



Journal of Applied Research of Chemical-Polymer Engineering

journal homepage: www.arcpe.modares.ac.ir

Research Paper

Evaluation of the effects of ultrasound on the physicochemical, rheological, microbial properties and durability of yogurt

Niusha Ghaderi¹, Rajabali Ebrahimi^{2,*}

¹ Department of food industry, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

² Department of Chemistry, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran

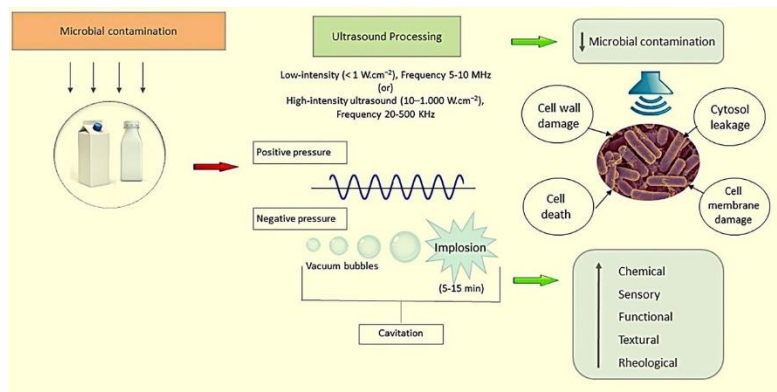
ARTICLE INFO

Received 2025-03-08
Revised 2026-05-25
Accepted 2026-05-31
Available online 2026-07-15
ISSN: 2588-5316
Online ISSN: 2588-5324

Keywords:

Yogurt shelf life
Ultrasound treatment
Physicochemical
Rheological
Microbial

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Research subject: Scientific and applied methods in preserving the properties of food materials are of great importance and lead to the creation of a product with excellent quality. Therefore, choosing the right process for producing the product is one of the important parameters. Today, many studies are being conducted on increasing the shelf life of yogurt, one of which is the effect of acoustic treatment in reducing the population of bacteria and eliminating the contaminants created. The explosion of ultrasonic bubbles in the environment is the main mechanism of this process.

Research approach: In this study, the effect of high-intensity ultrasound waves with a frequency of 20 kHz for 5 minutes and heat treatment at 72 °C for 30 minutes was evaluated and compared with the control sample on 2.5% fat yogurt. All samples were stored in a refrigerator at 4 °C for 1, 7 and 14 days and their physicochemical, rheological and microbial properties were evaluated. The yogurt samples were examined for acidity, pH, water content, viscosity and bacterial count. The last item, namely microbial evaluation, was performed by counting yogurt starter bacteria (*streptococcus thermophilus* and *lactobacillus bulgaricus*) and counting mold and yeast.

Main results: The results indicate a decrease in pH and an increase in acidity in all samples during storage in the refrigerator, while the sample with ultrasound treatment had the least changes. In the case of waterlogging after fourteen days of storage in the refrigerator, the ultrasound-treated sample exhibited the most significant change (due to cavitation and protein structure breakdown), whereas the control sample showed the least changes. The apparent viscosity of the heated sample was the highest (327.89 cp) and the ultrasonic sample was the lowest (176.55 cp). The results of microbial tests indicated a significant decrease in the number of colonies in the heat-treated sample, and mold and yeast growth were not observed in any of the samples. The results of this research can be cited and used in the food industry.

* Corresponding author: ra.ebr@iau.ac.ir – ORCID: 0000-0002-4290-8565



نشریه پژوهش‌های کاربردی مهندسی شیمی-پلیمر

آدرس صفحه: www.arcpe.modares.ac.ir

مقاله تحقیقاتی

ارزیابی اثرات فراصوت بر خواص فیزیکی-شیمیایی، رئولوژیکی، میکروبی و ماندگاری ماست

نیوشا قادری^۱، رجبعلی ابراهیمی^{۲*}

^۱ گروه صنایع غذایی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

^۲ گروه شیمی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

چکیده

موضوع تحقیق: روش‌های علمی و کاربردی در نگهداری و حفظ خصوصیات مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردارند و فراورده‌ای با کیفیت عالی را موجب می‌شوند. لذا، انتخاب فرایند مناسب برای تولید محصول از عوامل مهم می‌باشد. امروزه تحقیقات بسیاری روی افزایش ماندگاری ماست صورت می‌گیرد که یکی از آنها تاثیر تیمار صوتی در کاهش جمعیت باکتری‌ها و از بین بردن آلودگی‌های ایجاد شده است. انفجار حباب‌های فراصوتی محیط مکانیسم اصلی این فرایند است. **روش تحقیق:** در این تحقیق ارزیابی و مقایسه تاثیر امواج صوتی با شدت بالا و فرکانس ۲۰ kHz به مدت ۵ دقیقه و همچنین تیمار حرارتی با دمای ۷۲ °C به مدت ۳۰ دقیقه، بر روی ماست ۲/۵ درصد چربی انجام شد و با نمونه شاهد مقایسه گردید. همه نمونه‌ها به مدت ۱، ۷ و ۱۴ روز در دمای ۴ °C یخچال نگهداری و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، رئولوژیکی و میکروبی آنها ارزیابی شد. نمونه‌های ماست از نظر اسیدی‌بودن، pH، آب اندازی، گرانیروی و شمارش باکتریایی بررسی شدند. مورد آخر، ارزیابی میکروبی با شمارش باکتریهای آغازگر ماست (استرپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوی بولگاریکوس) و شمارش کپک و مخمر صورت گرفت.

نتایج اصلی: نتایج بیانگر کاهش pH و افزایش اسیدی‌بودن در تمامی نمونه‌ها در مدت نگهداری در یخچال است ضمن آنکه نمونه با تیمار فراصوت کمترین تغییرات را داشت. در مورد آب اندازی پس از ۱۴ روز نگهداری در یخچال، نمونه با تیمار فراصوت بیشترین و نمونه شاهد کمترین تغییر را داشتند (حفره سازی و شکست ساختار پروتئین‌ها). گرانیروی ظاهری نمونه حرارت دیده بیشترین (۳۲۷/۸۹ cp) و نمونه تحت فراصوت کمترین (۱۷۶/۵۵ cp) بود. نتایج آزمون‌های میکروبی بیانگر کاهش چشمگیر تعداد کلونی در نمونه با تیمار حرارتی نسبت به دیگر نمونه‌ها بود و در هیچ کدام از نمونه‌ها رشد کپک و مخمری مشاهده نشد. نتایج این تحقیق در صنایع غذایی قابل‌استناد و استفاده است.

