مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۲ شماره ۲/ سال ۱۴۰۱/ صفحات ۱۳۹ تا ۱۵۲
DOI: 10.22034/FR.2021.41265.1761

اثر شستشو با فراصوت قدرتی بر انبارمانی قارچ خوراکی

محمد ابونجمی*[۱]، مریم گنجدوست[۲]، حسین میرسعیدقاضی[۳] و کیوان آصف‌پور وکیلیان[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱٤ تاریخ پذیرش: ٤۰۰/٦/۸

[۱] دانشیار گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
[۲] فارغ‌التحصیل دوره کارشناسی ارشد، گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
[۳] دانشیار گروه فناوری صنایع غذایی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
[٤] استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* مسئول مکاتبه: Email: abonajmi@ut.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: عمر انبارمانی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در دمای متوسط محیط، درصورتی‌که حداقل فرآوری را متحمل شده باشد به سبب قهوه‌ای شدن آنزیمی بین دو تا چهار روز است. در نتیجه، این محصول یکی از حساس‌ترین محصولات کشاورزی از نقطه نظر فیزیولوژی پس از برداشت می‌باشد. **هدف**: این پژوهش به منظور بررسی استفاده از فراصوت قدرتی به‌تنهایی و به همراه تیمارهای دیگر مانند پراکسید هیدروژن و ازن جهت افزایش انبارمانی قارچ خوراکی میباشد. **روش کار**: در پژوهش حاضر اثر تیمارهای مختلف بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل وزن، pH، سفتی بافت، ماده جامد محلول، و بار میکروبی قارچ خوراکی مورد آزمون قرار گرفت. **نتایج**: مقایسه نمونه‌ها در طول دوره‌ی انبارمانی بیانگر روند افزایشی در کاهش وزن نمونه‌ها بوده که مقدار کاهش وزن در نمونه‌ی کنترل به‌طور قابل توجهی بیشتر از نمونه‌های شستشو داده‌شده با فراصوت بود. همچنین نتایج نشان داد اگرچه تیمار ازن اثر معناداری بر نمونه‌ها نداشت، اما تیمارهای شستشو داده‌شده با فراصوت و پراکسید هیدروژن از نظر کنترل بار میکروبی دارای عملکرد بالایی نسبت به حالت کنترل و سایر تیمارهادر سطح ۱ درصد بود. با استفاده از این تیمار به مدت ٦ دقیقه، بار میکروبی نمونه‌ها در طول ۱۲ روز انبارمانی از ٦۱ به ۸۷/٥ CFU/g افزایش یافت، در حالی‌که بار میکروبی نمونه‌های شاهد و دیگر تیمارها به طور معناداری بیشتر از این میزان بود. **نتیجه‌گیری کلی**: بکارگیری همزمان تیمار فراصوت قدرتی و پراکسید هیدروژن در زمان اعمال ٦ دقیقه می‌تواند یک روش مناسب برای افزایش انبارمانی قارچ دکمه‌ای تا ۱۲ روز باشد.

واژگان کلیدی: انبارمانی، فراصوت قدرتی، قارچ خوراکی، پراکسید هیدروژن

مقدمه

با کمبود منابع غذایی و افزایش جمعیت، توسعه و بهبود صنایع تبدیلی و فراوری محصولات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. مطابق آمار سال ۲۰۱۹ میلادی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)، ایران با تولید ۱۰۱ هزار تُن قارچ خوراکی در رتبه نهم تولید این محصول قرار دارد. اما بخش قابل توجهی از تولید این محصول و دیگر محصولات کشاورزی پس از برداشت در ایران به ضایعات تبدیل می‌شوند (جوکار ۲۰۰٤، طاهرزاده و حجت ۲۰۱۳). مدیریت نادرست فروش و عدم بازاریابی صحیح،

و هم‌چنین رطوبت زیاد محصولات تازه برداشت‌شده باغی موجب افزایش فسادپذیری و در نتیجه کاهش عمر انبارمانی آن‌ها شده است. لذا امروزه، افزایش انبارمانی انواع میوه‌ها و سبزی‌ها با هدف کاهش ضایعات یکی از مهم‌ترین اهداف بخش کشاورزی محسوب می‌گردد (خوشکام ۱۳۹۷).

قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*) رایج‌ترین رقم قارچ زراعی- تجاری در سطح جهان است. این قارچ در کشور ما نیز بیشترین سهم که در حدود ۸۵ درصد کل تولید قارچ‌های خوراکی می‌باشد را به خود اختصاص داده است. قارچ نسبت به میوه و سبزی سرعت تنفس بالاتری دارد و به دلیل فقدان لایه محافظ برای جلوگیری از هدر رفتن آب، فرآیند فساد در آن سریع‌تر اتفاق می‌افتد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). لذا کاهش ماندگاری و عمر انبارمانی در توزیع و عرضه قارچ محدودیت ایجاد کرده است (سینگ و همکاران ۲۰۱۰). از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت قارچ می‌توان به سفید بودن محصول، کلاهک گرد و براق، ساقه راست و فقدان لکه قهوه‌ای بر روی آن اشاره کرد (سینگ و همکاران ۲۰۱۰). فاسد شدن قارچ یک روز پس از برداشت آغاز می‌شود که با تغییر رنگ قارچ شروع‌شده و از سفیدی به قهوه‌ای متمایل می‌شود که ناشی از فعالیت آنزیم تیروزیناز می‌باشد (نریا و همکاران ۲۰۰۶). این واکنش‌های قهوه‌ای شدن به آسیب‌های مکانیکی در حین نقل‌وانتقال و فرآوری، خراش، شستشو، پیری و عفونت‌های باکتریایی مربوط می‌شود و کیفیت غذاهای فراوری‌شده را کاهش می‌دهد (نیرمال و همکاران ۲۰۱۵). عمر انبارمانی قارچ دکمه‌ای در دمای متوسط محیط بین ۲ تا ٤ روز است و با کاهش وزن در حدود ٥-۱۰ درصد شروع به پلاسیده شدن کرده و غیرقابل استفاده می‌شود (لین و سان ۲۰۱۹). تاکنون، روش‌های مختلفی برای بهبود خواص انبارمانی قارچ خوراکی ارائه گردیده است. الوندی و سیاری (۱۳۹۵) اثر آسکوربات کلسیم را بر روی صفات کیفی قارچ دکمه‌ای از قبیل کاهش وزن، سفتی، ویتامین ث، فنول کل، فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز و شاخص‌های رنگی در دوره انبارمانی بررسی کردند. نتایج نشان داد که آسکوربات کلسیم همراه با تیمار دمایی اثرات معنی داری بر کاهش وزن، سفتی بافت، شاخص‌های رنگ و فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز به همراه داشت. آنها نشان دادند که آسکوربات کلسیم ۰/۸ درصد همراه با تیمار دمایی بهترین اثر را در حفظ صفات کیفی قارچ دکمه‌ای داشت. سرلک و همکاران (۱۳۹٦) اثر تیمارهای اسید اگزالیک و اسید سیتریک در غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۵ میلی‌مولار، پراکسید هیدروژن در غلظت‌های ۱/۵ و ۲/۵ درصد، اسید آسکوربیک در غلظت ۱/۵ میلی‌مولار و کلرید کلسیم در غلظت یک درصد به مدت دو دقیقه را بر روی قارچ خوراکی بررسی کردند. شاخص‌های درصد افت وزن، درجه قهوه‌ای شدن، نشت یونی و میزان تشکیل کلونی باکتریایی پس از حداکثر ١٦ روز انبارداری اندازه گیری شدند. آنها نشان دادند تیمارهای کلرید کلسیم، اسید آسکوربیک و پراکسید هیدروژن موجب کنترل قهوه‌ای شدن در مقایسه با شاهد شدند. اما تیمارهای اسید اگزالیک و اسید سیتریک با وجود کاهش بار میکروبی اثر مثبت قابل توجهی روی محصول نداشتند. تیمار کلرید کلسیم با کاهش از دست دادن آب، نشت یونی و بار میکروبی، تیمار اسید آسکوربیک با کاهش نشت یونی، بار میکروبی و تیمار پراکسید هیدروژن با کاهش بار میکروبی منجر به افزایش عمر پس از برداشت قارچ خوراکی شدند.

