https://journals.rifst.ac.ir
ISSN: 2252-0937(print), 2538-2357(online)
پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی
سال ۱۴۰۲، جلد ۱۲، شماره ۲، صفحات ۱۹۰-۱۸۱
https://doi.org/10.22101/JRIFST.2023.376052.1417

JRIFST
مقالهٔ کامل پژوهشی

تأثیر پیش‌تیمار امواج اولتراسوند بر ویژگی‌های عملکردی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شده به روش انجمادی

مهرنوش برهانی اصفهانی[۱]، محمد گلی[۲*]، مجید طغیانی[۳]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲- گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات لیزر و بیوفوتونیک در فناوری‌های زیستی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
* نویسندهٔ مسئول (M.goli@khuisf.ac.ir)
۳- گروه علوم دامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده

تخم‌مرغ به‌دلیل داشتن خواص تغذیه‌ای، خواص عملکردی ترکیبات آن و شرکت در واکنش‌های قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی و بهبود عطروطعم مطلوب، نقش مهمی در فراوری انواع محصولات غذایی دارد. در این پژوهش تأثیر قدرت اولتراسوند (۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات) بر خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی شامل حلالیت، خواص کف‌گنندگی، خواص امولسیون‌کنندگی، ظرفیت جذب آب و روغن، ویسکوزیته و اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شده به روش خشک‌کردن انجمادی در قالب طرح کاملا تصادفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که قابلیت تولید کف حاصل از پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات نسبت به شاهد افزایش یافت. فعالیت امولسیون‌کنندگی و پایداری کف حاصل از پودر سفیدهٔ اولتراسوندشده نسبت به شاهد تغییری نکرد. اولتراسوند و افزایش قدرت آن اثر معنی‌داری بر حلالیت و ویسکوزیتهٔ پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ نداشت. کاهش اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ در قدرت‌های بالاتر اولتراسوند (۴۰۰ کیلووات) به‌دست‌آمد. بالاترین میزان ظرفیت جذب آب و کمترین میزان ظرفیت جذب روغن مربوط به پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان ۱۰۰ کیلووات بود. در مجموع کاربرد اولتراسوند با قدرت بالا (۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات) قابلیت تولید کف را افزایش داد. افزایش قدرت اولتراسوند از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلووات موجب کاهش چشمگیر اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ گردید.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲

واژه‌های کلیدی
اولتراسوند
پایداری کف
پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ
ظرفیت امولسیون‌کنندگی

OPEN ACCESS
CC BY

مقدمه

سفیدهٔ تخم‌مرغ منبع غنی از پروتئین‌ها مانند اوآلبومین[۱]، اووترانسفرین[۲]، اوموکوئید[۳]، اوموسین[۴] و لیزوزیم[۵] است (Sheng *et al.*, 2018). پروتئین‌های سفیدهٔ تخم‌مرغ ارزش غذایی بسیار بالایی دارند و دارای اسیدهای آمینهٔ ضروری تریپتوفان، لوسین، ایزولوسین، ترئونین و لیزین است. علاوه‌بر ارزش غذایی، در سال‌های اخیر پروتئین‌های سفیدهٔ تخم‌مرغ یکی از پرکاربردترین‌ها پروتئین‌ها در صنایع غذایی است. پروتئین‌های سفیدهٔ تخم‌مرغ دارای

[1] Ovalbumin
[2] Ovotransferrin
[3] Ovomucoid
[4] Ovomucin
[5] Lysozyme

خواص کاربردی مطلوب نظیر تشکیل ژل، قابلیت خوب آن در هیدراتاسیون، حلالیت، خاصیت امولسیون‌کنندگی، کف‌کنندگی، قوام‌دهی و بهبود بافت، باندشدن با چربی‌ها و آروما و پایداری ساختار فیزیکی سیستم‌های غذایی است. ویژگی‌های ساختاری و عملکردی ذکرشئه در پروتئین‌های سفیدۀ تخم‌مرغ به شدت تحت‌تأثیر روش‌های آماده‌سازی و خشک‌کردن قرار می‌گیرد. حفظ ساختار طبیعی و اولیۀ این پروتئین‌ها جهت رسیدن به حداکثر کارایی یک ضرورت بشمار می‌آید. برای تغییر و اصلاح ساختار پروتئین‌های سفیدۀ تخم‌مرغ می‌توان از روش‌های متعددی ازجمله فرایندهای دمایی، اصلاح pH، امواج اولتراسوند و پلاسمای سرد کمک گرفت (Jambrak *et al.*, 2008).