اطلاعات مقاله

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۰

دسترس آنلاین: ۱۴۰۵/۰۴/۲۴

ISSN: 2588-5316

Online ISSN: 2588-5324

کلیدواژه‌ها

ماندگاری ماست

تیمار فراصوت

فیزیکی-شیمیایی

رئولوژیکی

میکروبی

* نویسنده مسئول: ra.ebr@iau.ac.ir – ORCID: 0000-0002-4290-8565

کپی‌رایت © ۲۰۲۵، نویسندگان. این مقاله به صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد. بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

۱ مقدمه

باتوجه به اهمیت مواد غذایی در تامین نیاز انسان، به‌دست‌آوردن روش‌های علمی و کاربردی در نگهداری مواد مغذی و حفظ خصوصیات آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. تنوع در مواد اولیه و شرایط عملیاتی سبب بوجود آمدن فراورده‌ای با کیفیت عالی می‌شود، به همین دلیل انتخاب فرایند مناسب برای تولید محصول یکی از عوامل مهم در دستیابی به نتیجه مطلوب است. ماست به عنوان یکی از محبوب‌ترین محصولات تخمیری به علت ارزش تغذیه‌ای بالا و مدت‌زمان نگهداری بیشتر (تا دو هفته در دمای یخچال) موردتوجه خاص است. عواملی مانند فعالیت مخمرها و باکتری‌های مایه ماست در مدت نگهداری، باعث افت کیفیت محصول و نهایتاً کاهش زمان ماندگاری آن می‌شود. باکتری‌های مایه ماست با تولید اسید لاکتیک (از تخمیر لاکتوز باقی‌مانده در ماست)، موجب اسیدی شدن آن می‌شوند [۱] که طبیعتاً با این کار مشتری پسندی محصول نیز کاهش می‌یابد. امروزه در دنیا تحقیقات بسیاری روی افزایش ماندگاری ماست صورت می‌گیرد. یکی از این تحقیقات تاثیر تیمار حرارتی روی ماست تولیدی است که به خاطر کاهش جمعیت باکتری‌های لاکتیکی محصول و همچنین ازبین‌بردن آلودگی‌های ثانویه احتمالی ایجاد شده (به‌ویژه از نوع مخمر و کپک) موردتوجه واقع شده است [۲].

از میان فراورده‌های بی‌شماری که از تخمیر شیر تولید می‌شود، ماست تنها فراورده راه یافته به سراسر دنیا است. این فراورده تخمیری با ترش شدن شیر در دمای ۴۰ تا ۴۵ °C توسط ریزاندامگان مایه ماست (استرپتوکوکوس ترموفیلوس St و لاکتوباسیلوس بولگاریکوس Lb) تولید می‌شود. این باکتری‌ها با فعالیت خود در طول مدت نگهداری در یخچال باعث اسیدی شدن محصول و کاهش کیفیت فیزیکی و چشایی آن می‌شوند. محققان علل اسیدی شدن ماست در یخچال را به فعالیت پپتیداز باکتری‌های لاکتیک اسید هم مرتبط دانسته‌اند [۳]. این افت pH همچنین با مطالعات تاراکی در سال ۲۰۰۳، کادامانی و همکاران در سال ۲۰۰۳ و زارع و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطابقت دارد [۴-۵]. فرایندهای حرارتی نیز با تاثیر چشمگیر در کاهش جمعیت باکتریایی باعث کاهش pH نمونه‌ها می‌شوند. حرارت با غیرفعال سازی باکتری‌های آغازگر ماست و آنزیم‌های آن باعث کاهش اسید لاکتیک تولیدی می‌شود [۶ و ۷]. امواج فراصوت با پدیده حفره سازی باعث تخریب ساختار سلولی باکتری‌های آغازگر محیط کشت می‌شوند [۸]. اما این کاهش به معنای سترون‌سازی و ازبین‌رفتن تمامی باکتری‌های آغازگر نیست، بنابراین فعالیت باکتری‌های باقیمانده باعث کاهش جزئی pH در طول مدت نگهداری در یخچال می‌شود [۹ و ۱۰].

آب‌اندازی یکی از ویژگی‌های ماست است که از شکستن شبکه پروتئین ماست همزده و همچنین شرایط حین آزمایش ایجاد می‌شود [۱۱]. همچنین pH اسیدی در اثر فعالیت باکتری‌های آغازگر ماست (تخمیر لاکتوز به اسید لاکتیک)، باعث انقباض شبکه پروتئینی می‌شود [۱]. سست شدن شبکه میسل‌های کازئینی موجود در ماست نیز باعث سهولت آب‌اندازی ماست می‌شود [۱۲ و ۱۳]. پیکرسازی دوباره یا برگشت ساختار در دمای یخچال از آب‌اندازی بیشتر جلوگیری می‌کند (اتصال ذرات پروتئینی با کاهش دما) [۱۳ و ۱۴]. دلایل دیگر از جمله فعالیت باکتری‌های آغازگر

ماست و تاثیر pH در شارژ الکتریکی ذرات کازئینی، باعث جداشدن مایسل‌ها و سرم شده و ارتباط مستقیم با میزان آب‌اندازی دارد [۱۵ و ۱۶]. در نمونه با تیمار حرارتی به علت شوک وارده و تغییر شکل دادن پروتئین‌ها آب‌اندازی و افت گرانشی بیشتر است [۱۷]. روند کاهش گرانشی در طول مدت نگهداری در مطالعات تاریکی در سال ۲۰۰۳ نیز گزارش [۲] و توسط ایسا در سال ۲۰۱۰ تأیید شد [۳]. از دلایل تاثیرگذار دیگر در کاهش گرانشی، فعالیت میکروبی باکتری‌های آغازگر ماست است که باکتری Lb با تحمل بیشتر در شرایط اسیدی سهم بیشتری نسبت به باکتری St در تولید اسید لاکتیک داشته، و با تاثیر بر شبکه کازئینی ماست باعث سست شدن این ساختار و کاهش گرانشی می‌شود. افزایش گرانشی در نمونه حرارت دیده به علت پیکرسازی دوباره یا برگشت ساختار [۱۱] و تجمع دوباره پروتئین‌ها در مدت نگهداری در یخچال [۱۴] است. همچنین این برگشت ساختار را می‌توان به تشکیل پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی توسط باکتری‌های آغازگر در pH پایین نسبت داد [۱۸]. Lee افت گرانشی را مشکلی در پاستوریزه کردن حرارتی عنوان کرد [۱۹]. میزان این تغییرات به شدت حرارت، pH و مدت‌زمان گرمادهی بستگی دارد [۱۷]. در حضور فراصوت علاوه بر موارد قبلی، کاهش گرانشی در اثر ازهم‌پاشیدن ساختار پروتئینی و کاهش اندازه ذرات ماست در اثر نیروهای برشی قابل توجه فراصوت است [۲۰]. با کاهش گرانشی ظاهری ماست رفتار رئولوژیک آن به حالت نیوتنی نزدیک می‌شود [۲۱] و بازگشت آن به حالت اولیه سخت و زمان‌بر است [۲۲]. تخریب ساختار پروتئینی و گلبول‌های چربی در اثر حفره‌سازی، قطر آنها را از ۲-۱۰ میکرومتر به ۱-۱۰ میکرومتر کاهش می‌دهد [۲۳]. همچنین اسیدی شدن ماست با فعالیت باکتری‌های آغازگر ماست در کاهش گرانشی آن بی‌تاثیر نیست [۱۲].