از ازن به طور گسترده برای بهبود خواص پس از برداشت محصولات کشاورزی بهره گرفته شده است. مستوفی و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که انگورهای تیمار شده با ازن، نسبت به نمونه‌های شاهد، قندهای احیا شونده، شاخص رسیدگی و انبارمانی بالاتر و درصد پوسیدگی، ویتامین ث، درصد کاهش وزن، ریزش حبه، آبکشیدگی دم خوشه و ترک‌خوردگی پائین‌تری داشتند. صادقی و همکاران (۱۳۹۸) اثر تیمار گازی ازن بر انبارمانی و برخی خصوصیات کمی و کیفی فلفل دلمه‌ای را طی مدت ٤٠ روز

انبارمانی در سردخانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میوه‌های فلفل دلمه‌ای تیمارشده با ازن در غلظت ppm ۱ نسبت به میوه‌های تیمار نشده و تیمار شده با ازن در غلظت ppm ۵، درصد کاهش وزن، مواد جامد محلول و پوسیدگی ناشی از کپک و مخمر سطحی پایین‌تر و سفتی بافت بالاتری داشتند.

محصولاتی مانند قارچ به دلیل عدم وجود لایه محافظ در برابر حمله میکروبی و آفات دارای حساسیت بیشتری نسبت به سایر محصولات کشاورزی هستند. لذا استفاده از روشی نوین برای شستشوی غیر تماسی و میکروب‌زدایی کامل اهمیت داشته و همچنین به دلیل خواص داروئی و تغذیه‌ای قارچ، استفاده از یک روش مؤثر و کم‌هزینه برای افزایش طول دوره انبارمانی این محصول ضروری است. تمایل به عدم استفاده از مواد شیمیایی باعث شده است که از تیمارهای فراصوت در سال‌های اخیر برای بهبود انبارمانی محصولات کشاورزی از جمله قارچ استفاده گردد.

خادمی و همکاران (۱۳۹٤) نشان دادند که قارچ‌های تیمار شده با امواج فراصوت در مقایسه با قارچ‌های شاهد درجه قهوه‌ای شدن کمتری داشتند، که این امر به دلیل کاهش بار میکروبی و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز در اثر این تیمار بود. تیمار فراصوت همچنین با حفظ ساختار غشا و کاهش نشت یونی از دست دادن آب را در مقایسه شاهد کنترل نمود. با افزایش مدت زمان تیمار به بیشتر از دو دقیقه آسیب به غشا رخ داده و فرایند قهوه‌ای شدن بیشتر شد. به دلیل از دست دادن آب بیشتر و تغلیظ شیره سلولی، نمونه‌های شاهد دارای مواد جامد محلول بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار فراصوت بودند. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های شاهد نیز کمتر از نمونه‌های تیمار فراصوت بود.

شستشو به کمک امواج فراصوت از جمله مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های شستشوی غیر تماسی سبزی‌ها و میوه‌های با بافت حساس باغی و گلخانه‌ای است. پیش تیمار فراصوت شامل غوطه‌ور کردن میوه در آب مقطر یا محلول‌های دیگر و اعمال امواج فراصوت به صورت هم‌زمان است. امواج فراصوت، باعث ایجاد انقباض‌ها و انبساط‌های متناوب سریع در سلول می‌شود (فرناندز و رودریگز ۲۰۰۸). در این روش، میوه و سبزی‌ها بدون تماس مکانیکی محصول با هرگونه جسم خارجی به‌صورت کامل شستشو داده‌شده و عمر انبارمانی محصول نیز افزایش می‌یابد. استفاده از فراصوت، در پایان دوره انبارمانی باعث حفظ رنگ، طعم و بافت مواد غذایی می‌شود. همچنین فراصوت از طریق شستشو باعث کاهش بقایای سموم باقی‌مانده بر روی محصول، زدودن و تمیز کردن خاک و گردوغبار به‌طور کامل می‌شود. با کمک فراصوت، شستشوی عمیق برای محصولات و سبزی‌های برگی با کمترین آسیب و حداقل زمان امکان‌پذیر است (گالو و همکاران ۲۰۱۸).

نحوه استفاده از امواج فراصوت در صنایع غذائی به دو گونه است. کاربرد فراصوت با شدت بالا (قدرتی) و امواج با شدت کم (تشخیصی). امواج تشخیصی با شدت کم به‌عنوان یک روش تجزیه‌ای در استخراج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی استفاده می‌شود. در این حالت توان به‌کاررفته به حدی کم است که پس از قطع امواج فراصوت هیچ‌گونه تغییری در خواص فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی ایجاد نمی‌شود. در مقابل، امواج فراصوت با شدت بالا دارای بسامد کمتر از ۱۰۰ کیلوهرتز و شدت توان بالاتر از یک وات بر سانتی‌متر مربع هستند که به‌عنوان ابزاری برای تغییر ویژگی‌های مواد غذایی نظیر هموژنیزه کردن، تمیز کردن، استریل کردن، حرارت دادن، امولسیفیه کردن، مهار فعالیت آنزیم‌ها و میکروب‌ها و متلاشی کردن سلول، تشدید واکنش‌های اکسیداسیون، اصلاح گوشت، و اصلاح کریستالیزاسیون استفاده می‌شوند (بارگاوا و همکاران ۲۰۲۱).