اولتراسوند نوعی از انرژی تولیدشده توسط امواج صوت شامل طول موج‌هایی بسیار بالاتر از قدرت شنوایی گوش انسان (محدودۀ بالاتر از ۱۶ کیلوهرتز) می‌باشد. هنگامی که امواج اولتراسوند با شدت بالا در محیط منتشر شوند باعث ایجاد ارتعاشات مکانیکی شده و درصورتی‌که محیط حاوی ذرات جامد باشد تغییرات ساختاری قابل ملاحظه‌ای مشاهده می‌شود. ارتعاشات حاصل از امواج باعث تشکیل حباب‌های بسیار ریز هوا در محیط می‌شوند، رشد و فروپاشی این حباب‌ها در سوسپانسیون‌های مایع سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی خواهد شد و به این پدیده کاویتاسیون گفته می‌شود. امروزه، تکنولوژی اولتراسوند به‌ویژه اولتراسوند با شدت بالا با دامنۀ فرکانس ۱۶ تا ۱۰۰ کیلوهرتز و توان ۱۰ تا ۱۰۰۰ وات بر سانتی‌مترمربع در تجزیه‌وتحلیل و نیز اصلاح ساختارهای مولکولی و فرایندهای صنعت غذا بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازجمله کاربردهای امواج اولتراسوند در صنعت غذا می‌توان به تسریع و بهبود فرایندهایی مانند دهیدراتاسیون، خشک‌کردن، انجماد، ذوب، تردکردن گوشت، فیلتراسیون، کریستالیزاسیون لاکتوز و چربی، استخراج، امولسیفیکاسیون، استریفیکاسیون و فرایند رسیدن پنیر و همچنین تعیین غلظت رسوب، افزایش فشار غشا، کاهش اندازۀ ذرات موجود در هوا، غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و میکروب‌ها اشاره نمود (Zhu *et al.*, 2018). برخی از تحقیق‌های تغییر در ساختمان مولکولی پروتئین‌ها پس از تیمار با اولتراسوند با شدت بالا را بررسی کردند که تغییرات در گروه‌های سولفیدریل آزاد، اندازۀ ذرات، آب‌گریزی سطحی، تغییر ساختمان دوم پروتئین‌ها و تقویت فعالیت سطحی را در آنها ایجاد کرد و اغلب محققان تأثیر اولتراسوند با شدت بالا را بر خواص عملکردی پروتئین‌ها بخصوص افزایش خواص آب‌گربزی و کاهش اندازۀ ذرات تأیید کرده‌اند (Mu *et al.*, 2010). درهمین‌راستا، Chen و همکاران (۲۰۱۱) گزارش دادند که اولتراسوند باعث تشدید هیدرولیز آنزیمی پروتئین‌ها می‌شود و به‌طور قابل‌توجهی خواص رئولوژیکی، حلالیت، فعالیت سطحی و خصوصیات امولسیون‌کنندگی کنسانترۀ پروتئین سویا و همچنین توانایی ژل‌شدن ایزولۀ پروتئین سویا را تقویت می‌کند. Jiang و همکاران (۲۰۱۴) بیان کردند که اولتراسوند در قدرت متوسط موجب افزایش میزان بار سطحی منفی ایزولۀ پروتئینی لوبیای سیاه، تقویت نیروی دافعۀ الکترواستاتیک درون‌مولکولی، بازشدن لخته‌های پروتئین موجود، ممانعت از تجمع و لخته‌شدن بیشتر ذرات و بهبود پایداری دیسپرسیون‌های پروتئینی گردید که این پدیده منجربه‌افزایش حلالیت پروتئین شده است. Liu و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش نمودند که تیمار اولتراسوند با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و شدت ۳۶ وات بر سانتی‌مترمربع باعث افزایش حلالیت و بهبود خواص کف‌کنندگی، پایداری کف، فعالیت امولسیون‌کنندگی و ظرفیت جذب آب اوآلبومین می‌گردد. نتایج Nagy و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که با افزایش توان امواج اولتراسوند از ۱۸۰ تا ۳۰۰ وات و همچنین افزایش فرکانس از ۲۰ به ۴۰ کیلوهرتز خواص کف‌کنندگی پروتئین سفیدۀ تخم‌مرغ افزایش ۲۵ درصدی داشت.

باتوجه‌به اثر امواج اولتراسوند بر اصلاح و بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و عملکردی پروتئین‌های منابع مختلف غذایی، هدف از پژوهش حاضر بررسی قابلیت امواج اولتراسوند در توان‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات در بهبود و تقویت خواص کاربردی (شامل حلالیت، قابلیت تولید کف، پایداری کف، فعالیت امولسیون‌کنندگی، پایداری امولسیون، ظرفیت جذب آب، ظرفیت جذب روغن، ویسکوزیته و اندازۀ ذرات) پودر سفیدۀ تخم‌مرغ است.

مواد و روش‌ها

مواد

تخم‌مرغ تازه از شرکت سیمرغ (اصفهان) تهیه شد. تمامی مواد مصرفی در این تحقیق، ارجمله معرف‌های شیمیایی

تست بیوره و نیز سرم آلبومین دارای خلوص آزمایشگاهی بوده و از شرکت مرک (ساخت آلمان) فراهم گردیدند.

آماده‌سازی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ

تخم‌مرغ‌ها به دقت شکسته و سفیده و زردهٔ آن از هم جدا گردیدند. سفیدهٔ تخم‌مرغ با استفاده از همزن مغناطیسی (مدل ۸۵-۲، شرکت Veovr، ساخت آمریکا) به مدت ۱ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد در محیط سردخانه تا رسیدن به مخلوطی همگن و یکنواخت هم‌زده شد. سپس به میزان دو برابر وزنی/وزنی سفیدهٔ تخم‌مرغ همگن‌شده آب‌مقطر اضافه شد و مجدد به مدت ۱ ساعت در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد هم‌زده شد. پس از آن مخلوط‌ها درون دستگاه اولتراسوند (مدل پارسونیک، شرکت پارس نهند، ساخت ایران) مجهز به پروب تیتانیومی به قطر ۱ سانتی‌متر و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز با توان‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند. در طول زمان اولتراسوند ظرف نمونه در داخل مخلوط آب و یخ قرار داشت تا از واکنش ناشی از افزایش جزئی دمای عملیات اولتراسوند جلوگیری شود و تغییرات فیزیکوشیمیایی رخ‌داده‌شده در پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ به تنهایی ناشی از اعمال اولتراسوند باشد و تغییرات ناشی از افزایش دمای اولتراسوند حذف گردد. سپس محلول حاصله در دمای ۱۸- درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت با سرعت آهسته منجمد گردید (Jafari *et al.*, 2022) و درنهایت در یک خشک‌کن انجمادی تحت‌خلأ (مدل FD-5010-BT، شرکت دنا، ساخت ایران) با فشار ۰/۰۴ تا ۰/۰۶ میلی‌بار و دمای ۵۰- درجهٔ سانتی‌گراد در مدت ۲۴ ساعت تبدیل به پودر گردید (Chen *et al.*, 2019).