همزیستی مسالمت آمیزی در رشد و فعالیت باکتری‌های آغازگر ماست دیده می‌شود طوری که باکتری Lb مواد غذایی موردنیاز باکتری St را تولید می‌کند (اسیدهای آمینه ضروری مفید از جمله والین از تجزیه پروتئولیتیکی پروتئین ماست) و باکتری St با تولید اسید فرمیک باعث رشد و فعالیت باکتری Lb می‌شود [۲۴ و ۲۵]. تولید اسید توسط باکتری St بیشتر از Lb است، اما مقاومت کمتری نسبت به شرایط اسیدی دارد [۱] و تلفات آن نسبت به باکتری Lb با گذشت زمان بیشتر است [۲۶]. روش حرارتی با کاهش جمعیت میکروبی و دیگر آلودگی‌ها همانند کپک و مخمر باعث افزایش ماندگاری ماست می‌شود [۱۸]. دمای بهینه رشد باکتری‌های آغازگر ماست ۴۰ °C است، بنابراین در دماهای بالاتر، حرارت با تخریب ساختار سلولی و ازبین‌بردن آنزیم‌ها موجب تغییر شکل شدن پروتئین‌ها می‌شود [۲۷]. انفجار حباب‌های حفره سازی و فشار و حرارت موضعی بسیار بالا، از تعداد باکتری‌ها می‌کاهد [۲۸ و ۲۹]. فراصوت همچنین باعث ایجاد رادیکال‌های آزاد، آسیب‌رساندن به DNA، نازک شدن غشاء سلولی [۲۹] و در نهایت تخریب سلول و تغییر شکل شدن آنزیم‌ها می‌شود [۳۰]. رشد کپک و مخمرها یکی از مهمترین علل ازبین‌رفتن کیفیت ماست به شمار می‌رود که بر خلاف باکتری‌های آغازگر ماست، pH پایین اثر ناچیزی روی آنها دارد [۳۱]. حرارت یک روش ابتدایی برای کاهش فساد میکروبی و تولید محصولی ایمن است [۳۲]. فراصوت با مکانیسم مشابه بالا باعث تخریب ساختمان کپک و مخمری ماست نیز می‌شود [۸].

جدول ۱ تجهیزات به کار رفته در این پژوهش

Table 1 Equipment used in this study

Unit	Model	Country
Ultrasound	Sonopuls HD 2070	Germany
Digital pH-meter	Inolab pH 730	Germany
Viscometer	Rheomat RM100	France
Benmery	Memert	Germany
Incubator	Memert	Germany
Autoclave	Binder	Germany
Scales	Es-1000HA	Japan
Centrifuge	Hermle Z323K	Germany
Anaerobic jar	Merck	Germany

شاخص‌های ثابت در این پژوهش شامل زمان و دمای انکوبه کردن، زمان و شدت تابش فراصوت، نوع ماست و درصد چربی، درجه حرارت و زمان تیمار حرارتی، و شاخص‌های متغیر اسیدی بودن، pH، شمارش میکروبی باکتریهای لاکتیکی، ظرفیت نگهداری آب، گرانیوی ظاهری و شمارش کپک و مخمر بودند. مراحل پژوهش حاضر به صورت زیر انجام شد:

مرحله اول: تهیه نمونه شاهد ماست، برای کنترل و مقایسه نمونه‌های بعدی
مرحله دوم: تهیه نمونه حرارت‌دیده، با استفاده از حمام آب گرم ۷۲ °C و به مدت ۳۰ دقیقه

مرحله سوم: تهیه نمونه تحت تابش فراصوت ۲۰ kHz و توان ۶۰ وات و برای ۳ چرخه به مدت ۵ دقیقه

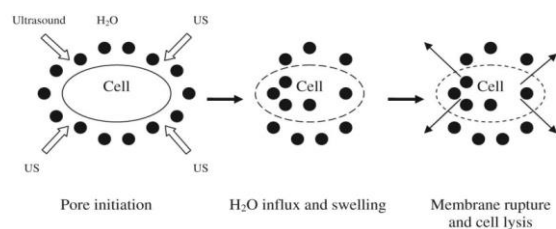
در بررسی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، pH نمونه‌ها (بعد از کالیبره کردن دستگاه با بافرهای ۴ و ۷) در دمای ۱۹ °C اندازه‌گیری شد (استاندارد ملی ۲۸۵۲). اسیدی بودن نمونه‌ها توسط تیتره کردن به روش دورنیک اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که ۱۰ گرم ماست را در ارلنی به همراه ۱۰ گرم آب مقطر در حضور ۳ قطره معرف فنل فتالین با سود ۰/۱ نرمال تیترو شد و نتیجه بر حسب مقدار اسید لاکتیک گزارش شد. در اندازه‌گیری گرانیوی از دستگاه استوانه‌ای با سرعت برشی ۷۰ استفاده شد. میزان آب اندازی با استفاده از ۱۰ گرم ماست نمونه در سانتریفیوژ با دور ۱۵۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ °C ارزیابی و ظرفیت نگهداری آب بر حسب درصدی از وزن اصلی نمونه بدست آمد (رابطه ۱):

$$\text{water launch\%} = 100 \frac{\text{initial weight} - \text{weight after filtration}}{\text{initial weight}} \quad (1)$$

خلاصه مراحل آزمایش‌های میکروبی در شکل ۲ آمده است.

فراصوت یکی از فنون نوین فراوری در صنعت غذا است که با کارایی نسبتاً ساده و مقرون به صرفه خود در بسیاری از موارد می‌تواند جایگزین مناسبی برای فرایندهای مرسوم از جمله حرارت باشد [۳۷-۳۳]. کاربرد اصلی امواج فراصوت با شدت پایین در صنایع لبنیات، تعیین ترکیبات شیر و محصولات لبنی یعنی غلظت گلبولهای چربی، مواد جامد غیرچرب و چرب و ... است [۴۰-۳۸]. سرعت و میرایی امواج فراصوت در لبنیات به ساختمان میکروسکوپی و ترکیبات آنها بستگی دارد. اندازه گیری میرایی امواج فراصوت روش غیرتخریبی مفیدی در تعیین زمان انعقاد شیر و تغییرات گرانیوی ظاهری حین انعقاد شیر است [۴۴-۴۱]. از امواج فراصوت در بررسی میزان ضایعات پنیر و تشکیل حفرات در آن هم استفاده می‌شود زیرا خواص پنیر در تعیین سرعت و میرایی فراصوت اثر می‌گذارد [۴۶ و ۴۵]. با بررسی تغییرات پالس امواج فراصوت، امکان تعیین درجه همگرایی چربی در شیر فراهم می‌شود و با اندازه‌گیری سرعت فراصوت می‌توان درجه امولسیون چربی در شیر را تعیین کرد [۴۸ و ۴۷]. ۲۰ kHz بهترین فرکانس برای غیرفعال سازی باکتری‌های آغازگر ماست است [۴۸].