فراصوت قدرتی به‌عنوان روشی نوین در شستشوی غیر تماسی علاوه بر اطمینان از تمیزی کامل محصول، کاهش مصرف آب، و زمان شستشوی کمتر، حداقل آسیب را به

بافت محصولات کشاورزی حساس وارد می‌کند. فرایندی که در اثر اعمال امواج فراصوت به محلول حاوی نمونه‌ها اتفاق می‌افتد شامل تشکیل، رشد و ترکیدن حباب در مایع است که تحت عنوان حفره‌زایی یا کاویتاسیون شناخته می‌شود. رشد حباب، از طریق نفوذ بخار حلال به درون حباب ناشی می‌شود و تا انفجار حباب ادامه می‌یابد. ترکیدن حباب موجب آزادسازی انرژی به‌صورت موضعی می‌شود و امکان انجام واکنش شیمیایی را فراهم می‌کند (راستوگی ۲۰۱۱). غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها نتیجه کاویتاسیون است (موتوکوماران و همکاران ۲۰۰۷). بر اثر فروپاشی حباب‌ها در طی حفره‌زایی گذرا و تکراری در درجه حرارت بسیار زیاد موضعی ۵۰۰۰ درجه کلوین و فشار ۱۰۰۰ مگا پاسکال (نقاط داغ)، رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌شود که در آن تجزیه بخار به دام افتاده در حباب صورت می‌گیرد. اصول آزادسازی موضعی انرژی در اثر حفره‌زایی با استفاده از تئوری نقطه داغ بررسی می‌شود و بر اساس این نظریه، در اثر انفجارحباب‌ها در محلول، دمای موضعی بسیار زیاد ایجاد می‌شود (موتوکوماران و همکاران ۲۰۰۷).

با توجه به مطالب ذکر شده، استفاده از روشهای نوین بکارگیری تیمار شستشو به کمک فراصوت قدرتی و ترکیب آن با تیمارهای دیگر می‌تواند یک روش کارآمد برای تمیز کردن محصول و مهار فعالیت‌های آنزیمی که مسئول اصلی قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی هستند، شده و انبارمانی این محصول را بهبود دهد. در نتیجه، هدف از این پژوهش بررسی اثر شستشوی فراصوت قدرتی بر روی افزایش انبارمانی قارچ خوراکی و کاهش بار میکروبی این محصول به منظور کاهش ضایعات آن است.

مواد و روش‌ها

قارچ مورد استفاده

قارچ دکمه‌ای مورد استفاده از کارگاه پرورش قارچ وارنا واقع در استان تهران، شهرستان پاکدشت خریداری وسپس به آزمایشگاه گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران منتقل شد. قارچ‌ها به‌طور نسبی دارای اندازه یکسان و بدون آسیب فیزیکی و هرگونه علائم ظاهری بیماری بودند. قارچ‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در آب مقطر برای زدودن گردوخاک و عوامل بیرونی غوطه‌ور شدند. سپس از آب مقطر خارج‌شده و در دما (۲۵ درجه سلسیوس) و رطوبت محیط (۳۰ درصد) به مدت یک ساعت برای خشک شدن و خارج شدن رطوبت سطحی قرار گرفتند. سپس قارچ‌ها داخل بسته‌های با روکش سلفون قرار گرفتند و به مدت ۱۲ ساعت برای از بین رفتن تنش و استرس اولیه در یخچال و در دمای ٤ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

سامانه فراصوتی مورداستفاده

سامانه‌های حمام و سنجه (پراب) فراصوت دو روش رایج استفاده از امواج فراصوت هستند. حمام فراصوت می‌تواند بر طیف وسیعی از نمونه‌ها به طور همزمان اعمال شده و قابلیت تکرار پذیری بالایی نیز داشته باشد (کیانی و همکاران ۲۰۱۱). در استفاده از سنجه فراصوت به صورت موضعی موج به سطح محصول اعمال شده و سبب تخریب سطح میوه‌ها و سبزی‌ها با بافت حساس می‌گردد. بدین منظور، جهت ایجاد امواج فراصوت برای شستشوی محصول موردنظر از یک دستگاه حمام فراصوت مدل یونیدنت ساخت کشور سوئیس با توان تولیدی ۱۰۰ وات و بسامد ۲۰ تا ۳۵ کیلوهرتز استفاده شد. زمان اعمال امواج فراصوت در این پژوهش ٤ و ٦ دقیقه بود و در دمای ثابت ۲۰ درجه سلسیوس مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها در داخل حمام فراصوت غوطه‌ور گردیدند، بطوریکه نسبت حجم قارچ به حجم مایع تیمار مورد بررسی (آب مقطر به‌تنهایی و یا به همراه پراکسید هیدروژن یا گاز ازن) به میزان ۱/٤ بود.

دستگاه ازن ساز

به منظور تولید ازن از دستگاه آردا سری ازن پلاس استفاده شد. مقدار ازن تولیدی توسط این دستگاه ۲۰۰ میلی‌گرم بر ساعت بود.

سفتی‌سنج

میزان سفتی بافت یکی از مهم‌ترین خواص کیفی محصولات کشاورزی است (آصف‌پور وکیلیان و مساح ۲۰۱۷). این میزان برای قارچ دکمه‌ای به کمک دستگاه بافت‌سنج انجام شد. در این آزمایش از یک سنجه استوانه‌ای به قطر ۵ میلی‌متر و یک نیروسنج ۵۰ کیلونیوتنی استفاده شد. عمق نفوذ سنجه ۵ میلی‌متر و سرعت نفوذ به بافت نمونه‌ها ۲۵ میلی‌متر بر دقیقه بود. قارچ‌ها بدون اعمال فشار توسط انگشتان دست کاربر در قسمت میانی صفحه نگه‌داشته شده سپس به کمک سنجه دستگاه بافت سنج به‌صورت کاملاً عمود بر نمونه به آن نیرو اعمال گردید. در طی آزمون مقدار نیرو در مقابل مکان یا زمان ثبت گردیده و نمودار مربوطه رسم گردید (جیانگ ۲۰۱۳).

تغییرات وزن

وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. میزان کاهش وزن قارچ در اثر نگهداری به کمک وزن قارچ قبل و بعد از زمان انبارمانی تعیین گردید و به صورت درصد کاهش وزن نمونه با استفاده از رابطه زیر گزارش شد.

$$\text{درصد افت وزن} = \frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

تعیین بار میکروبی

به‌منظور تعیین میزان باکتری‌های موجود در سطح قارچ از شمارش کلی میکروب‌ها استفاده شد. کشت میکروبی در روزهای اول، ششم و دوازدهم صورت گرفت. محیط کشت مورد استفاده در این آزمایش نوترینت آگار بود. به‌منظور تعیین میزان باکتری‌های موجود در سطح قارچ (واحد تشکیل کلونی باکتری CFU)، یک گرم از سطح قارچ به‌طور تصادفی با تیغ تیز برداشته شد و درون هاون چینی به‌خوبی همگن گردید. سپس یک گرم قارچ همگن‌شده داخل لوله آزمایش حاوی ۹ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد و با همزن به‌طور کامل همگن گردید. یک قطره از سوسپانسیون تهیه‌شده درون محیط کشت به‌طور همگن پخش‌شده و با حرکت آهسته تکان داده شد تا سفت شدند. سپس ظرف‌های کشت به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در اتاقک رشد نگهداری شدند و در ادامه با دستگاه شمارش میکروبی مورد شمارش قرار گرفتند (سرلک و همکاران ۱۳۹۶).