تعیین حلالیت

حلالیت پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ مطابق با روش Salvador و همکاران (۲۰۰۹) با تغییرات جزئی تعیین گردید. برای‌این‌منظور، ۱ گرم از پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل شد و سپس با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد سانتریفیوژ (اپندورف، مدل ۵۸۰۴، ساخت آلمان) گردید. میزان پروتئین نمونه‌ها توسط آزمون بیوره در طول موج ۵۷۲ نانومتر و با استفاده از سرم آلبومین گاوی به‌عنوان استاندارد پروتئین تعیین شد و میزان انحلال‌پذیری برحسب گرم پروتئین محلول به ازای هر ۱۰۰ گرم پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ بیان گردید.

تعیین خواص کف‌کنندگی

قابلیت کف (FA[1]) و پایداری کف (FS[2]) طبق روش Sheng و همکاران (۲۰۱۹) تعیین شد. بدین‌ترتیب که ۱۵ میلی‌لیتر از محلول پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر درون استوانهٔ مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با هموژنایزر (مدل Yellow line، شرکت Ica Works، ساخت آمریکا) با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱ دقیقه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد همگن شد (Jafari *et al.*, 2022). پس از گذشت ۳۰ ثانیه، حجم نمونه‌های هموژن‌شده ثبت گردید. برای تعیین پایداری کف، کف تولیدشده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد در حالت سکون قرار گرفت. قابلیت کف‌کردن و پایداری کف پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ مطابق رابطهٔ (۱) و (۲) محاسبه شدند:

رابطهٔ (۱)

$$FA = 100 \times \frac{V_1}{V_0}$$

رابطهٔ (۲)

$$FS = 100 \times \frac{V_2}{V_0}$$

در رابطهٔ (۱) و (۲)، v_1: حجم کف، v_2: حجم کف بعد از ۳۰ دقیقه و v_0: حجم اولیهٔ مایع می‌باشد.

تعیین خواص امولسیون‌کنندگی

برای‌این‌منظور، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول پروتئین (۱ درصد وزنی/وزنی) با ۱۰ میلی‌لیتر روغن گیاهی به مدت ۲ دقیقه توسط ورتکس میکسر (مدل Vortex-Genie، شرکت کارل روث، ساخت آلمان) در دمای اتاق همگن گردید. سپس امولسیون حاصل با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. ارتفاع لایهٔ امولسیون‌شده و کل محتوی موجود در لوله طبق رابطهٔ (۳) به‌عنوان فعالیت امولسیون‌کنندگی گزارش شد (Liu *et al.*, 2020):

رابطهٔ (۳)

$$EA = 100 \times \frac{h}{h_0}$$

[1] Foam ability
[2] Foam stability

در رابطهٔ (۳)، h: ارتفاع امولسیون در لوله و h_0: ارتفاع کل محتوی درون لوله است. پایداری امولسیون با حرارت‌دادن امولسیون در دمای ۸۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه و سپس سانتریفیوژ در ۱۱۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه مطابق با رابطهٔ (۴) محاسبه گردید (Liu *et al.*, 2020):

رابطهٔ (۴)

$$ES = 100 \times \frac{h_1}{h_2}$$

در رابطهٔ (۴)، h_1: ارتفاع امولسیون در لوله پس از حرارت‌دهی و h_2: ارتفاع امولسیون در لوله قبل از حرارت‌دهی است.

تعیین ظرفیت جذب آب و روغن

برای تعیین ظرفیت جذب آب و روغن پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ، ۱ گرم نمونه در ۱۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر و یا روغن‌ذرت پراکنده و به مدت ۱ دقیقه هم‌زده شد. سپس سوسپانسیون پروتئین با سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ و حجم فاز رویی دور ریز شد و افزایش وزن فاز زیرین محاسبه گردید. ظرفیت جذب آب و روغن به‌عنوان گرم آب یا روغن جذب‌شده به ازای هر گرم پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ درنظرگرفته شد (Segura-Campos *et al.*, 2013).

تعیین ویسکوزیتهٔ محلول ۱ درصد سفیدهٔ تخم‌مرغ

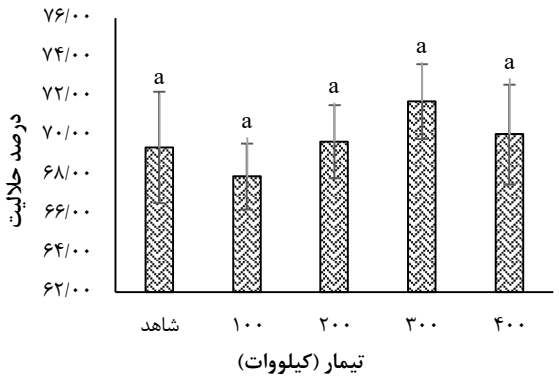
برای اندازه‌گیری ویسکوزیتهٔ نمونه‌های امولسیون از ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (مدل Brookfield RVDVIII Ultra، شرکت بروکفیلد، ساخت آمریکا) استفاده گردید. اندازه‌گیری در دمای اتاق و با استفاده از اسپیندل (مدل SC4-31) در محدودهٔ سرعت چرخش ۶۰ دور در دقیقه انجام شد (Patrignani *et al.*, 2013).