امروزه باتوجه به ارزش‌های تغذیه‌ای چشمگیر این محصول، فوننی جدید با هدف تولید محصولی سالم، با کمترین اتلاف مواد مغذی و با صرفه اقتصادی بررسی می‌شوند. بنابراین یافتن فنون به‌روز برای بهبود تولید محصول بی‌عیب‌ونقصی و ماندگاری بالا دارای اهمیت است. در این پژوهش فراصوت به‌عنوان روشی جدید با هدف افزایش ماندگاری ماست مورد بررسی قرار می‌گیرد این کار با بررسی تاثیر آن در کاهش جمعیت میکروب‌های لاکتیکی ماست، کاهش بار میکروبی کپک و مخمری محصول با لحاظ تاثیرات آن بر روی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و رئولوژیکی ماست صورت می‌گیرد. برای ارزیابی بهتر این کارایی، مقایسه‌هایی هم با نمونه‌های حرارت دیده و شاهد صورت گرفته است. برپایه اطلاعات نویسنده چنین بررسی‌ای تا لحظه نگارش این مقاله انجام نشده است. شکل ۱ اثر فراصوت بر اجزای ماست و تخریب دیواره سلولی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ سازوکار تخریب سلول ماست با امواج فراصوت

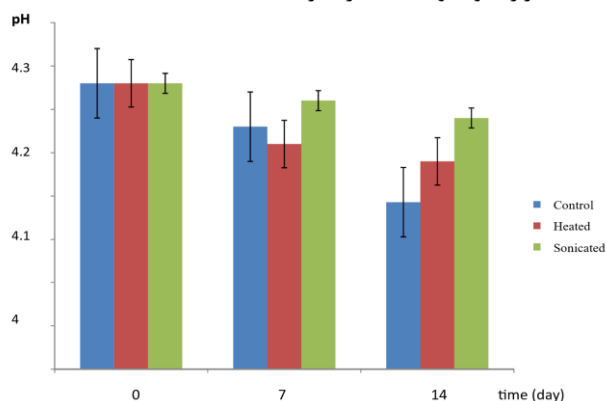
Figure 1 Mechanism of yogurt cell destruction by ultrasound waves

۲ بخش تجربی

۲-۱ مواد، تجهیزات و روش‌ها

مواد اولیه استفاده شده در این پژوهش عبارت‌اند از: آگار MRS، آگار M17، آگار گلوکز، مخمر چلورامفنیکول، قرص نمک رینگر، پودر کلرید سدیم، معرف فنل فتالین، بافر ۷ و ۱۴، همگی از کمپانی مرک آلمان، صفحه سترون شده استریل از لابترون تجهیز یاران و ماست ۲/۵ درصد چوپان از ایران. تجهیزات بکار رفته به همراه مدل و کشور سازنده در جدول ۱ آمده‌اند.

فعال) دارای کمترین و نمونه با تیمار فراصوت (با انهدام باکتری‌های مولد اسید) دارای بیشترین pH بود. بنابراین نتایج بیانگر برتری امواج فراصوت نسبت به حرارت و نمونه شاهد از نظر pH است.

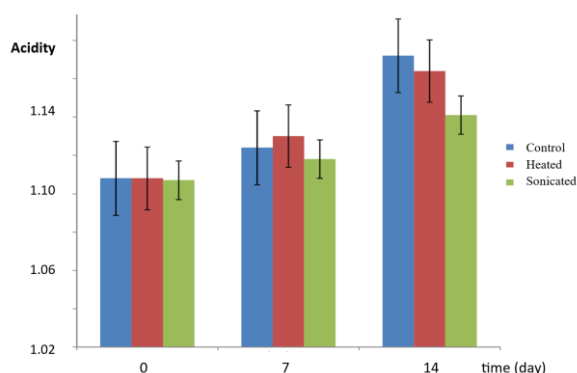


شکل ۳ تغییرات pH با گذشت زمان برای نمونه‌های شاهد، حرارت دیده و تحت تیمار فراصوت

Figure 3 pH changes over time for control, heated, and ultrasonically treated samples

۳-۲ اسیدی‌بودن

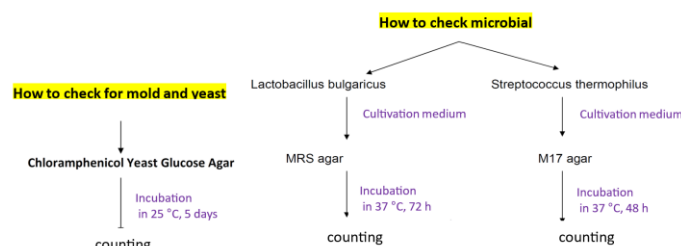
روند تغییرات این شاخص به روش تیتراژ با سود، در سه نمونه شاهد، حرارت‌دیده و تحت تیمار فراصوت در طول مدت نگهداری در دمای ۴ °C یخچال مطابق شکل ۴ و در جهت عکس تغییرات pH است.



شکل ۴ تغییرات شاخص اسیدی‌بودن در سه نمونه با گذشت زمان

Figure 4 Changes in acidity index in three samples over time

در روز هفتم و چهاردهم نگهداری، شاخص اسیدی‌بودن در هر سه نمونه با افزایش همراه بود هر چند افزایش‌ها معنی‌دار نبودند. در روز هفتم نگهداری، نمونه حرارت‌دیده تغییر بیشتر و نمونه با تیمار فراصوت تغییر کمتر داشت و از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. در روز چهاردهم، نمونه فراصوت کمترین و نمونه شاهد دارای بیشترین اسیدی‌بودن بود. عامل اصلی افزایش اسیدیته تخمیر لاکتوز به اسید لاکتیک توسط باکتری‌های آغازگر ماست است [۳]. حرارت با کاهش جمعیت باکتری‌های آغازگر ماست باعث افت اسیدی‌بودن و افزایش عمر نگهداری ماست می‌شود [۵]. در حضور فراصوت هم افزایش ناچیز بود و باکتری‌های آغازگر باقیمانده از کشتار حفره‌سازی باعث افزایش اندک در شاخص اسیدی‌بودن شدند [۸]. در اینجا هم روش فراصوت با حداقل اسیدی‌بودن مناسب‌تر بود. در مقایسه تغییرات pH با اسیدی‌بودن، همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد در هر سه نمونه این



شکل ۲ مراحل ارزیابی میکروبی نمونه ماست

Figure 2 Steps for microbial evaluation of yogurt samples

در بررسی‌های آماری، نتایج آزمایش‌های صورت گرفته در سه تکرار برای تعیین شاخص‌های متغیر در این طرح، به صورت فاکتوریل و در قالب طرحی کاملاً تصادفی CRD انجام گرفت. به منظور تعیین اختلاف معنی‌دار بین تیمارها از تجزیه واریانس یکطرفه با نرم‌افزار SPSS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون رانکین در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

۳ نتایج و بحث

ماست، شبکه پروتئینی تشکیل‌شده توسط زنجیره‌های کازئینی است که سرم و گلبول‌های چربی را در خود محبوس کرده است. هرگونه تغییر در این ساختار موجب برهم‌خوردن شبکه پروتئینی و خروج فاز سرم از شبکه می‌شود. ارزیابی کارایی امواج فراصوت در افزایش ماندگاری ماست با بررسی تاثیر آن در کاهش جمعیت میکروب‌های لاکتیکی ماست، میزان بار میکروبی کپک و مخمری محصول با لحاظ تاثیرات آن بر ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی مانند تغییر pH و اسیدی‌بودن محصول، روند آب‌اندازی و تغییرات گرانی محصول در طول زمان نگهداری هدف اصلی این مطالعه است. همچنین ارزیابی تاثیر فراصوت بر باکتری‌های آغازگر ماست (St) و (Lb) و کپک و مخمر در مقایسه با نمونه‌های شاهد و حرارتی این پژوهش را تکمیل کرده است. روند تغییر میانگین شاخص‌های فیزیکی-شیمیایی و میکروبی در سه تکرار با احتساب دامنه اطمینان ۹۵ درصد در نمونه‌های مورد بررسی (شاهد، حرارت‌دیده و تحت فراصوت) به مدت ۱، ۷ و ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ °C یخچال به شرح زیر است:

۳-۱ شاخص pH

روند تغییرات pH در سه نمونه در مدت‌زمان نگهداری در دمای ۴ °C یخچال در شکل ۳ آمده است.