مقدار pH نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری مقدار pH نمونه‌ها از pH متر دیجیتال مدل ۷۰۴ شرکت متروم ساخت کشور سوئیس در دمای ۲۵ درجه سلسیوس استفاده شد. برای هر نمونه، اندازه‌گیری در سه تکرار و در فواصل زمانی چهارروزه انجام شد.

مواد جامد محلول

مقدار مواد جامد محلول با استفاده از رفراکتومتر دستی ساخت شرکت آتاگو ژاپن در دمای ۲۰ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

طرح آزمایشات

تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل تیمارهای شاهد (بدون شستشو) (C)، شستشو با آب مقطر به مدت ٤ دقیقه (w+4)، شستشو با آب مقطر به مدت ٦ دقیقه (w+6)، شستشو با فراصوت به مدت ٤ دقیقه (u+4)، شستشو با فراصوت به مدت ٦ دقیقه (u+6)، شستشو با ازن به مدت ٦ دقیقه (O3+6)، شستشو با پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه (H2O2+6)، شستشو با ترکیب ازن و فراصوت به مدت ٦ دقیقه (u+o3+6)، و شستشو با ترکیب پراکسید هیدروژن و فراصوت به مدت ٦ دقیقه (U+H2O2+6) بودند. صفات مورد بررسی شامل تغییر وزن، سفتی بافت، بار میکروبی، مواد جامد محلول، و pH بودند. آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شد و از نرم‌افزار مایکروسافت اکسل برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر روی خصوصیات مورد مطالعه قارچ خوراکی را در طول دوره انبارمانی (۱۲ روز) نشان می‌دهد. همان‌طور که در این

جدول مشاهده می‌شود، اثر تیمارهای مورد مطالعه بر روی تمامی صفات کمی، کیفی و میکروبی قارچ در سطح ۰/۰۱ معنادار بود. در ادامه، اثر تیمارها بر روی هر یک از

جدول ۱- تجزیه واریانس خصوصیات مورد مطالعه قارچ خوراکی دکمه‌ای در طول انبارمانی

Table 1- Analysis of variance of studied characteristics of button mushroom during storage

Source of variation	Degree of freedom	Mean of squares				
		Weight loss	Firmness	Total microbial count	Soluble solid content	pH
Treatment	8	15.57 *	0.73 *	9051.92 *	11.59 *	0.13 *
Error	72	1.74	0.01	367.56	0.69	0.01
Coefficient of variation		16.68	12.27	18.07	8.98	1.75

* Significant at 0.01 level

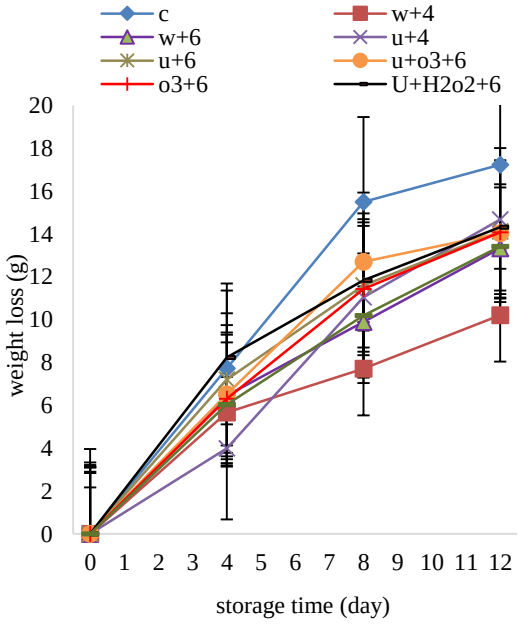
صفات مورد مطالعه شامل افت وزن، سفتی بافت، بار میکروبی، مواد جامد محلول، و pH به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

افت وزن

درصد افت وزن یکی از اساسی‌ترین فاکتورهای ارزیابی کیفی در میوه‌ها و سبزی‌ها است که ارتباط مستقیم با میزان محتوای رطوبتی نمونه‌ها دارد. در طول دوره انبارمانی هر چه میزان خروج رطوبت کمتر باشد، این فاکتور نیز کوچک‌تر می‌شود که نشان از حفظ رطوبت در نمونه و ثبات کیفیتی آن است (اولیواس و همکاران ۲۰۰۷). شکل ۱ میزان افت وزن نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز انبارمانی در دمای ٤ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در مقایسه تیمارهای مختلف در روزهای اول تا چهارم انبارمانی تفاوت قابل توجهی نبود، اما در روز هشتم و دوازدهم نمونه کنترل بیشترین کاهش وزن را داشته و تیمار شستشو با آب مقطر به مدت ٤ دقیقه با امواج فراصوت کمترین کاهش وزن را نشان می‌دهد. اگرچه مطابق شکل ۱ تفاوت معناداری میان نمونه‌های مختلف در کاهش وزن مشاهده نمی‌شود، اما در مقایسه نمونه‌ها در طول دوره‌ی انبارمانی نیز یک‌روند افزایشی در کاهش وزن نمونه‌ها وجود دارد که مقدار کاهش وزن در نمونه‌ی کنترل به‌طور معنی‌داری بسیار بیشتر از نمونه‌های شستشو داده‌شده با فراصوت است. نتایج نشان می‌دهد در تمام طول دوره‌ی نگهداری تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های شستشو داده‌شده نبود. گائو و همکاران (۲۰۱٤) و سرلک و همکاران (۱۳۹٦) به ترتیب به بررسی اثر اسانس و اسید اگزالیک و اسید سیتریک در جلوگیری از قهوه‌ای شدن و کاهش کیفیت قارچ دکمه‌ای پرداختند. نتایج این تحقیقات بر روی میزان کاهش وزن نشان داد که بیشترین میزان کاهش وزن در نمونه کنترل بوده و تیمارهای اسانس و یا اسید تأثیر فراوانی در جلوگیری از کاهش وزن در طول دوره نگهداری دارد. در تحقیق دیگری، لاگنیکا و همکاران (۲۰۱۳) اثر ترکیب فراصوت و گاز آرگون پرفشار در افزایش عمر انبارمانی قارچ سفید را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که افت وزن برای نمونه تحت تیمار فراصوت تحت مقایسه با نمونه‌های تحت تیمار ترکیبی فراصوت و آرگون پرفشار افزایش یافته است. درصد افت وزن در پایان دوره انبارمانی برای تیمارهای آرگون، ترکیب آرگون و فراصوت، فراصوت، و شاهد به ترتیب ۳، ۵/۱، ۵/٤، و ۹/٦ درصد بود. سینگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کرده‌اند هنگامی که قارچ مورد نگهداری ۵ تا ۱۰٪ از وزن اولیه خود را از دست دهد، پژمرده شده و غیر قابل استفاده می‌گردد.