تعیین اندازهٔ ذرات

اندازهٔ ذرات محلول‌های حاصل، در دستگاه آنالیزکنندهٔ اندازهٔ ذرات (Malvern, zetasizer nano، ساخت انگلستان) براساس روش تفرق نور لیزر اندازه‌گیری شد. متوسط اندازهٔ ذرات براساس میانگین قطر حجمی تعیین شدند. میانگین قطر حجمی[1] ۹۰ درصد، قطری است که حجم ذرات کوچک‌تر از آن، ۹۰ درصد حجم کل ذرات موجود در سیستم را تشکیل می‌دهد (Beck *et al.*, 2017).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

طراحی آزمایش‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. مقایسهٔ میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن در سطح اطمینان[2] ۹۵ درصد و نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۹.۱ انجام شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Excel نسخهٔ ۲۰۱۶ ترسم گردید.



شکل ۱- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند و درصد حلالیت پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<0/05$).

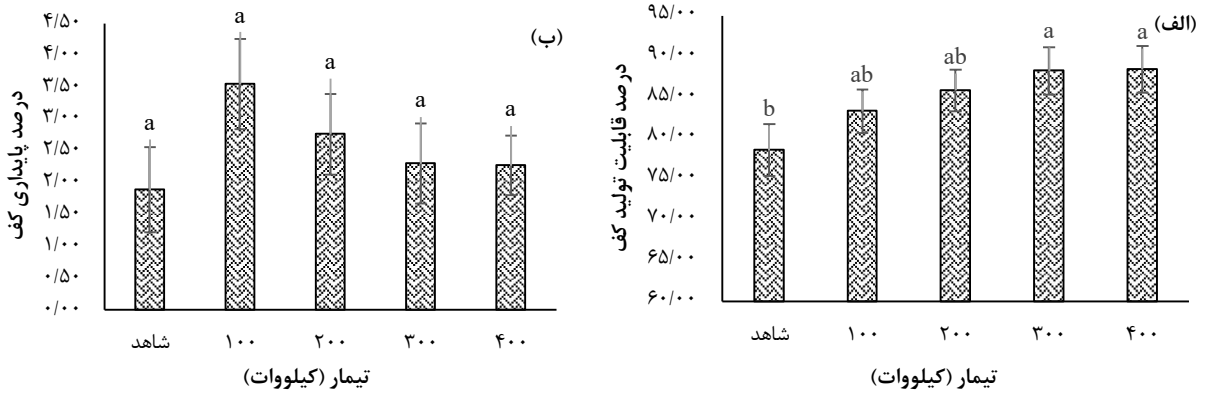
نتایج و بحث

حلالیت

حلالیت پروتئین به‌علت تأثیر بر ویژگی‌هایی مانند امولسیون‌کنندگی، کف‌کنندگی و ژل‌کنندگی یکی از بارزترین و مهم‌ترین ویژگی عملکردی پروتئین می‌باشد (Jun *et al.*, 2020). پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌داری نبود ($P>0/05$)، (شکل ۱). نتایج مطالعه‌های پیشین نشان داده است که استفاده از امواج اولتراسوند در محلول سفیدهٔ تخم‌مرغ باعث جداشدن کمپلکس اوووموسین و لیزوزیم از یکدیگر شده و همچنین محتوی پروتئین محلول را افزایش می‌دهد (Sheng *et al.*, 2018). در تحقیقی دیگر نیز به افزایش حلالیت پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ در اثر اعمال اولتراسوند اشاره شده است (Stefanović *et al.*, 2017).

[1] DeBroukere mean

[2] Confidence level



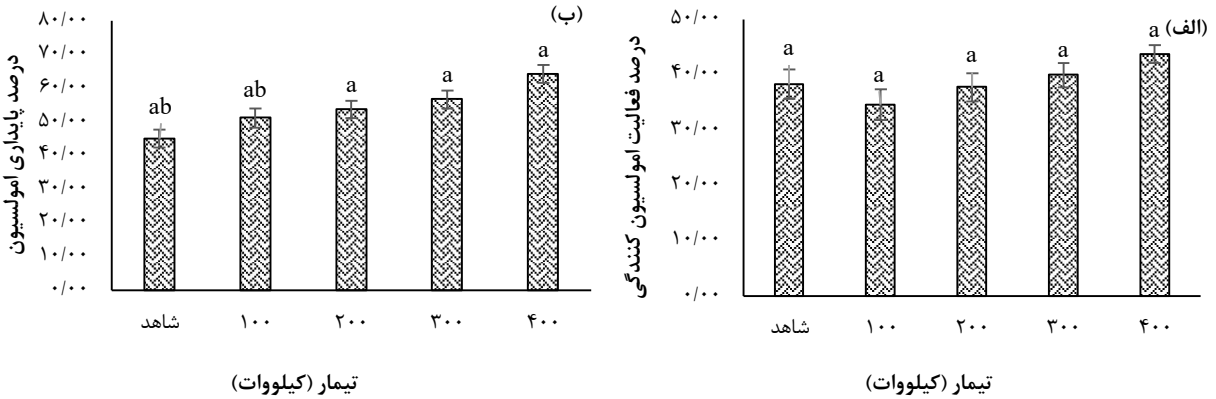
شکل ۲- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند بر درصد پایداری و قابلیت کف پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<0/05$).