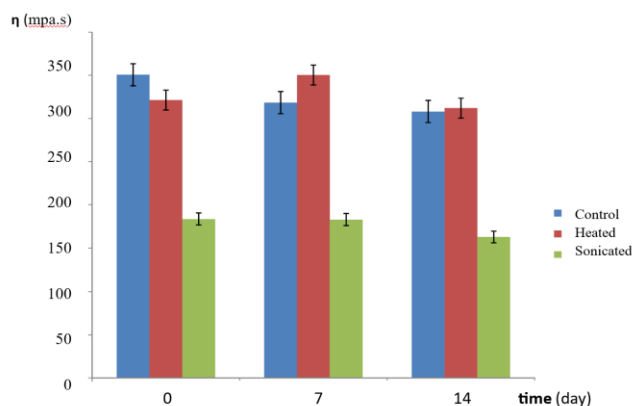
کاهش شاخص pH در نمونه شاهد به علت فعالیت باکتری‌های آغازگر ماست (St و Lb) و تبدیل لاکتوز موجود در ماست به اسید لاکتیک در محیط آبی است [۳]. فرایندهای حرارتی نیز با تاثیر چشمگیر در کاهش جمعیت باکتریایی باعث کاهش شاخص pH نمونه‌ها می‌شود. حفره‌سازی فراصوتی دیواره سلولی باکتری‌ها را تخریب و آنها را از بین می‌برد [۸]. مقایسه بین سه نمونه شاهد، حرارت‌دیده و تحت فراصوت، نشان می‌دهد که میزان شاخص pH که در هر سه نمونه در روز اول برابر بود در روز هفتم، در نمونه با تیمار فراصوت بیشترین و در نمونه حرارت‌دیده کمترین مقدار را داشت و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌ها مشاهده نشد. همچنین در روز چهاردهم نگهداری نمونه شاهد (با بیشترین تعداد باکتری آغازگر

حرارتی ماست است [۵۱]. استفاده از ماست هم‌زده در این بررسی خود تاثیر بسزایی در نحوه تغییر گرانی و آب‌اندازی دارد.

۳-۴ گرانی

تغییرات گرانی در سه نمونه در طول ۱ و ۷ و ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ °C یخچال در شکل ۷ نشان داده شده است.

گرانی در نمونه شاهد با نگهداری در یخچال اندکی کاهش یافته است در حالی که در نمونه با تیمار حرارتی در مقایسه با روز اول، در روز هفتم افزایش و در روز چهاردهم کاهش داشت و تنها نسبت به روز هفتم کاهش آن معنی‌دار بود. گرانی در نمونه با تیمار فراصوت در طول مدت نگهداری در یخچال کاهش جزئی داشت. در مقایسه سه نمونه مشاهده می‌شود که در روز اول میزان گرانی در نمونه شاهد بطور معنی‌داری بیشتر و در نمونه تحت تیمار فراصوت کمتر بوده و اختلاف معنی‌داری در روز هفتم و چهاردهم بین نمونه شاهد و حرارت دیده مشاهده نمی‌شود. رفتار رئولوژیکی ماده از روی اندازه ذرات پروتئین پخش شده در امولسیون محاسبه می‌شود [۵۲]. باتوجه به ویژگی‌های رئولوژیکی ماست (پیوندهای پروتئین - پروتئین)، شکستن ساختار پروتئینی دلیلی بر کاهش گرانی با گذشت زمان است [۵۳]. در روز هفتم نمونه تحت تیمار حرارتی دارای بیشترین گرانی با اختلاف معنی‌دار است [۵۴] که علت آن بازسازی مجدد ساختار و تشکیل شبکه ژل کازئینی عنوان شده است [۵۵]. در روز چهاردهم نگهداری دو نمونه شاهد و حرارت‌دیده دارای گرانی بالا و نمونه با تیمار فراصوت دارای مقدار کمتری بود. برخلاف آب‌اندازی، مقدار گرانی هر نمونه با گذشت زمان تقریباً ثابت ماند.



شکل ۷ تغییرات گرانی با گذشت زمان برای نمونه‌های شاهد، حرارت‌دیده و تحت تیمار فراصوت

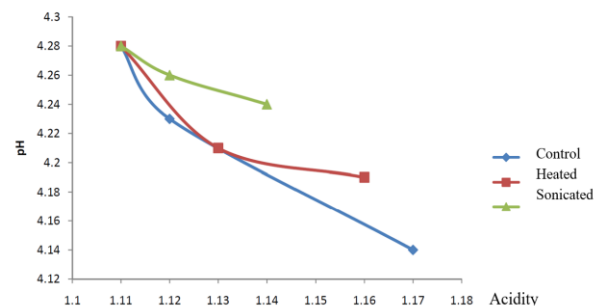
Figure 7 Viscosity changes over time for control, heated, and ultrasonically treated samples

۳-۵ ارزیابی میکروبی

روند تغییرات جمعیت باکتری‌های Lb و St در نمونه‌های شاهد، حرارت‌دیده و تیمار فراصوت در مدت زمان نگهداری در دمای ۴ °C یخچال مورد بررسی قرار گرفته که نتایج به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ آمده است.

در نمونه شاهد در روز اول نگهداری جمعیت باکتری Lb زیاد و در روز هفتم کاهش جزئی و در روز چهاردهم با اختلاف ۰/۱۸ چرخه لگاریتمی نسبت به روز اول کاهش معنی‌داری داشت. جمعیت باکتری St هم در این نمونه در

دو نسبت عکس دارند. در انتهای زمان نگهداری، نمونه شاهد دارای بیشترین تغییرات و نمونه با تیمار فراصوت کمترین تغییرات را داشت.