سفتی بافت

با افزایش میزان رسیدگی در اثر متلاشی شدن سلولی ناشی از فعالیت آنزیمی، سفتی بافت میوه نیز کاهش خواهد یافت. از دست رفتن بافت، مهم‌ترین تغییر در طول مدت انبارداری میوه‌ها و سبزی‌ها به شمار می‌رود و به میزان تغییرات متابولیکی و آب بستگی دارد. علت افزایش دوباره سفتی این است که نمونه‌های میوه و سبزی معمولاً به‌تدریج شروع به از دست دادن آب خود می‌کنند. بدیهی است که این موضوع منجر به افزایش شاخص سفتی در آن‌ها می‌شود.



شکل ۱- کاهش وزن نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Figure 1- Weight loss of button mushroom samples during 12 days of storage at 4 °C

بر خلاف سایر میوه‌ها و سبزیجات، قارچ‌ها حاوی ساختار پکتینی نیستند. دیواره سلولی قارچ‌ها عمدتاً از گلوکان‌ها، کیتین و پروتئین تشکیل شده است (ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). همین موضوع باعث می‌شود که دمای نگهداری قارچ‌ها و همچنین عملیات‌های حرارتی برای فرآوری قارچ اثرمعناداری بر روی سفتی آنها داشته باشد.

سفتی یک فاکتور بسیار مهم در مشتری‌پسندی میوه و سبزی می باشد که ایجاد تغییر در آن، به میزان رطوبت موجود در نمونه و تغییرهای متابولیسمی حین نگهداری بستگی دارد (روجاس‌گرا و همکاران ۲۰۰۷). تغییر در بافت کلاهک قارچ ملاک مهمی برای تعیین کیفیت، میزان تغییرات متابولیکی و میزان آب در بافت آن است. کاهش استحکام و نرم شدن در بافت کلاهک قارچ مربوط به فعالیت میکروارگانیسم‌ها و تولید آنزیم می‌باشد. باکتری‌ها با فعالیت آنزیمی بر روی قارچ باعث شکسته شدن مواد بین بافتی در کلاهک قارچ شده و تخریب سلول‌ها را بدنبال خواهد داشت در نتیجه بافت بادکردگی را از دست داده و چروکیده می‌شود (زیوانویچ و همکاران ۲۰۰۰).

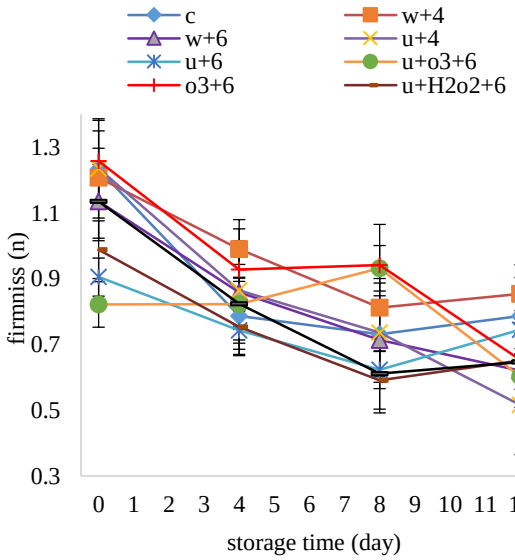
شکل ۲ میزان تغییرات سفتی بافت نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ٤ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در پایان روز دوازدهم انبارمانی ملاحظه می‌شود کمترین مقدار سفتی مربوط به تیمار فراصوت بازمان موج دهی ٤ دقیقه و بیشترین مقدار سفتی نیز مربوط به تیمار شستشو با آب مقطر به مدت ٤ دقیقه بوده که بیشترین مقدار چوبی و خشک شدن قارچ را نشان می‌دهد. دلیل کاهش سفتی در طول دوره انبارمانی ممکن است به دلیل درهم شکستن آنزیم‌ها، کاهش آب و یا تخریب مواد پکتیکی موجود در میوه باشد. همچنین، نرم شدن و یا کاهش سفتی در طول انبار پس از برداشت به دلیل تغییرات در غشا است.

از طرف دیگر تغییرات بافت همچنین وابسته به تخریب پروتئین و پلی‌ساکاریدها، شکستن واکوئل‌ها و گسترش در فضای بین سلولی است (کانگ و همکاران ۲۰۰۷). جیانگ (۲۰۱۳) به بررسی بافت نمونه‌های قارچ دکمه‌ای پوشش داده‌شده با آلژینات پرداخت. نتایج این تحقیق نشان داد که سفتی بافت نمونه‌های پوشش داده‌شده بالاتر از نمونه کنترل بوده است و پوشش‌ها تأثیر فراوانی در جلوگیری از کاهش سفتی داشته‌اند. در این پژوهش میزان سفتی نمونه‌ها در طول دوره از ۱۷ به ۱۲ نیوتون

کاهش پیداکرده است. اولیواس و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که سفتی به عواملی چون ترکیبات دیواره سلولی، آناتومی سلول و محتوای رطوبتی بستگی دارد.

ارزیابی میکروبی

شکل ۳ شمارش کلی میکروب‌های نمونه‌های قارچ دکمه‌ای را در طول انبارمانی (۱۲ روز و در دمای ٤ درجه سلسیوس) را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، بیشترین مقدار بار میکروبی در روز اول انبارمانی مربوط به تیمارهای شستشو با آب مقطر به مدت ٤ و ٦ دقیقه بوده که دارای اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها می‌باشند.



شکل ۲- سفتی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Figure 2- Firmness of the button mushroom samples during 12 days of storage at 4 °C

