

## افزایش عمر پس از برداشت قارچ خوراکی توسط تیمار فراصوت از طریق کاهش بار میکروبی و ممانعت از قهوه‌ای شدن آنزیمی

اورنگ خادمی<sup>۱\*</sup>، فهیمه سرلک<sup>۲</sup> و جواد عرفانی مقدم<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد تهران ۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام ۳-

استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام

\*نویسنده مسئول: o.khademi@shahed.ac.ir

### چکیده

قهوه‌ای شدن آنزیمی، حمله عوامل باکتریایی و از دست دادن سریع آب از جمله عوامل اصلی عمر پس از برداشت محدود قارچ خوراکی تکمه‌ای می‌باشند. در این پژوهش اثر تیمار فراصوت بر رفع این محدودیت‌ها و افزایش عمر قفسه‌ای قارچ خوراکی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور قارچ‌هایی با کلاهک بسته و قطر متوسط ۴۰ میلی‌متر با آب مقطر به عنوان شاهد و تیمار فراصوت، هر یک در مدت زمانهای ۲، ۴ و ۶ دقیقه تیمار و در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری و پس از یک و دو هفته مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد 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 پلی فنل اکسیداز 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. اثر تیمار فراصوت در مدت زمان دو دقیقه بیشتر از مدت زمانهای بیشتر بود. با افزایش مدت زمان تیمار آسیب به غشا رخ داده و فرایند قهوه‌ای شدن بیشتر شد. به دلیل از دست آب بیشتر و تلغیظ شیره سلولی نمونه‌های شاهد دارای مواد جامد محلول بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار فراصوت بودند. ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه‌های شاهد نیز کمتر از نمونه‌های تیمار فراصوت بود. بنابراین تیمار فراصوت به خصوص در شدت‌های کم راهکاری مناسب در افزایش عمر پس از برداشت قارچ خوراکی می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** قارچ تکمه‌ای، قهوه‌ای شدن، باکتری، کاهش وزن، امواج فراصوت

### مقدمه

قارچ تکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) مهمترین گونه قارچ خوراکی در بازارهای جهانی می‌باشد که به صورت تجاری در بیشتر نقاط دنیا تولید می‌شود. ایران با تولید سالانه ۸۷/۶۷۵ تن قارچ خوراکی رتبه هشتم در دنیا را دارد (فائو، ۲۰۱۲). ولی عمر مفید پس از برداشت قارچ تکمه‌ای ۱-۳ روز در دمای معمولی و یا ۴-۷ روز در دمای یخچال می‌باشد. تخریب سریع قارچ به دلیل فعالیت متابولیکی شدید، سرعت تنفس بالا و از دست دادن سریع آب رخ می‌دهد (Ares et al. 2007; Brennan, 2000). قهوه‌ای شدن پس از برداشت پدیده عمومی در قارچ خوراکی می‌باشد که ارزش اقتصادی آن را کاهش می‌دهد. قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی از نوع آنزیمی بوده و به دلیل فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز رخ می‌دهد. منتهی حمله باکتریایی عامل اصلی آغازش بدرنگ شدن در قارچ خوراکی است. باکتریهای عامل قهوه‌ای شدن قارچ در طبقه بندی انواع پزودومونادس (*Pseudomonads*) قرار می‌گیرند. به طور کلی ۳ باکتری *P. Tolaasii*، *P. reactans* و *P. gingeri* عوامل بروز لکه قهوه‌ای در قارچ خوراکی هستند که در این بین باکتری اول عامل اصلی محسوب می‌گردد. این باکتری یک نوع سم به نام تولوزین (*Tolaasin*) را ترشح می‌نماید که این سم در غشا نفوذ کرده و با تخریب غشا منجر به بروز عارضه قهوه‌ای شدن آنزیمی می‌گردد (Soler-Rivas et al. 1999). کاهش بار میکروبی و ممانعت از قهوه‌ای شدن از مهم‌ترین مراحل در زنجیره پس از برداشت قارچ تکمه‌ای می‌باشد. امواج فراصوت (Ultra Sonic) از طریق تخریب میکروارگانیسم‌ها و غیر فعال‌سازی آنزیم عامل قهوه‌ای شدن بدون تغییر در خواص کیفی میوه‌ها و سبزی-