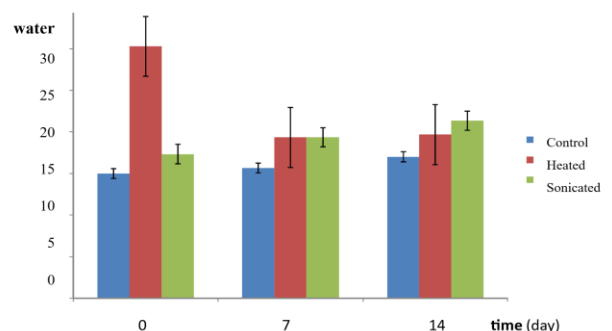


شکل ۵ مقایسه تغییرات pH با اسیدی‌بودن در سه نمونه، در روز چهاردهم نگهداری در یخچال

Figure 5 Comparison of pH changes with acidity in three samples, on the fourteenth day of refrigerated storage

۳-۳ آب‌اندازی

تغییرات میزان آب‌اندازی نمونه ماست شاهد، حرارت‌دیده و تحت تیمار فراصوت در مدت زمان نگهداری در دمای ۴ °C یخچال در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ تغییرات آب‌اندازی نمونه‌ها با گذشت زمان در طول نگهداری در یخچال

Figure 6 Changes in water content of samples over time during refrigerated storage

در نمونه شاهد میزان آب‌اندازی در روز هفتم و چهاردهم نسبت به روز اول نگهداری اندکی افزایش داشت. در نمونه حرارت‌دیده میزان آب‌اندازی در روز اول ۳۰ درصد و پس از گذشت هفت روز با اختلاف ۱۱ درصد بطور معنی‌داری کاهش و در روز چهاردهم اندکی افزایش یافت (کاهش ۱۰/۶ درصد نسبت به روز اول). دلیل این امر پیکربندی دوباره یا برگشت ساختار در دمای یخچال است [۴۹ و ۱۱]. ۳۰ دقیقه حرارت ۷۲ °C باعث تغییر شکل شدن پروتئین‌های آب پنیر می‌شود [۱۷]. در نمونه تحت فراصوت میزان آب‌اندازی در روز اول ۱۷/۳۳، در روز هفتم ۱۹/۳۳ و در روز چهاردهم نگهداری در یخچال به ۲۱/۳۳ درصد افزایش یافت که اختلاف‌ها معنی‌دار نبود. شبکه پروتئینی زنجیرهای کازئینی ماست، سرم و گلبول‌های چربی را در خود محبوس می‌کند [۵۰] که، امواج فراصوت با ضربات برشی و درهم شکستن آن، آب‌اندازی را بیشتر می‌کنند [۲۲]. در مقایسه سه نمونه، می‌بینیم که در روز اول نگهداری، آب‌اندازی در نمونه حرارت‌دیده بطور معنی‌داری بیشتر از دو نمونه دیگر است. در روز هفتم و چهاردهم نگهداری نمونه تیمار فراصوت بیشترین و نمونه شاهد کمترین مقدار آب‌اندازی را داشت. میزان بالای آب‌اندازی یکی از مشکلات اصلی پاستوریزه‌کردن

حرارت باعث تخریب ساختمان کپک و مخمری ماست می‌شود و بنابراین فنی مؤثر در غیرفعال کردن عوامل ایجاد فساد در ماست به حساب می‌رود [۵۸].

۴ نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی تاثیر امواج فراصوت بر عمر و ماندگاری ماست است. میزان تاثیرگذاری این امواج با فن حرارتی مرسوم و نمونه شاهد در مدت نگهداری در یخچال مقایسه شد. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی ماست از جمله pH، اسیدی‌بودن، آب‌اندازی و گرانروی و ویژگی‌های میکروبیولوژیکی از جمله رشد باکتری‌های آغازگر ماست (St و Lb) و کپک و مخمری مورد بررسی قرار گرفت. اسیدلاکتیک تولید شده اصلی‌ترین دلیل افزایش اسیدی‌بودن و کاهش pH در ماست است. نمونه شاهد دارای بیشترین اسیدی‌بودن، کمترین pH و بالاترین فعالیت میکروبی بود. pH و اسیدیته با تیمار فراصوت تغییر کمتری نسبت به نمونه شاهد و حرارت دیده داشت که در ترش نشدن زودهنگام این محصول و مشتری‌پسندی آن مهم است. نمونه حرارت‌دیده هم از این جنبه برتری به نمونه شاهد داشت. در مطالعه آب‌اندازی، نمونه با تیمار فراصوت بیشترین (پدیده حفره‌سازی) و نمونه شاهد کمترین مقادیر را داشتند. گرانروی نمونه با تیمار فراصوت نیز کمتر از دو نمونه دیگر در مدت نگهداری بود و نمونه با تیمار حرارتی و شاهد تقریباً مقادیر یکسانی داشتند. در مورد نحوه اثرگذاری بر روی ویژگی‌های میکروبی، نمونه با تیمار حرارتی دارای کمترین میزان رشد میکروبی در طی مدت نگهداری بوده بعد از آن نمونه با تیمار فراصوت از شاهد بهتر بود. در مجموع، نمونه حرارت‌دیده دارای بازده بالاتری نسبت به نمونه با تیمار فراصوت بوده است. در ادامه این پژوهش تحقیقات زیر در بررسی افزایش ماندگاری ماست می‌تواند انجام شود: بکارگیری امواج فراصوت به همراه حرارت Thermosonication، به همراه فشار Manosonication و به همراه فشار و حرارت Manothermosonication. استفاده از دماهای بالاتر، مواد افزودنی پایدارکننده برای جبران گرانروی، ماست‌های دیگر مانند پروبیوتیک و پاستوریزه، ارزیابی حسی ماست و مقایسه با دیگر تابش‌ها مانند اشعه UV.

قدردانی نویسندگان

نویسندگان این پژوهش مراتب قدردانی خود را بابت دسترسی به امکانات آزمایشگاه‌های دانشگاه آزاد واحد قزوین و واحد تاکستان ابراز می‌دارند.

تعرض منافع

برای نویسندگان تعارض منافی وجود ندارد.

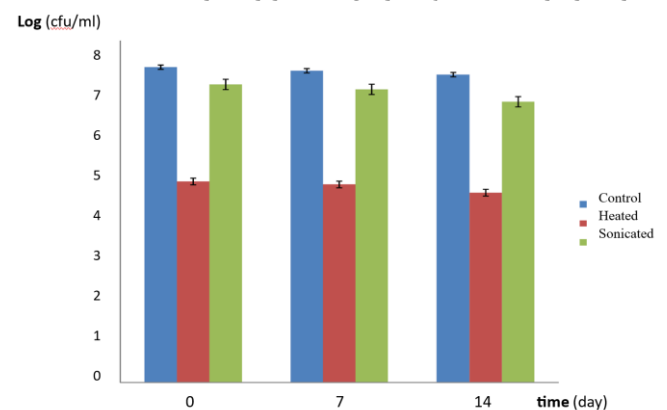
سهم نویسندگان

خانم نیوشا قادری، به عنوان پژوهشگر اصلی (انجام تمام آزمایشها و نگارش پایان‌نامه)، با سهم ۷۵٪ و آقای رجبعلی ابراهیمی به عنوان مشاور (نگارش کامل مقاله)، با سهم ۲۵٪ در این پژوهش سهم داشته‌اند.

منابع مالی

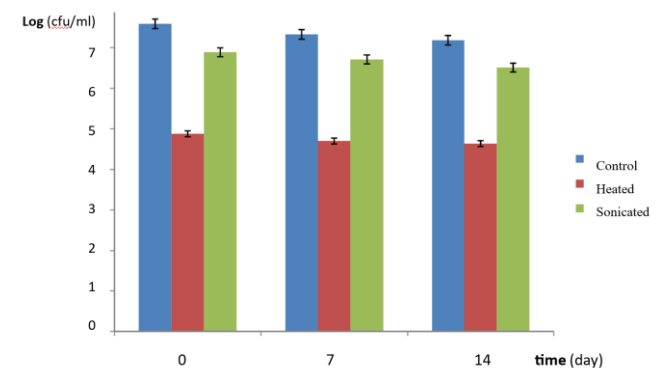
از منابع مالی در انجام این پژوهش استفاده نشده است.