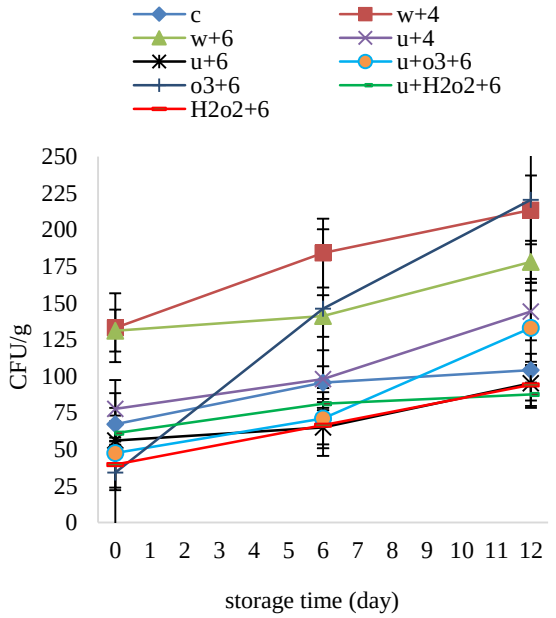
طبق نمودار مشاهده می‌شود که با سایر تیمارها در روز اول انبارمانی از لحاظ شمارش میکروبی اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. میزان بار میکروبی تمام تیمارها دارای روند صعودی تا روز ششم بودند. در پایان دوره دوازده‌روزه انبارمانی کمترین مقدار بار میکروبی مربوط به تیمار فراصوت همراه پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه موجدهی می‌باشد که با مقدار تقریباً ثابتی از روز ششم تا دوازدهم، توانایی کنترل جمعیت بار میکروبی را دارا بوده و از افزایش رشد میکروبی جلوگیری و مقدار آن را ثابت نگه‌داشته است. همچنین نمونه‌ی شستشو داده شده با پراکسید هیدروژن با زمان اعمال ٦ دقیقه و نمونه شستشو داده شده با فراصوت با زمان اعمال ٦ دقیقه با اختلاف بسیار جزئی نسبت به تیمار فراصوت همراه پراکسید هیدروژن در کنترل بار میکروبی در روز دوازدهم نتایج قابل قبولی را نشان دادند.

امواج فراصوت از طریق تخریب میکروارگانیسم‌ها و غیرفعال‌سازی برخی آنزیم‌ها بدون تغییر در خواص کیفی میوه ها و سبزی ها سبب کاهش بار میکروبی روی آنها می‌شود. بدین صورت که انرژی فیزیکی و شیمیایی تولید شده به وسیله امواج فراصوت منجر به غیرفعال شدن فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌گردد (اکبوداک ۲۰۰۸). غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها نتیجه شکل‌گیری، رشد و فروپاشی حباب‌هایی است که انرژی شیمیایی و مکانیکی حاصل از امواج فراصوت درون سلول‌های میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شود (براکسما و همکاران ۲۰۰۱). با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار بار میکروبی در انتهای دوره انبارمانی نیز مربوط به تیمار ازن به مدت ٦ دقیقه بوده که بالاترین سطح میکروبی را به خود اختصاص داده است. نریا و همکاران (۲۰۰٦) نیز اثر پراکسید هیدروژن در کاهش آلودگی میکروبی قارچ برش خورده را گزارش نمودند. جیانگ (۲۰۱۳) نشان داد که نمونه‌های حاوی پوشش تأثیر فراوانی در جلوگیری از رشد باکتری‌ها دارند.

ارزیابی مواد جامد محلول

مواد جامد محلول یک پارامتر کیفی مهم محصولات کشاورزی است و نمایانگر کسری از محتوای جامد است که در یک محصول حل می‌شود (آصف‌پور وکیلیان و مساح ۲۰۱۷). هرچه میزان این خصوصیت در یک محصول بیشتر باشد، نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن کیفیت آن محصول می‌باشد. شکل ٤ مقدار مواد جامد محلول نمونه‌های قارچ دکمه‌ای را در طول دوره انبارمانی (۱۲

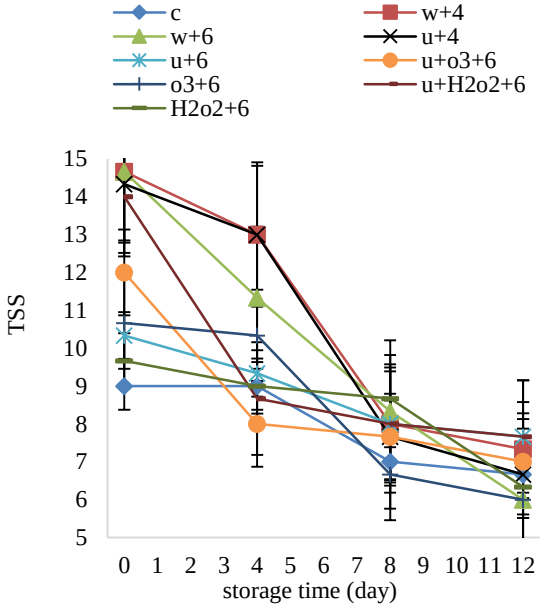
روز و دمای ٤ درجه سلسیوس) نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ملاحظه می‌شود محتوای مواد جامد محلول در نمونه‌ها کاهش یافته که نشان‌دهنده میزان تنفس بالا می‌باشد که منجر به کاهش کیفیت با شروع پیری می‌شود. قارچ برداشت‌شده همچون تمام بافت‌های زنده همچنان در طول عمر پس از برداشت به انقباض خود ادامه می‌دهد. در طی روند تنفس، کربوهیدرات‌ها به قسمت‌های تشکیل‌دهنده آن تقسیم می‌شوند تا انرژی ایجاد پروتئین‌های سلولی را تولید کنند، بنابراین سلول‌ها و موجودات زنده نگه‌داشته می‌شود.



شکل ۳- شمارش کل میکروبی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Figure 3- Total microbial count of button mushroom samples during 12 days of storage at 4 °C

اعمال تیمار فراصوت به مدت ٤ دقیقه بر روی نمونه‌ها به‌صورت معنی دارای کاهش بیشتری از مواد جامد محلول نسبت به سایر تیمارها را نشان داد. همچنین تیمار پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه به‌صورت جزئی افزایش مواد جامد محلول را نشان داد و تیمارهایی که دارای فراصوت و پراکسید هیدروژن و فراصوت و ازن به مدت ٦ دقیقه بودند دارای روند ثابتی بودند. با توجه به نتایج، از روز هشتم تا دوازدهم انبارمانی قارچ مقدار مواد جامد محلول برای دو تیمار شستشو با آب مقطر به مدت ٦ دقیقه و پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه روند نزولی داشته و سایر تیمارها در این دوره دارای مقدار ثابتی بودند. کاهش سریع مواد جامد محلول و کمبود آب در روش فراصوت به تنهایی و همراه با سایر تیمارها نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند به دلیل انتقال مواد جامد محلول از قارچ به آب مقطر تحت عمل فراصوت باشد.