ها سبب کاهش بار میکروبی و حفظ بازارپسندی آنها می‌شود (Andrade et al. 2014). غیر فعال‌سازی میکروارگانسیم‌ها نتیجه شکل‌گیری، رشد و فروپاشی حباب‌هایی است که از انرژی شیمیایی و مکانیکی حاصل از امواج فراصوت درون سلول‌های میکروارگانسیم‌ها تولید می‌شود (Rastogi 2011). در مکانیسم دیگر امواج فراصوت با تحریک تولید رادیکال‌های آزاد منجر به تخریب DNA سلول‌های باکتری می‌شود (Bermudes-Aguirre et al. 2011). اطلاعات چندانی در خصوص اثر تیمار فراصوت در پس از برداشت قارچ تکمه‌ای گزارش نشده است که در این پژوهش اثر این تیمار در کاهش بار میکروبی و ممانعت از قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ خوراکی مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌های قارچ تکمه‌ای با کلاهک بسته و دارای قطر یکسان ۴۰ میلی‌متر از شرکت قارچ ملارد کرج تهیه و تحت دمای نزدیک ۱۰ درجه سانتیگراد ظرف مدت ۱۲ ساعت به آزمایشگاه محل آزمایش در دانشگاه ایلام منتقل شدند. تیمارهای مورد اعمال شامل شاهد آب مقطر و تیمار امواج فراصوت بود که هر یک در مدت زمانهای ۲، ۴ و ۶ دقیقه اعمال شدند. قارچ‌ها پس از تیمار در دمای آزمایشگاه خشک و درون ظروف پلی اتیلنی با استفاده از پوشش سلوفان بسته بندی شدند. بسته‌ها به دمای چهار درجه سانتیگراد منتقل و در زمانهای ۷ و ۱۴ روز مورد بررسی قرار گرفتند. درجه قهوه‌ای شدن (نمره دهی)، واحد تشکیل کلونی باکتریایی (CFU)، درصد کاهش وزن، مقدار مواد جامد محلول (توسط دستگاه رفرکتومتر)، ظرفیت آنتی‌اکسیدان (روش DPPH)، درصد نشت یونی و فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز شاخص‌های مورد بررسی در این آزمایش بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. در هر واحد آزمایشی ۱۰ عدد قارچ در نظر گرفته شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (ورژن ۹/۲) صورت گرفته و برای مقایسه اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ استفاده شد.

## نتایج

نتایج آزمایش نشان داد که در هر دو زمان بررسی یک و دو هفته نمونه‌های شاهد در مقایسه با نمونه‌های تیمار شده با امواج فراصوت دارای شاخص قهوه‌ای شدن بیشتری بودند. با گذشت زمان آزمایش قهوه‌ای شدن تمامی نمونه‌ها افزایش یافت. در زمان بررسی یک هفته در هر دوی شاهد و تیمار فراصوت اختلاف معنی‌داری بین مدت زمان تیمار از نظر شاخص قهوه‌ای شدن مشاهده نشد ولی در زمان بررسی هفته دوم با افزایش مدت زمان تیمار شاخص قهوه‌ای شدن در شاهد و تیمار فراصوت افزایش یافت (جدول ۱). در هر دو زمان بررسی تجمع باکتری در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار فراصوت بود. در هفته اول بررسی اختلاف معنی‌داری بین زمانهای تیمار فراصوت از نظر جمعیت باکتری مشاهده نشد ولی در هفته دوم با افزایش مدت زمان تیمار جمعیت باکتری نیز به طور معنی‌داری کمتر شد (جدول ۱). در حالت کلی میزان کاهش وزن در نمونه‌های تیمار فراصوت بود و در هر دوی تیمارهای شاهد و امواج فراصوت با افزایش مدت زمان اعمال تیمار میزان کاهش وزن بیشتر افزایش یافت (جدول ۱). از نظر مقدار مواد جامد محلول در هر دو زمان بررسی نمونه‌های شاهد به طور معنی‌داری دارای مقدار مواد جامد محلول بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار فراصوت بودند و در هر دو تیمار اختلاف معنی‌داری بین مدت زمانهای تیمار از نظر مقدار مواد جامد مشاهده نشد (جدول ۱). ظرفیت آنتی‌اکسیدان تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان به طور معنی‌داری کاهش یافت. در هر دو زمان بررسی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های شاهد به طور معنی‌داری کمتر از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های تیمار فراصوت بود. در هر دو تیمار شاهد و فراصوت اختلاف معنی‌داری بین مدت زمانهای تیمار مشاهده نشد (جدول ۱). بررسی درصد نشت یونی نشان داد که با گذشت زمان آزمایش نشت یونی در تمامی نمونه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. در هر دو زمان بررسی یک و دو هفته درصد نشت یونی نمونه‌های شاهد بیشتر از درصد نشت یونی نمونه‌های تیمار فراصوت بود. در نمونه‌های شاهد اختلاف معنی‌داری بین مدت زمانهای تیمار مشاهده نشد ولی در نمونه‌های تیمار فراصوت با افزایش مدت

زمان تیمار درصد نشت یونی افزایش یافت (جدول ۱). در هر دو زمان بررسی، نمونه‌های شاهد دارای فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز بیشتری در مقایسه با نمونه‌های تیمار فرا صوت بودند. در زمان بررسی هفته اول اختلاف معنی داری بین مدت زمان تیمار در فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز مشاهده نشد ولی در زمان بررسی هفته دوم در هر دو تیمار شاهد و فراصوت با افزایش مدت زمان تیمار فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز نیز بیشتر شد (جدول ۱).