روز هفتم نگهداری با کاهش ۰/۲۶ چرخه لگاریتمی و در روز چهاردهم ۰/۴۰ چرخه لگاریتمی کاهش معنی‌داری نسبت به روز اول داشت. در نمونه حرارت دیده تعداد کلونی‌های هر دو باکتری Lb و St در روز هفتم نگهداری نسبت به روز اول کاهش معنی‌داری نداشت و این روند کاهش تا روز چهاردهم نیز ادامه داشت. در نمونه‌های با تیمار فراصوت هم جمعیت باکتری‌ها در روز هفتم و چهاردهم کاهش معنی‌داری نسبت به روز اول نداشت. در مقایسه سه نمونه، جمعیت باکتری Lb در هر سه نمونه روند کاهشی داشت. در روز اول تعداد کلونی‌ها در نمونه شاهد بیشتر و در نمونه حرارت دیده کمتر بود و این روند در روزهای هفتم و چهاردهم نگهداری تکرار شد. این کاهش در اثر فعالیت متابولیکی باکتری‌های آغازگر ماست، کاهش مواد غذایی و افزایش اسیدی‌بودن تخمیر لاکتوز باقیمانده است که باعث ازبین‌رفتن باکتری‌ها می‌شود [۵۶]. نمونه با تیمار حرارتی دارای کمترین جمعیت باکتری در هر سه حالت بوده، از این لحاظ برتری دارد [۵۷].



شکل ۸ تغییرات جمعیت میکروبی لاکتوباسیلوس بولگاریکوس Lb نسبت به گذشت زمان در یخچال

Figure 8 Changes in the microbial population of *Lactobacillus bulgaricus* Lb over time in the refrigerator



شکل ۹ تغییرات جمعیت میکروبی استرپتوکوکوس ترموفیلوس St نسبت به گذشت زمان داخل یخچال

Figure 9 Changes in the microbial population of *Streptococcus thermophilus* St over time inside the refrigerator

۳-۶ ارزیابی رشد کپک و مخمر

در طی کلیه مراحل در نمونه‌های شاهد، حرارت دیده و تحت تیمار فراصوت هنگام نگهداری در یخچال هیچ‌گونه رشد کپک و مخمری مشاهده نشد. تیمار حرارتی با غیرفعال‌سازی کپک و مخمر باعث عمر طولانی ماست می‌گردد. فراصوت با متلاشی‌شدن حباب‌های حفره‌سازی و ایجاد فشار و

بیانیه هوش مصنوعی

در ویرایش این مقاله از هوش مصنوعی استفاده نشده است.

مراجع

- Macchione, M.M., and Viotto, W.H., stability of a long-life drinking yoghurt. State University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2008.
- Lee, W.J., and Lucy, J.A., Impact of gelation conditions and structural breakdown on the physical and sensory properties of stirred yogurts. *J Dairy Sci.* (89) 2374-2385, 2006.
- Zisu, B., and Shah, P.N., textural and functional changes in low-fat mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. *Int Dairy J.* 15, 957-972, 2005.
- Arzeni, C., Martinez, K., Zema, P., Arias, A., Pérez, O.E., and Pilosof, A.M.R., Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J Food Eng.* 108, 463-472, 2012.
- Zisu, B., Schleyer, M., and Chandrapala, J., Application of ultrasound to reduce viscosity and control the rate of age thickening of concentrated skim milk. *Int Dairy J.* xxx 1-3, 2012.
- Shanmugam, A., Chandrapala, J., and Ashokkumar, M., The effect of ultrasound on the physical and functional properties of skim milk. *Innovative Food Sci Emerging Tech.* 2012.
- Zhang, R., Jia, W., Shu, J., Zou L., and Shi, L., flavor experiences augmentation strategy for fermented dairy products: perspective of multimodal perception, starter and enhancer, and processing. *Food Rev Int.* 40:8, 2227-2255, 2024.
- Gilliland, S.E. Health and nutritional benefits from lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Letters*, 87: 175-188, 1990.
- Shah, N.P., Probiotic bacteria: Selective enumeration and survival in dairy foods. *J Dairy Sci.* 83: 894-907, 2000.
- Gavin, M., XVII Int Dairy Congress, EIF, 663, 1966.
- Ebrahim R., and Rezanejade Bardajee Gh., Sonochemical synthesis and swelling behavior of Fe₃O₄ nanocomposite based on poly (acrylamide-co-acrylic acid) hydrogel for drug delivery application, *j pol Res.* 28 (2), 1-12, 2021.
- Chandrapalaa, J., Oliverb, C., Kentishc, S., and Ashokkumar, M., Ultrasonics in food processing – Food quality assurance and food safety. *Trends in Food Sci Tech.* 26, 88-98, 2012.
- Gurram, S.R., Ralph, P., Cavalieri, Clark, C.S., Swanson, B.G., and Gustavo, V., Effect of storage on the rheological characteristics and viability of probiotics of stirred yogurt manufactured with sonicated starter cultures. Barbosa-Cánovas, 2011.
- Renan, M., Arnoult-Delest, V., Paquet, D., Brule, G., and Famelart, M.H., Changes in the rheological properties of stirred acid milk gels as induced by the acidification procedure. *Dairy Sci Tech.* 88 341-353, 2008.
- Corredig, M., and Dalgleish, D.G., The mechanisms of the heat-induced interaction of whey proteins with casein micelles in milk. *Int. Dairy J.* 9(3-6), 233-236, 1999.
- Timothy J. Mason, Mircea Vinatoru, sonochemistry, fundamentals and evolution, *DE GRUYTER*, 2023.
- Ebrahimi R., The study of factors affecting the swelling of ultrasound-prepared hydrogel, *Polym. Bull.* 76:1023-1039, 2019.
- Patist, A., and Bates, D., Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. *Innovative Food Sci Eng Tech.* 9, 147-154, 2008.
- Ebrahimi R., radiation initiated synthesis, characterization, and swelling behavior of poly (acrylic acid-co-acrylamide)/starch grafted hydrogel, *j App Pol Sci.* 138 (37), 50931-8, 2021.
- El-Nawasany, L.I., Al-Jahani, G.M., and Kadoum, L.A., Effect of ultrasonic on the chemical composition of stirred yoghurt supplemented with orange peel powder. *Food Measure*, 17, 6289-6297, 2023.
- Kentish, S., and Ashokkumar, M., The physical and chemical effects of ultrasound technologies for food and bioprocessing. New York: Springer. (1-12), 2011.
- Tamime, A.Y., and Robinson, R.K., Yoghurt Science and Technology, 2nd ed., Woodhead Publishing, Cambridge, 66-71, 1999.
- Octavio, M., Sucre, R., Fernando, J., and Ruiz, V., Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt, *Food Sci Tech*, 51, 233-241, 2013, doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.014.
- Eissa, E.A., Mohamed Ahmed, I.A., Yagoub, A.E.A., and Babike, E.E., Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of yoghurt produced from goat milk. *Livestock Research for Rural Development*, 22, 2026, lrrd.org/lrrd22/8/eiss22137.htm.
- Al-Kadamanya, E., Khattarb, M., Haddad T., and Toufeili, I., Estimation of shelf-life of concentrated yogurt by monitoring selected microbiological and physicochemical changes during storage. *Lebensm-Wiss. U.-Technol. Food Sci Tech.* 36, 407-414, 2003.
- Zare, F., Boye, J.I., Orsat, V., Champagne, C., and Simpson, B.K., Microbial, physical and sensory properties of yogurt supplemented with lentil flour. *Food Res Int.* 44, 2482-2488, 2011.
- Driessen, F.m., In Fermented Milks. Doc. No. 179, International Dairy Federation, Brussels, 107-115, 1984.
- Vargas, M., Cháfer, M., Albors, A., Chiralt, A., and González-Martínez, C., Physicochemical and sensory characteristics of yoghurt produced from mixtures of cows' and goats' milk. *Int Dairy J.* 18, 12, 1146-1152, 2008.
- Chemat, F., Huma, Z.M., and KamranKhan, M., Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem.* 18, 813-835, 2011.
- Bermudez-Aguirre, D., Mobbs, T., and Barbosa-Canovas, G. V., Ultrasound applications in food processing. In H. Feng, G. V. Barbosa-Canovas, & J. Weiss (Eds.), Ultrasound technologies for food and bioprocessing, 65-105, 2011.
- Paskov, V., Karsheva, M., and Pentchev, I., effect of starter culture and homogenization on the rheological properties of yoghurts. *J the University of Chem Tech Metallurgy*, 45, 1, 59-66, 2010.
- Renan, M., Guyomarc'h, F., Arnoult-Delest, V., Pa'quet, D., Brule, G., And Famelart, M.H., Rheological properties of stirred yogurt as affected by ge; ph on stirring, storage temperature and pH changes after strin. *Int Dairy J.* 19, 142-148, 2009.
- Martin, N.C., Skokanova, J., Latrille, E., Beal, C., and Corrieu, G., Influence of fermentation and storage conditions on the sensory properties of plain low fat stirred yogurts. *J Sensory Studies.* 14: 139-160, 1999.
- Harwalkar, V.R., and Kalab, M., Relationship between microstructure and susceptibility to syneresis in yogurt made from reconstituted nonfat dry milk. *Food Microstructure.* 53: 247-251, 1986.
- Sodini, I., Remeuf, F., Haddad, S., and Corrieu, G., *Critical Reviews in Food Sci Nutrition*, 44: 113-137, 2004.
- Van Mrle, M.E., Structure and rheological properties of yogurt gels and stirred yogurts. Ph.D thesis of Twente, Enschede, Netherlands, 1998.
- Zoon, P., and Van Marle, M.E., Relation between the consistency of stirred yogurt and the structure of the yogurt gel. In: Texture of fermented milk products and dairy desserts. Int Dairy Federation, Brussels, Belgium, 122-127, 1998.
- Law, A.J.R., and Leaver, J., Effect of pH on the thermal denaturation of whey proteins in milk. *J Agric Food Chem.* 48, 672-679, 2000.

