفس و تبادل رطوبت را کاهش داده و از افت وزن، نرم شدن بافت و کاهش کیفیت ظاهری جلوگیری کنند. همچنین نتایج نشان داد که پوشش صمغ گوار به‌طور معنی‌داری از بروز شاخص‌های پیری نظیر باز شدن کلاهک و قهوه‌ای شدن سطح قارچ جلوگیری کرده و در نتیجه موجب حفظ بازارپسندی محصول شد. در سطح بیوشیمیایی نیز این پوشش توانست با کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و کنترل فرایندهای اکسیداتیو، از تخریب

ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی جلوگیری کند. علاوه بر این، کاهش تجمع پراکسید هیدروژن و مالون‌دی‌آلدئید در تیمارهای پوشش‌دهی‌شده نشان‌دهنده کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی بود. در مقابل، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، حفظ مواد جامد محلول، اسیدهای آلی و پروتئین کل در قارچ‌های تیمار شده نشان داد که صمغ گوار می‌تواند نقش مهمی در حفظ ارزش تغذیه‌ای قارچ طی دوره نگهداری ایفا کند. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پوشش خوراکی صمغ گوار یک راهکار مؤثر، ایمن و مقرون‌به‌صرفه برای کاهش ضایعات پس از برداشت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای است. این پوشش با کاهش سرعت پیری، کنترل فرایندهای اکسیداتیو و حفظ ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی، می‌تواند به‌عنوان یک فناوری نوین در بسته‌بندی و نگهداری قارچ‌های خوراکی مورد استفاده قرار گیرد.

References

- Azizpanah, A., Aliakbari, M., Mirzaee, K., Mohammadi, M., Ranjbar, M. E., & Azizpanah, A. (2023). Maintaining the quality and extending shelf life of button mushroom by using essential oil of some medicinal plants in packaging containers. *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 131-147. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2023.1995797.1274>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Cavusoglu, S., Uzun, Y., Yilmaz, N., Ercisli, S., Eren, E., Ekiert, H., Elansary, H. O., & Szopa, A. (2021). Maintaining the quality and storage life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) with gum, agar, sodium alginate, egg white protein, and lecithin coating. *Journal of Fungi*, 7(8), 614. <https://doi.org/10.3390/jof7080614>
- Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1)
- Huang, Q., Qian, X., Jiang, T., & Zheng, X. (2019). Effect of chitosan and guar gum-based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 253, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.062>
- Hyodo, H., Kuroda, H., & Tanaka, K. (1978). Induction of phenylalanine

- ammonia-lyase in wounded carrot root tissue. *Plant & Cell Physiology*, 19(5), 1121-1128.
- Ioannou, I. (2013). Prevention of enzymatic browning in fruit and vegetables. *European Scientific Journal*, 9(30). <https://doi.org/10.19044/esj.2013.v9n30.p%25p>
- Jiang, T., Feng, L., & Zheng, X. (2012). Effect of chitosan coating enriched with thyme oil on postharvest quality and shelf life of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), 188–196. <https://doi.org/10.1021/jf202638u>
- Kalita, P., Kalita, T., Bora, N. S., Roy, P. K., Pachua, L., & Roy, S. (2025). A review on natural polymer-based film/coating in postharvest mushroom preservation. *Food Control*, 172, 111185. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111185>
- Khazaei, Z., Behnamian, M., Dezhsetan, S. & Estaji, A. (2023). The effect of green zinc oxide nanoparticles on the physicochemical properties of *Ganoderma lucidum* mushroom. *Journal of Vegetables Sciences*, 14(2), 01-24. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2023.1972377.1247>
- Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M. A., & Niakousari, M. (2019). Efficiency of tragacanth gum coating enriched with essential oils for deceleration of enzymatic browning and senescence of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Science & Nutrition*, 7(4), 1520-1528. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1000>
- Nehra, A., Biswas, D., Siracusa, V., & Roy, S. (2023). Natural gum-based functional bioactive films and coatings: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 485. <https://doi.org/10.3390/ijms24010485>
- Ranganna, S. (1986). *Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*. Tata McGraw-Hill.
- Salehi, F. (2020). Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S570-S589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1746730>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Tahir, H. E., Zou, X., Mahunu, G. K., Arslan, M., Abdalhai, M., & Li, Z. (2019). Recent developments in gum edible coating applications for fruits and vegetables preservation: A review. *Carbohydrate Polymers*, 224, 115141. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115141>
- Vamos-Vigyazo, L. (1981). Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(1), 49–127. <https://doi.org/10.1080/10408398109527312>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1)
- Wills, R. B. H., McGlasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (2007). *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables, and ornamentals* (5th ed.). CABI.
- Xia, R., Hou, Z., Xu, H., Li, Y., Sun, Y., Wang, Y., Zhu, J., Wang, Z., Pan, S., & Xin, G. (2024). Emerging technologies for preservation and quality evaluation of postharvest edible mushrooms: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(23), 8445–8463. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2200482>