شاخص تیمار	قهوه ای شدن		کلونی باکتریایی		کاهش وزن		مواد جامد محلول	
	هفته اول	هفته دوم	هفته اول	هفته دوم	هفته اول	هفته دوم	هفته اول	هفته دوم
آب مقطر (۲ دقیقه)	۰/۵c	۰/۷۵b	۴۰۰a	۴۰۰a	۶/۵vef	۷/۹۸c	۹/۶۳abcd	۱۰/۴a
آب مقطر (۴ دقیقه)	۰/۵c	۰/۸۳ab	۴۰۰a	۴۰۰a	۱۰/۳۱b	۸/۴۲c	۹/۳۳cd	۱۰/۳۳ab
آب مقطر (۶ دقیقه)	۰/۵c	۱a	۴۰۰a	۴۰۰a	۱۱/۶۸a	۱۱/۷۲a	۹/۱۳d	۱۰/۳۶ab
فراصوت (۲ دقیقه)	۰/۰۸e	۰/۳d	۹۲d	۲۸۴b	۴/۷۱g	۵/۸۲f	۸/۱e	۹/۱۳d
فراصوت (۴ دقیقه)	۰/۱۲e	۰/۴cd	۵۷d	۲۵۰bc	۶/۲۵ef	۶/۷۶def	۷/۷e	۹/۴۶bcd
فراصوت (۶ دقیقه)	۰/۱۲e	۰/۵۵c	۶۵d	۱۹۴c	۷/۶۴d	۶/۹۸de	۷/۸۶e	۹/۲cd

جدول ۱- اثر تیمار فراصوت بر شاخص‌های کیفی و فیزیولوژیکی قارچ خوراکی تکمه‌ای. داده‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی داری نسبت به یکدیگر در سطح ۵٪ آزمون LSD ندارند.

ادامه	شاخص تیمار	آنتی اکسیدان		درصد نشت یونی		پلی فنل اکسیداز	
		هفته اول	هفته دوم	هفته اول	هفته دوم	هفته اول	هفته دوم
	آب مقطر (۲ دقیقه)	۵۲/۵۸bc	۱۸/۶۴f	۹۲/۲۸cd	۹۵/۴۲ab	۸/۶۲d	۹/۶۶c
	آب مقطر (۴ دقیقه)	۵۸/۳b	۱۳/۸۷f	۹۳/۴۱bc	۹۶/۵۶a	۸/۶۹d	۱۱/۲۶b
	آب مقطر (۶ دقیقه)	۴۹/۰۶bc	۱۴/۶۹f	۹۳/۷۴bc	۹۷/۶۷a	۸/۸۷d	۱۱/۸۵a
	فراصوت (۲ دقیقه)	۷۳/۱۹a	۳۵/۵۵de	۷۱/۲۵h	۸۷/۹۶f	۶/۹۹h	۷/۷fg
	فراصوت (۴ دقیقه)	۶۹/۸۱a	۴۵/۶۲cd	۸۵/۰۷g	۸۷/۹۴f	۷/۲۹gh	۸/۳۴de
	فراصوت (۶ دقیقه)	۷۶/۵۹a	۳۱/۵۲e	۸۹/۶ef	۹۰/۵۷de	۷/۳۳fgh	۷/۹ef

جدول ۱-

## بحث

بر اساس نتایج آزمایش تیمار فرا صوت به خصوص در مدت زمان کمتر ۲ دقیقه در مقایسه با شاهد منجر به کاهش معنی دار درجه قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی گردید. علت این امر به کاهش شدید بار میکروبی و کاهش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در اثر این تیمار مرتبط بود. قهوه‌ای شدن آنزیمی در نتیجه تخریب غشاهای سلولی و مجاورت سوبسترای فنلی با آنزیم پلی فنل اکسیداز رخ می‌دهد (Soler-Rivas et al. 1999). تیمار فراصوت علاوه از کاهش مستقیم فعالیت آنزیمی با حفظ بهتر صلابت غشای سلولی درجه قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی را کم نموده است (Andrade et al. 2014; Bermudes-Aguirre et al. 2011). حفظ بهتر صلابت غشای سلولی از کمتر بودن نشت یونی در نمونه‌های تیمار فرا صوت در مقایسه با شاهد مشخص بود. حفظ ساختار غشای سلولی در اثر تیمار فراصوت به کاهش از دست دادن آب در اثر این تیمارها نیز منجر شد. قارچ خوراکی فاقد کوتیکول بوده و از دست دادن آب در آن تابع شدیدی از صلابت غشا می‌باشد (Brennan et al. 2000). در تیمار شاهد از دست