57. Vinderola, C.G., Mocchiutti, P., and Reinheimer J.A., Interactions among lactic acid starter and probiotic bacteria used for fermented dairy products, *J Dairy Sci.* 85, 721-9, 2002.
58. Villamiel, M., and Jong, P., Inactivation of pseudomonas fluorescens and streptococcus thermophilus in trypticase soy broth and total bacteria in milk by continuous-flow ultrasonic treatment and conventional heating. *J Food Eng.* 45, 171-179, 2000.
39. Zbigniew, J., Owski, D., Stadnik, J., and Stasiak, D., applications of ultrasound in food technology. *Acta Sci Pol Tech Aliment.* 6(3), 89-99, 2007.
40. Cristina-Soria, A., and Villamiel, M., Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review, *Trends in Food Sci Tech.* 21, 323-331, 2010.
41. Chávez-Martínez, A., Reyes-Villagrana, R.A., Rentería-Monterrubio, A.L., Sánchez-Vega, R., Tirado-Gallegos, J.M., and Bolívar-Jacobo, N.A., low and high-intensity ultrasound in dairy products: applications and effects on physicochemical and microbiological quality. *Foods*, 9, 1688, 2020.
42. Zisu, B., Bhaskaracharya, R., Kentish, S., and Ashokkumar, M., Ultrasonic processing of dairy systems in large scale reactors. *Ultrason Sonochem.* 17, 1075–1081, 2010.
43. Sfakianakis, P., and Tzia, C., Yogurt from ultrasound treated milk: monitoring of fermentation process and evaluation of product quality characteristics, *Agricultural Food Sci.* 2011.
44. Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, J.G., The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chem.* 114, 905–911, 2009.
45. Chouliara, E., Georgogianni, K.G., Kanellopoulou, N., and Kontominas, M.G., Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk. *Int Dairy J.* 20, 307–313, 2010.
46. Ashokkumar, M., Muthukumaran, S., Yang, K., Seuren, A., Kentish, S., Stevens, G.W., and Grieser, F., The use of ultrasonic cleaning for ultrafiltration membranes in the dairy industry. *Separation Purification Tech.* 39, 1–2, 99-107, 2004.
47. Delgado, A., Vieira, C., Dammak, I., Frasso, B., Brígida, A., Costa, M., and Conte-Junior, C. different ultrasound exposure times influence the physicochemical and microbial quality properties in probiotic goat milk yogurt. *Molecules*, 25, 4638, 2020.
48. Awad, T.S., Moharram, H.A., Shaltout, O.E., Asker, D., and Youssef, M.M., Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Res Int.* 48, 410–427, 2012.
49. Luis M. Carrillo-Lopez, Ivan A. Garcia-Galicia, Juan M. Tirado-Gallegos, Rogelio Sanchez-Vega, Mariana Huerta-Jimenez, Muthupandian Ashokkumar, and Alma D. Alarcon-Rojo, Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties, *Ultrason Sonochem.* 73, 105467, 2021.
50. Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, J.G., A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chem.* 119, 1108–1113, 2010.
51. Amarayakul, T., Halmos, A.L., Sherkat, F., and Shah, N.P., Physical characteristics of yogurts made using exopolysaccharide-producing starter cultures and varying casein to whey protein ratios. *Int Dairy J.* (16)40-51, 2006.
52. Fadela, C., Abderrahim, C., and Ahmed, B., Physico-chemical and rheological properties of yoghurt manufactured with ewe's milk and skim milk. *African J Biotech.* 8 (9), 1938-1942, 2009.
53. Vildan Akdeniz, and Ayşe Sibel Akalın, Power ultrasound affects physicochemical, rheological and sensory characteristics of probiotic yoghurts, *Int Dairy J.* 137, 105530, 0958-6946, 2023.
54. Van Vliet, T., and Walstra, P., Water in casein gels: How to get it out or keep it in. *J Food Eng.* 22, 75–88, 1994.
55. Lucey, J.A., Chapter 16, Milk protein gels, 599-632, doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00016-5, 2020.
56. Everett, W.D., and McLeod, E. R., Interactions of polysaccharide stabilizers with casein aggregates in stirred skim milk yogurt. *Int Dairy J.* 15, 1175-1183, 2005.