خواص کف‌کنندگی

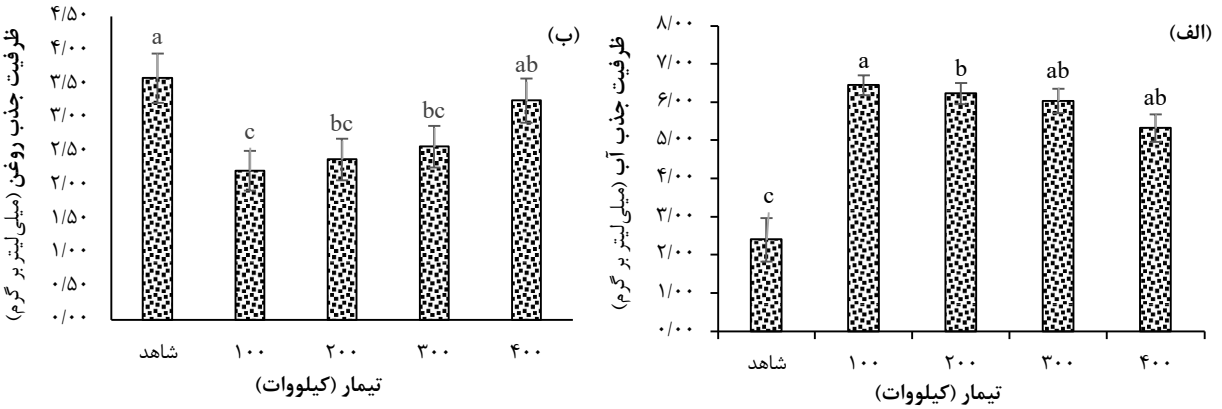
ظرفیت کف‌کنندگی و پایداری آن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های عملکردی است که در ایجاد خصوصیات رئولوژیکی مطلوب در مواد غذایی نظیر بافت نقش اساسی دارد. کف در مواد غذایی شامل پراکندگی حباب‌های گاز داخل یک فاز مایع و یا فاز نیمه‌جامد پیوسته است (Stefanović *et al.*, 2017). همان‌طورکه در شکل (۲-الف) مشاهده می‌شود قابلیت کف‌کنندگی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلووات نسبت به شاهد افزایش یافت ($P<0/05$). درحالی‌که پایداری کف حاصل از پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده نسبت به شاهد تغییری نکرد ($P>0/05$). لازم به ذکر است که افزایش توان اولتراسوند از ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات تأثیر معنی‌داری در قابلیت کف‌کنندگی و پایداری کف حاصل از پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده نداشت ($P>0/05$)، (شکل ۲-ب). افزایش قابلیت تولید کف در اثر اعمال اولتراسوند با توان بالا به‌دلیل تأثیر مثبت این فرایند بر افزایش آب‌گریزی سطح پروتئین است که موجب جذب مؤثرتر مولکول پروتئین در سطح مشترک هوا-آب می‌شود (Stefanović *et al.*, 2017). علاوه‌بر این، در طول فرایند اولتراسوند بازشدن جزئی ساختار پروتئین که باعث در معرض قرارگرفتن گروه‌های آب‌دوست و سولفیدریل آزاد می‌شود و یا دناتوراسیون جزئی پروتئین که باعث کاهش اندازهٔ ذارت آن می‌شود، امکان جذب بهتر پروتئین را در سطح مشترک هوا-آب فراهم می‌کند و درنتیجه خاصیت کف‌کنندگی پروتئین را افزایش می‌دهد (Higuera-Barraza *et al.*, 2016). در مطالعه‌های متعددی گزارش شده است که اولتراسوند با شدت بالا خاصیت کف‌کنندگی پروتئین را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد زیرا اثر مکانیکی و نیروی برشی ایجادشده ناشی از پدیدهٔ کاویتاسیون سبب کاهش تجمع[1] مولکول‌های پروتئین می‌شود (Chen & Ma, 2020). درهمین‌رابطه، Xiong و همکاران (۲۰۱۶) افزایش قابلیت تولید کف اوآلبومین اولتراسوندشده با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را نسبت به نمونهٔ اولتراسوندنشده گزارش کردند.

Van der Plancken و همکاران (۲۰۰۷) نیز بیان نمودند که افزایش خاصیت کف‌کنندگی پروتئین به‌خاطر تقویت برهم‌کنش‌های آب‌گریزی پروتئین-پروتئین در سطح مشترک حاصل می‌گردد. لذا در معرض قرارگرفتن بخش‌های آب‌دوست پروتئین و تغییرات کنفورماسیونی در طول فرایند اولتراسوند می‌تواند موجب شکست پروتئین در برهم‌کنش‌های داخلی و بهبود خواص کف‌کنندگی آن شود (Jun *et al.*, 2020). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که با افزایش توان اولتراسوند از ۹۰ تا ۳۶۰ وات توانایی تولید کف سفیدهٔ تخم‌مرغ افزایش می‌یابد و بیشترین میزان کف‌کنندگی سفیدهٔ تخم‌مرغ پس از اعمال اولتراسوند با توان ۳۶۰ وات به‌دست می‌آید که حدود ۴/۹ برابر بیشتر از نمونهٔ اولتراسوندنشده است (Sheng *et al.*, 2018). در تحقیق دیگری نتایج حاکی از آن بود که با افزایش فرکانس و یا شدت اولتراسوند از ۲۰ به ۴۰ کیلوهرتز و همچنین افزایش مدت زمان اعمال اولتراسوند از ۳۰ تا ۶۰ دقیقه قابلیت تولید کف سفیدهٔ تخم‌مرغ افزایش و پایداری آن کاهش یافت (Nagy *et al.*, 2021).

[1] Aggregation



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند بر درصد پایداری امولسیون و فعالیت امولسیون‌کنندگی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<۰/۰۵$).



شکل ۴- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند و ظرفیت جذب آب و روغن (میلی‌گرم بر گرم) پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<۰/۰۵$).