دادن آب زیاد به دلیل تخریب بیشتر غشا منجر به تلغیظ شیره سلولی شده و به همین دلیل مقدار مواد جامد محلول در نمونه‌های شاهد بیشتر از نمونه‌های تیمار فراصوت بود. نکته مهم در این آزمایش افزایش درجه قهوه‌ای شدن و از دست دادن آب در تیمار فراصوت با افزایش مدت زمان تیمار با وجود کاهش بیشتر بار میکروبی بود. این امر به دلیل آسیب بیشتر غشای سلولی و افزایش نشت یونی و پی آن افزایش فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز با افزایش مدت زمان تیمار بود که منجر به قهوه‌ای شدن بیشتر و از دست دادن آب بیشتر در مدت زمانهای بالاتر شد. تیمار فراصوت شامل امواجی با فرکانس بالاست که به عنوان یک تیمار فیزیکی در شدت‌های بالا منجر به آسیب به ساختارهای سلولی می‌شوند و برای بهره بردن از اثرات مفید آن باید در دزهای پایین موثر استفاده شوند (Rastogi, 2011). از این رو تیمار قارچ خوراکی با امواج فراصوت منتهی در دزهای کم با کاهش بار میکروبی و ممانعت از قهوه‌ای شدن آنزیمی راهکاری مناسب و ایمن در افزایش عمر پس از برداشت قارچ خوراکی می‌باشد.

### منابع

1. Andrade, N.J.D., Jose, J.F.B. and Ramose, A.M. 2014. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*. 45: 36-50.
2. Ares, G., Lareo, C., Lema, P. 2007. Modified atmosphere packaging for postharvest storage of mushrooms, a review. *Fresh Produce*, 1: 32-40.
3. Bermudes-Aguirre, D., Mobbs, T. and Barbosa-Canovas, G.V. 2011. Ultrasound application in food processing, *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*. *new York springer* 64-105.
4. Brennan, M., Port, G.L. and Gormley, R. 2000. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *LWT - Food Science and Technology*. 33: 285-289.
5. Rastogi, N. 2011. Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Food Science and Nutrition*. 51: 705-722.
6. Soler-Rivas, C., Jolivet, S., Arpin, N., Olivier, J.M., Wichers, H.J. 1999. Biochemical and physiological aspects of brown blotch disease of *Agaricus bisporus*. *FEMS Microbiology Reviews*, 23, 591-614.

### Extension of postharvest life of mushroom by ultrasonic treatment via reduction of microbial load and prevention of enzymatic browning

O. Khademi<sup>\*1</sup>, F. Sarlak<sup>2</sup> and J. Erfani Moghadam<sup>3</sup>

1-Assistance professor of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahed University 2- Former MS student of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ilam University 3- Assistance professor of Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Ilam University

\*Corresponding author: o.khademi@shahed.ac.ir

### Abstract

Enzymatic browning, bacterial attack and weight loss are the main limiting factors in postharvest life of mushroom. In this study the effects of ultrasonic treatments on removing these limitations and increasing shelf life of mushroom were investigated. For that mushrooms with close cap and 40mm diameter were treated by water and ultrasonic treatments for 2, 4 and 6 min and then were stored at 4°C and were analyzed after 1 and 2 weeks. Results showed that ultrasound treated mushroom in comparison to control had lower browning intensity due to reduction of microbial load and PPO activity under this treatment. Ultrasonic treatment by protection of membrane integrity and reduction of electro-leakage reduced weight loss as compared to control. Positive effect of ultrasonic treatment at 2 min was more than that of more time. With increasing duration of treatment damage to membrane occurred and browning intensity increased. Because of further weight loss, which resulted in concentrated cell sap, control sample had more TSS than sample of ultrasonic treatments. Antioxidant capacity of control samples was also less than that of ultrasonic treated samples. Therefore ultrasonic treatment, especially in low intensity is suitable means for increasing the postharvest life of mushroom.

**Key words:** Mushroom, browning, bacteria, weight loss, ultrasonic wavelength