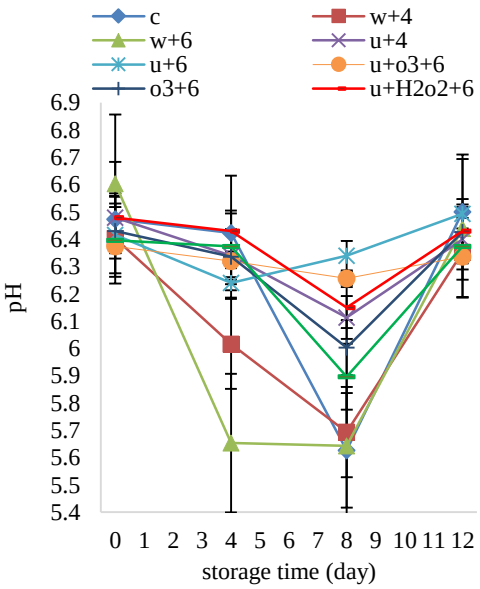
شکل ۴- مواد جامد محلول نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Figure 4- Soluble solids content of button mushroom samples during 12 days of storage at 4 °C

ارزیابی pH

شکل ٥ تغییرات pH نمونه‌ها را در طی ۱۲ روز انبارمانی در دمای ٤ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در این پژوهش میزان تغییرات pH برای تیمار فراصوت همراه ازن به مدت ٦ دقیقه از ابتدا تا انتهای دوره انبارمانی بسیار جزئی بوده و روند ثابتی دارد. می‌توان نتیجه گرفت این تیمار تغییرات pH را کند کرده و زوال و پیری قارچ را به تعویق می‌اندازد. تا روز هشتم انبارمانی میزان تغییرات برای تیمارهای فراصوت به مدت ٤ دقیقه و

فراصوت همراه پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه نیز کم می‌باشد و تیمارهای مناسبی برای کنترل تغییرات اسیدیته و زوال قارچ بوده‌اند. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که تیمارهای کنترل، شستشو با آب مقطر به مدت ٤ دقیقه و ٦ دقیقه برای کنترل مقدار pH عملکرد مناسبی ندارد. پایین آمدن اسیدیته قابل عیارسنجی (تبدیل‌شدن اسیدهای آلی به قندها) باعث بالا رفتن pH خواهد شد. میزان pH به چگونگی فعالیت‌های بیوشیمیایی، نوع بافت، نوع اسیدهای آلی و رقم میوه بستگی دارد. به نظر می‌رسد افزایش pH به دلیل فعالیت‌های بیوشیمیایی داخل میوه باشد، که باعث تبدیل مواد اسیدی موجود به فرآورده‌های قندی می‌شود (پارک و همکاران ۲۰۰٦). مشخص‌شده است که تغییرات pH عصاره میوه در زمان رسیدن بیشتر ناشی از نشت اسیدهای آلی از واکوئل به سیتوپلاسم سلولی است (زنیدارچیچ و همکاران ۲۰۱۰).



شکل ۵- pH نمونه‌های قارچ دکمه‌ای در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Figure 5- pH value of button mushroom samples during 12 days of storage at 4 °C

نتیجه‌گیری

شستشوی محصولات کشاورزی با فراصوت قدرتی یکی از روش‌های افزایش عمر انبارمانی محصولات کشاورزی و باغی است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه استفاده از امواج فراصوت در صنایع غذایی و کشاورزی صورت گرفته است که نشان‌دهنده کاربرد بالقوه این فناوری در صنعت غذا و کشاورزی می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نمونه قارچ‌های شستشو داده‌شده با فراصوت و پراکسید هیدروژن از لحاظ کنترل جمعیت میکروبی دارای عملکرد بالایی نسبت به حالت کنترل و سایر تیمارها بوده و دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد. نمونه‌های تحت تیمارهای حاوی ازن و همچنین ازن همراه با موج دهی با فراصوت توانایی بالاتری در حفظ استحکام بافت قارچ را دارا می‌باشند. همچنین تمام تیمارها حدوداً تا روز هشتم دارای کاهش تدریجی سفتی بودند و از روز هشتم تا روز دوازدهم دارای افزایش سفتی بودند که به دلیل افزایش درصد افت وزن و چوبی شدن بافت قارچ می‌باشد. با توجه به بررسی تیمارها و صفات مورد بررسی نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تیمار موج دهی با فراصوت همراه با پراکسید هیدروژن به مدت ٦ دقیقه دارای بهترین عملکرد برای افزایش ماندگاری قارچ را دارا می‌باشد.

منابع مورد استفاده

الوندی س و سیاری م، ۱۳۹۵. اثر آسکوربات کلسیم و تیمار دمایی بر افزایش عمر قفسه ای قارچ تکمه ای، به زراعی کشاورزی، ۱۸(٤)، ۹۳۳-۹۲۱.

خادمی الف، سرلک ف و عرفانی مقدم ج، ۱۳۹٤. افزایش عمر پس از برداشت قارچ خوراکی توسط تیمار فراصوت از طریق کاهش بار میکروبی و ممانعت از قهوه‌ای شدن آنزیمی، نهمین کنگره علوم باغبانی، ۵ تا ۸ بهمن ۱۳۹٤، اهواز.

خوشکام س، ۲۰۱۸. عوامل ایجاد فساد و راهکارهای کاهش ضایعات پس از برداشت در محصولات گلخانه‌ای، سبزیجات گلخانه‌ای، ۱(۱)، ۵۲-٤۱.

سرلک ف، خادمی الف و عرفانی مقدم ج، ۱۳۹٦. ارزیابی اثر برخی تیمارهای پس از برداشت بر افزایش عمر انبارمانی قارچ تکمه‌ای، علوم و صنایع غذایی ایران، ۱٤(٦٤)، ٤۳-۵۰.

صادقی ص، کرمی م و سیاری م، ۱۳۹۸. اثر ازن بر انبارمانی و برخی خصوصیات کمی و کیفی فلفل دلمه‌ای، علوم و صنایع غذایی ایران، ۱٦(۹۰)، ۱۷۷-۱۸۵.

مستوفی ی، گرانسایه م، عبدوسی و و نجاتیان م، ۱۳۹۲. تاثیر ازن بر کیفیت پس از برداشت و عمر انبارمانی انگور ایرانی رقم فخری، علوم باغبانی ایران، ٤٤(۱)، ۱-۹.

Akbudak B, 2008. Effect of polypropylene and polyvinyl chloride plastic film packaging materials on the quality of 'Yalova Charleston' pepper (*Capsicum annuum* L.) during storage. Food Science and Technology Research 14(1): 5-11.

Asefpour Vakilian K and Massah J, 2017. A farmer-assistant robot for nitrogen fertilizing management of greenhouse crops. Computers and Electronics in Agriculture 139: 153-163.

Braaksma A, Schaap DJ, Donkers JW and Schipper CMA, 2001. Effect of cytokinin on cap opening in *Agaricus bisporus* during storage. Postharvest Biology and Technology 23(2): 171-173.

Bhargava N, Mor RS, Kumar K and Sharanagat VS, 2021. Advances in application of ultrasound in food processing: A review. Ultrasonics Sonochemistry 70: 105293.

Cong F, Zhang Y and Dong W, 2007. Use of surface coatings with natamycin to improve the storability of Hami melon at ambient temperature. Postharvest Biology and Technology 46(1): 71-75.

Fernandes FA and Rodrigues S, 2008. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits. Drying Technology 26(12): 1509-1516.

Gallo M, Ferrara L and Naviglio D, 2018. Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. Foods 7(10): 164.

Jiang T, 2013. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere, Postharvest Biology and Technology 76: 91-97.

Jowkar M, 2004. The importance of horticultural extension in reducing postharvest losses in Iran. In IV International Symposium on Horticultural Education, Extension and Training 672 (pp. 171-175).