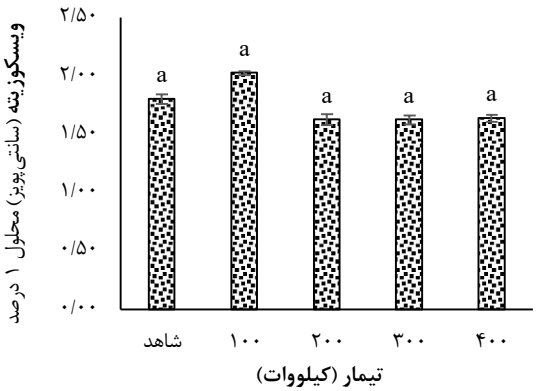
خواص امولسیون‌کنندگی

نتایج شکل (۳) نشان داد که فعالیت امولسیون‌کنندگی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ تحت‌تأثیر فرایند اولتراسوند قرار نگرفت ($P>۰/۰۵$)، و با افزایش توان اولتراسوند از ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلووات نیز فعالیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون تغییری نکرد ($P>۰/۰۵$). در تحقیق Stefanović و همکاران (۲۰۱۷) استفاده از اولتراسوند با توان بالاتر از ۴۰۰ کیلووات موجب افزایش میزان بار منفی سطحی پروتئین، تقویت نیروی دافعهٔ الکترواستاتیک درون‌مولکولی، کاهش نیروی بین‌سطحی و افزایش جذب پروتئین در فصل مشترک آب و روغن و ممانعت از تجمع و لخته‌شدن زیاد ذرات و بهبود پایداری دیسپرسیون‌های پروتئینی می‌شود و تمام این موارد به‌نوبه‌خود باعث افزایش پایداری امولسیون حاصل از آن می‌گردد (شکل ۳)، (Stefanovic *et al.*, 2017).

ظرفیت جذب آب و روغن

ظرفیت جذب آب پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P<۰/۰۵$). افزایش توان اولتراسوند از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلووات موجب کاهش معنی‌دار ($P<۰/۰۵$)، ظرفیت جذب آب پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده گردید (شکل ۴-الف). اثر تیمار اولتراسوند بر ظرفیت جذب روغن پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ در شکل (۴-ب) نشان داد که ظرفیت جذب روغن پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلووات به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد کمتر بود. همچنین نتایج نشان داد که ظرفیت جذب روغن با افزایش توان اولتراسوند به ۴۰۰ کیلووات افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). بالاترین میزان ظرفیت جذب آب و کمترین میزان ظرفیت جذب روغن مربوط به پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با توان ۱۰۰ کیلووات بود (شکل ۴). نقش

مؤثر و مثبت اولتراسوند بر ظرفیت جذب آب و روغن را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که دناتوراسیون پروتئین‌ها در اثر اعمال اولتراسوند سبب به سطح آمدن بیشتر گروه‌های آب‌دوست در ساختار پروتئین‌شده و از این طریق به افزایش ظرفیت جذب آب و روغن کمک می‌کند (Arzeni *et al.*, 2012). برخی از محققان بر این باورند که فرایند اولتراسوند به‌واسطهٔ پدیدهٔ کاویتاسیون باعث می‌شود که گروه‌های آب‌دوست پروتئین بیشتر در تماس با فاز آبی قرار گیرد و نسبت آب به‌دام‌افتاده در پروتئین افزایش یابد و درنتیجه ظرفیت جذب آب و روغن پروتئین بهبود یابد (Higuera-Barraza *et al.*, 2016).



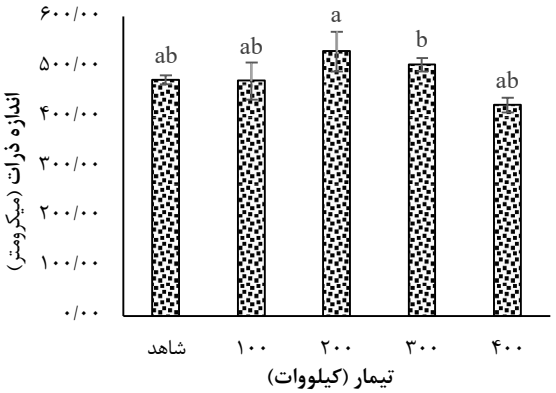
شکل ۵- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند و ویسکوزیتهٔ (سانتی‌پویز) محلول ۱ درصد از پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<0/05$).

ویسکوزیته

همان‌طورکه در شکل (۵) مشاهده می‌شود، استفاده از اولتراسوند با توان‌های مختلف تأثیری بر ویسکوزیتهٔ پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ نداشت و نمونه‌های اولتراسوندشده اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان ندادند ($P>0/05$). در میان نمونه‌های اولتراسوندشده، کمترین ویسکوزیته (۱/۶۳ سانتی‌پویز) مربوط به پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ اولتراسوندشده با قدرت ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلووات بود و دلیل آن را می‌توان به تأثیر پدیدهٔ کاویتاسیون بر کاهش وزن مولکولی پروتئین و درنتیجه کاهش ویسکوزیته نسبت داد (Sheng *et al.*, 2018). درهمین‌رابطه، Sheng و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که افزایش توان اولتراسوند از ۹۰ تا ۱۲۰ وات موجب کاهش ویسکوزیتهٔ پروتئین سفیدهٔ تخم‌مرغ می‌شود و افزایش بیشتر توان اولتراسوند تا ۴۸۰ کیلووات تأثیر معنی‌داری بر ویسکوزیته ندارد.