Kiani H, Zhang Z, Delgado A and Sun DW, 2011. Ultrasound assisted nucleation of some liquid and solid model foods during freezing. Food Research International 44(9): 2915-2921.

Lagnika C, Zhang M and Mothibe KJ, 2013. Effects of ultrasound and high pressure argon on physico-chemical properties of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology 82: 87-94.

Lin X and Sun DW, 2019. Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. Trends in Food Science & Technology 90: 63-75.

Muthukumaran S, Kentish SE, Stevens GW, Ashokkumar M and Mawson R, 2007. The application of ultrasound to dairy ultrafiltration: the influence of operating conditions. Journal of Food Engineering 81(2): 364-373.

Nerya O, Ben-Arie R, Luzzatto T, Musa R, Khativ S, Vaya J, (2006). Prevention of *Agaricus bisporus* postharvest browning with tyrosinase inhibitors. Postharvest Biology and Technology, 39(3), 272-277.

Nirmal NP, Benjakul S, Ahmad M, Arfat YA and Panichayupakaranant P, 2015. Undesirable enzymatic browning in crustaceans: Causative effects and its inhibition by phenolic compounds. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55(14): 1992-2003.

Olivas GI, Mattinson DS and Barbosa-Cánovas GV, 2007. Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. Postharvest biology and Technology 45(1): 89-96.

Park YS, Jung ST and Gorinstein S, 2006. Ethylene treatment of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa*) during ripening and its influence on ethylene biosynthesis and antioxidant activity, Scientia Horticulturae 108(1): 22-28.

Rastogi NK, 2011. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 51(8): 705-722.

Rojas-Graü MA, Raybaudi-Massilia RM, Soliva-Fortuny RC, Avena-Bustillos RJ, McHugh TH and Martín-Belloso O, 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. Postharvest Biology and Technology 45(2): 254-264.

Singh P, Horst-Christian L, Ali Abas W and Sven S, 2010. Recent advances in extending the shelf life of fresh Agaricus mushrooms: A review. Journal of the Science of Food and Agriculture 90(9): 1393-1402.

Taherzadeh A and Hojjat S, 2013. Study of postharvest losses of wheat in North Eastern Iran. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 4(6): 1502-1505.

Zivanovic S, Busher RW and Kim KS, 2000. Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition. Journal of Food Science 65(8): 1404-1408.

Zhang K, Pu YY and Sun DW, 2018. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. Trends in Food Science & Technology 78: 72-82.

Žnidarčič D, Ban D, Oplanić M, Karić L and Požrl T, 2010. Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Journal of Food, Agriculture & Environment 8(1): 21-25.

Journal of Food Research, 2022,32(2):139-152
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/)

DOI: 10.22034/FR.2021.41265.1761

Effects of power ultrasound treatment on the shelf life of edible mushroom

M Aboonajmi[*1], M Ganjdoost[2], H Mirsaeedghazi[3] and K Asefpour Vakilian[4]

Received: September 4, 2020 Accepted: August 30, 2021
[1]Associate Professor, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran
[2]MSc, Department of Agrotechnology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran
[3]Associate Professor, Department of Food Technology, College of Abouraihan, University of Tehran, Tehran, Iran
[4]Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[*] Correspondent: Email: abonajmi@ut.ac.ir

Introduction: White edible button mushroom (*Agaricus bisporus*) is one of the most sensitive postharvest agricultural products physiologically. Poor management and high humidity of freshly harvested horticultural products have reduced their shelf life and thus increased biowastes, so increasing the shelf life of fruits and vegetables to reduce waste is one of the essential goals of postharvest management. The shelf life of button mushrooms with minimal processing is between two and four days at average ambient temperature due to enzymatic browning. A method in increasing the storage of edible mushrooms is using power ultrasonic washing along with other treatments. Ultrasonics is one of the practical methods of non-contact washing of vegetables and fruits with sensitive textures. Ultrasound pretreatment involves immersing the fruit in distilled water or aqueous solution and applying the ultrasound simultaneously. Ultrasound causes a series of rapid contractions and intermittent expansions. The objective of this study was to investigate the effects of using power ultrasound alone and in combination with other treatments such as hydrogen peroxide and ozone on improving the postharvest characteristics of edible mushrooms.
Material and methods: The mushrooms purchased were relatively the same size without physical damage or disease symptoms. A 100-W Unident Geneve ultrasonic bath machine with a 20 to 35 kHz frequency was used to create ultrasonic waves. The application time of ultrasound was 4 and 6 min at a constant temperature of 20 °C. The ARDA Ozone Plus series ozone generator, with a 200 mg/h ozone production capacity, was used to produce ozone. The effects of various treatments were investigated on increasing the storage of edible mushrooms, i.e., weight loss, pH, stiffness, total soluble solids, and microbial load.
Results and discussion: Weight loss percentage is an essential factor in quality assessment in fruits and vegetables. During the storage period, the lower the moisture release rate, the smaller this factor becomes, indicating the moisture retention in the sample and its quality stability. There was an increasing trend in weight loss of samples so that the amount of weight loss in the control sample was significantly higher than the samples treated by ultrasound. As the amount of maturation due to cell disintegration increased, the firmness of the fruit tissue also decreased. Tissue loss is the most

significant change during the storage period of fruits and vegetables, being dependent on the rate of metabolic changes and water. The reason for the increase in stiffness again at the final days of storage was that the samples started to lose their water gradually. Obviously, this leads to an increase in their stiffness. Changes in the texture of the mushroom cap are an essential criterion for determining the quality, amount of metabolic changes, and amount of water in its texture. Decreased strength and softening in the cap tissue are related to the activity of microorganisms and enzyme production. Bacteria with enzymatic activity on the mushroom cause the interstitial material in the mushroom cap to break down and lead to cell destruction, resulting in the loss of tissue and shrinkage. At the end of the twelfth day of storage, the lowest stiffness was related to the ultrasonic treatment for 4 min, while the highest stiffness was observed for washing with distilled water for 4 min, indicating its remarkable drought. The reason for the decrease in stiffness during the storage period might be due to either the breakdown of enzymes, water depletion, or degradation of pectic substances in the fruit. The results showed that the combination of sonication and hydrogen peroxide had a high performance in terms of microbial load control compared to the control and other treatments. The microbial load of the samples undergone the ultrasonic treatment with hydrogen peroxide for 6 min increased from 61 CFU/g on the first day of storage to 87.5 CFU/g on the twelfth day.

Conclusion: Ultrasonic washing of agricultural products increases their shelf life. This study shows that the mushroom samples washed with sonication and hydrogen peroxide had a high performance in terms of microbial population control compared to the control and other treatments. According to the studied treatments and traits, the ultrasonic treatment with hydrogen peroxide for 6 min resulted in the best performance in increasing the shelf life of the edible mushroom.

Keywords: edible mushrooms, hydrogen peroxide, power ultrasound, storage