اندازهٔ ذرات

نتایج شکل (۶) نشان داد که اولتراسوند با توان ۴۰۰ کیلووات تأثیر بیشتری در کاهش اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ داشت ($P<0/05$). بررسی افزایش اندازهٔ ذرات برای سفیدهٔ تخم‌مرغ تیمارشده با اولتراسوند در محدودهٔ توانی موردمطالعه، علت را به تجمع حرارتی در طول تیمار اولتراسوند نسبت دادند. بااین‌حال، اگر گروه‌های آب‌گریز اضافی در معرض قرار گیرند، این گروه‌ها ممکن است با یکدیگر تعامل داشته باشند و اندازهٔ پروتئین را به‌خاطر برهم‌کنش‌های آب‌گریز و الکترواستاتیک افزایش دهند. همچنین تأثیر مثبت اولتراسوند با شدت بالا بر کاهش اندازهٔ ذرات را می‌توان به نیروی برشی ایجادشده در اثر پدیدهٔ کاویتاسیون نسبت داد (Stefanović *et al.*, 2017). درهمین‌راستا، O'Sullivan و همکاران (۲۰۱۶) کاهش قابل‌توجهی در اندازهٔ ذرات پروتئین‌های گیاهی و حیوانی اولتراسوندشده را گزارش کردند.



شکل ۶- مقایسهٔ میانگین اثر امواج اولتراسوند و اندازهٔ ذرات (میکرومتر) پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی. داده‌ها به‌صورت میانگین و انحراف معیار در سه تکرار بیان شده است. حروف متفاوت روی تیرک‌ها نشان‌دهندهٔ اختلاف معنی‌داری آماری می‌باشد ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ خشک‌شدهٔ انجمادی با کمک اولتراسوند انجام شد. نتایج نشان داد که اولتراسوند تأثیر مثبتی بر قابلیت کف‌کنندگی، ظرفیت جذب آب و

روغن و اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ داشت. درحالی‌که حلالیت، ویسکوزیته، پایداری کف، فعالیت امولسیون‌کنندگی و پایداری امولسیون تحت‌تأثیر امواج اولتراسوند قرار نگرفت. کاربرد اولتراسوند با قدرت بالا (۳۰۰ و ۴۰۰ کیلو وات) قابلیت تولید کف را افزایش داد. با افزایش شدت اولتراسوند به‌ترتیب باعث افزایش و کاهش قابل‌توجهی در ظرفیت نگهداری آب و روغن پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ شد. افزایش قدرت اولتراسوند از ۱۰۰ به ۴۰۰ کیلووات موجب کاهش چشمگیر اندازهٔ ذرات پودر سفیدهٔ تخم‌مرغ گردید.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) به‌دلیل همکاری‌های اجرایی درراستای محقق‌شدن این تحقیق کمال تشکر را داریم.

مشارکت نویسندگان

مهرنوش برهانی اصفهانی: جمع‌آوری داده، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر داده‌ها، نوشتن پیش‌نویس مقاله، آنالیز داده‌ها، ارائهٔ ایدهٔ پژوهشی و طراحی مطالعه، بازبینی و اصلاح مقاله، نظارت بر مطالعه، تأیید نسخهٔ نهایی؛ **محمد گلی:** جمع‌آوری داده، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر داده‌ها، نوشتن پیش‌نویس مقاله، آنالیز داده‌ها، ارائهٔ ایدهٔ پژوهشی و طراحی مطالعه، بازبینی و اصلاح مقاله، نظارت بر مطالعه، تأیید نسخهٔ نهایی؛ **مجید طغیانی:** جمع‌آوری داده، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر داده‌ها، ارائهٔ ایدهٔ پژوهشی و طراحی مطالعه.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

منابع

Arzeni, C., Martínez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O. E., & Pilosof, A. M. R. (2012). Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *Journal of Food Engineering*, *108*(3), 463-472. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.08.018

Beck, S. M., Knoerzer, K., & Arcot, J. (2017). Effect of low moisture extrusion on a pea protein isolate's expansion, solubility, molecular weight distribution and secondary structure as determined by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *Journal of Food Engineering*, *214*, 166-174. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.037

Chen, L., Chen, J., Ren, J., & Zhao, M. (2011). Effects of ultrasound pretreatment on the enzymatic hydrolysis of soy protein isolates and on the emulsifying properties of hydrolysates. *J Agric Food Chem*, *59*(6), 2600-2609. https://doi.org/10.1021/jf103771x

Chen, Y., & Ma, M. (2020). Foam and conformational changes of egg white as affected by ultrasonic pretreatment and phenolic binding at neutral pH. *Food Hydrocolloids*, *102*, 105568. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105568

Chen, Y., Sheng, L., Gouda, M., & Ma, M. (2019). Impact of ultrasound treatment on the foaming and physicochemical properties of egg white during cold storage. *LWT*, *113*, 108303. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108303

Higuera-Barraza, O. A., Del Toro-Sanchez, C. L., Ruiz-Cruz, S., & Márquez-Ríos, E. (2016). Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins. *Ultrasonics Sonochemistry*, *31*, 558-562. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.007

Jafari, Z., Goli, M., & Toghyani, M. (2022). The Effects of Phosphorylation and Microwave Treatment on the Functional Characteristics of Freeze-Dried Egg White Powder. *Foods*, *11*(17). https://doi.org/10.3390/foods11172711

Jambrak, A. R., Mason, T. J., Lelas, V., Herceg, Z., & Herceg, I. L. (2008). Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions. *Journal of Food Engineering*, *86*(2), 281-287. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.004

Jiang, L., Wang, J., Li, Y., Wang, Z., Liang, J., Wang, R., . . . Zhang, M. (2014). Effects of ultrasound on the structure and physical properties of black bean protein isolates. *Food Research International*, *62*, 595-601. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.022

Jun, S., Yaoyao, M., Hui, J., Obadi, M., Zhongwei, C., & Bin, X. (2020). Effects of single- and dual-frequency ultrasound on the functionality of egg white protein. *Journal of Food Engineering*, *277*, 109902. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109902

Liu, L., Hao, W., Dai, X., Zhu, Y., Chen, K., & Yang, X. (2020). Enzymolysis kinetics and structural-functional properties of high-intensity ultrasound-assisted alkali pretreatment ovalbumin. *International Journal of Food Properties*, *23*(1), 80-94. https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1713152

Mu, L., Zhao, M., Yang, B., Zhao, H., Cui, C., & Zhao, Q. (2010). Effect of ultrasonic treatment on the graft reaction between soy protein isolate and gum acacia and on the physicochemical properties of conjugates. *J Agric Food Chem*, *58*(7), 4494-4499. https://doi.org/10.1021/jf904109d

Nagy, D., Zsom-Muha, V., Németh, C., & Felföldi, J. (2021). Sonication effect on foam properties of egg white. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, *17*(S1), 1-8. https://doi.org/10.1556/446.2021.30001

O'Sullivan, J., Murray, B., Flynn, C., & Norton, I. (2016). The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, *53*, 141-154. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.009

Patrignani, F., Vannini, L., Sado Kamdem, S. L., Hernando, I., Marco-Molés, R., Guerzoni, M. E., & Lanciotti, R. (2013). High pressure homogenization vs heat treatment: Safety and functional properties of liquid whole egg. *Food Microbiology*, *36*(1), 63-69. https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.04.004

Salvador, P., Toldrà, M., Saguer, E., Carretero, C., & Parés, D. (2009). Microstructure–function relationships of heat-induced gels of porcine haemoglobin. *Food Hydrocolloids*, *23*(7), 1654-1659. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.12.003

Segura-Campos, M., Pérez-Hernández, R., Chel-Guerrero, L., Castellanos-Ruelas, A., Gallegos-Tintoré, S., & Betancur-Ancona, D. (2013). Physicochemical and functional properties of dehydrated Japanese quail (Coturnix japonica) egg white. *Food and Nutrition Sciences*, *4*(03), 289. https://doi.org/10.4236/fns.2013.43039

Sheng, L., Wang, Y., Chen, J., Zou, J., Wang, Q., & Ma, M. (2018). Influence of high-intensity ultrasound on foaming and structural properties of egg white. *Food Research International*, *108*, 604-610. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.007

Sheng, L., Ye, S., Han, K., Zhu, G., Ma, M., & Cai, Z. (2019). Consequences of phosphorylation on the structural and foaming properties of ovalbumin under wet-heating conditions. *Food Hydrocolloids*, *91*, 166-173. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.023

Stefanović, A. B., Jovanović, J. R., Dojčinović, M. B., Lević, S. M., Nedović, V. A., Bugarski, B. M., & Knežević-Jugović, Z. D. (2017). Effect of the Controlled High-Intensity Ultrasound on Improving Functionality and Structural Changes of Egg White Proteins. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(7), 1224-1239. https://doi.org/10.1007/s11947-017-1884-5

Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. E. (2007). Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment. *Journal of Food Engineering*, *78*(4), 1410-1426. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.013

Xiong, W., Wang, Y., Zhang, C., Wan, J., Shah, B. R., Pei, Y., . . . Li, B. (2016). High intensity ultrasound modified ovalbumin: Structure, interface and gelation properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, *31*, 302-309. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.01.014

Zhu, Z., Zhu, W., Yi, J., Liu, N., Cao, Y., Lu, J., . . . McClements, D. J. (2018). Effects of sonication on the physicochemical and functional properties of walnut protein isolate. *Food Research International*, *106*, 853-861. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.060

The Effect of Pretreatment of Ultrasound Waves on the Functional Characteristics of Freeze-dried Egg White Powder

Mehrnoush Borhani Esfahani[1], Mohammad Goli[2]*, Majid Toghyani[3]

1- Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Department of Food Science and Technology, Laser and Biophotonics in Biotechnologies Research Center, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
* Corresponding author (M.goli@khuisf.ac.ir)
3- Department of Animal Science, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Abstract

Egg plays an important role in the food processing due to the high nutritional value, functional properties and participation in nonenzymatic browning reactions to enhance the aroma and taste of the products. In this study, the effect of ultrasound power (0, 100, 200, 300, and 400 kW) on physicochemical and functional properties such as solubility, foaming properties, emulsifying properties, water and oil absorption capacity, viscosity, and particle size of freeze dried egg white powder was investigated in a completely randomized design with a 95% confidence level. The results showed that the foaming capacity of egg white powder ultrasonicated with the power of 300 and 400 kW increased compared to the control. The emulsifying activity and foam stability of the egg white powder ultrasonicated did not change compared to the control. Ultrasound and increasing its power had no significant effect on the solubility and viscosity of egg white powder. Egg white powder particle size was reduced at higher ultrasound powers (400 kW). The highest water absorption capacity and the lowest oil absorption capacity were related to egg white powder ultrasonicated with a power of 100 kW. Overall, the use of ultrasound was effective in improving the functional properties of egg white powder. In general, the application of high power ultrasound (300 and 400 kW) increased the ability to produce foam. Increasing the ultrasound power from 100 to 400 kW caused a significant reduction in the size of egg white powder particles.

Keywords: Egg white protein, Emulsifying capacity, Foam stability, Ultrasound

© 2023, Research Institute of Food Science and Technology. All rights reserved.
This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0). To view a copy of this license, visit (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).