دوازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
12th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

کاربرد فرآیندهای غیرحرارتی در صنایع غذایی

ماهر پای مزد[۱]، محمد امین میری[۲]

[۱] دانشجوی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه زابل maherpaymozd@gmail.com

[۲] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی ،دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل ma.miri@uoz.ac.ir

چکیده

غذا در طول فرآیندها تحت فرآیندهای حرارتی مختلفی قرار می‌گیرد تا ماندگاری آن افزایش یابد. امّا این فرآیندهای حرارتی ممکن است منجر به بدتر شدن کیفیت غذایی و حسی غذا شود. با تغییر سبک زندگی مردم در سراسر جهان، نیازهای غذایی آن‌ها نیز تغییر کرده است. تقاضای مصرف‌کنندگان امروزی برای غذای پاک و ایمن بدون به خطر انداختن کیفیت غذایی و حسی غذا است. این امر توجه متخصصان مواد غذایی را به سمت توسعه فناوری‌های غیر حرارتی که سبز، ایمن و سازگار با محیط زیست هستند، معطوف کرد. در فرآوری غیرحرارتی، غذا در دمای نزدیک به اتاق پردازش می‌شود، بنابراین هیچ آسیبی به غذا وارد نمی‌شود، زیرا برخلاف پردازش حرارتی غذا، مواد مغذی حساس به حرارت در غذا دست نخورده هستند. این فناوری‌های غیرحرارتی را می‌توان برای درمان انواع مواد غذایی مانند میوه‌ها، سبزیجات، حبوبات، ادویه‌ها، گوشت، ماهی و غیره مورد استفاده قرار داد.

واژه‌های کلیدی

فرآیندهای غیر حرارتی، فراصوت، میدان‌های الکتریکی پالسی، فشار هیدرواستاتیک بالا

۱. مقدمه

فرآیندهای غیرحرارتی که به‌عنوان فناوری‌های ارزش افزوده شناخته می‌شوند، در چند دهه گذشته به‌عنوان جایگزین‌های پایدار برای فرآوری مواد غذایی متعارف، از طریق کاهش مستقیم مصرف انرژی و آب در طول پردازش، و همچنین با کاهش تأثیر انرژی در طول ذخیره‌سازی، اهمیت پیدا کرده‌اند. اثرات غیرمستقیم پردازش غیرحرارتی نیز قادر است به کاهش ضایعات جامد و ارزش‌گذاری منابع زیست توده کمک نماید [1,2]. تأثیرات غیرمستقیم فرآوری غیرحرارتی بر پایداری فرآوری مواد غذایی می‌تواند حتی بزرگ‌تر از تأثیرات مستقیم باشد، زیرا ضایعات مواد غذایی، استفاده نامناسب از محصولات جانبی/بقایای فرآوری و کاهش کیفیت غیرضروری در زنجیره تأمین، ناکارآمدی‌های عمده در بخش تولید مواد غذایی هستند [3]. در ادامه به ارائه کاربرد برخی از فرآیندهای غیرحرارتی در صنایع غذایی پرداخته شده است.

۲. فشار هیدرواستاتیک بالا

درمان توسط فشار هیدرواستاتیک بالا شامل قرار دادن محصول (مایع یا جامد) در یک ظرف تحت فشار پر از انتقال دهنده فشار (به‌طورکلی آب در کاربردهای غذایی) است که توسط یک پمپ فشرده می‌شود. بر اساس اصل پاسکال یا ایزواستاتیک، فشار هیدرواستاتیک به‌طور یکنواخت و بلافاصله از طریق انتقال‌دهنده فشار به نمونه منتقل می‌شود. یکی از مزایای عمده این فناوری در مقایسه با عملیات حرارتی این است که تأثیر فشار به اندازه و هندسه محصولات وابسته نیست. فشرده سازی آدیاباتیک برگشت‌پذیر است و حدود ۳ درجه سانتی‌گراد در هر ۱۰۰ مگاپاسکال برای بیشتر غذاها تخمین زده می شود و برای محصولات پرچرب می‌تواند به ۸-۹ درجه سانتی گراد در هر ۱۰۰ مگاپاسکال برسد [4]. از این‌رو، پس از آزاد شدن فشار، محصول به دمای اولیه خود باز می‌گردد [4]. سه پارامتر پردازشی که یک فشار هیدرواستاتیک بالا را مشخص می‌کند دما، فشار و زمان قرار گرفتن در معرض است. به‌طورکلی، در منطقه نگهداری مواد غذایی، سطوح فشار بین ۱۰۰ تا ۸۰۰ مگاپاسکال، در دمای ملایم (۴ تا ۲۰ درجه سانتیگراد)، از چند ثانیه تا چند دقیقه اعمال می‌شود [5]. در صنایع غذایی، مخازن تصفیه معمولاً دارای حجم داخلی بین ۵۰ تا ۵۲۵ لیتر هستند. اثربخشی فشار بالا (HP) بر روی سیستم‌های بیولوژیکی توسط اصل Le Chatelier کنترل می‌شود، که بیان می‌کند فشار به نفع هر پدیده‌ای (واکنش، انتقال و ...) است. با کاهش حجم همراه است و از موارد مرتبط با افزایش حجم جلوگیری می‌کند. به‌دلیل تراکم‌پذیری پایین پیوندهای کووالانسی در مقایسه با پیوندهای انرژی ضعیف، مولکول‌های با وزن مولکولی کم مانند ترکیبات معطر، ویتامین‌ها و مواد معدنی به‌ندرت تحت تأثیر فشار بالا قرار می‌گیرند، درحالی‌که درشت مولکول‌ها مانند پروتئین‌ها و نشاسته می‌توانند ساختار اصلی خود را تغییر دهند [5]. از نظر تاریخی، فشار هیدرواستاتیک بالا عمدتاً برای نگهداری مواد غذایی به‌کار می‌رفتند، اما کاربردهای امیدوارکننده جدیدی در زمینه‌های مواد غذایی یا بیوتکنولوژی در چند سال گذشته مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. Barba و همکاران (۲۰۱۵) مروری بر پتانسیل‌های کاربردهای جدید فشار هیدرواستاتیک بالا ارائه می‌کند که شامل: (الف) بازیابی ترکیبات مرتبط با سلامت، (ب) بهبود ویژگی‌های امینی غذاها از طریق افزایش فراهمی زیستی ریزمغذی‌ها و فیتوکمیکال‌ها، (ج) کاهش پتانسیل آلرژی‌زایی، (د) حفظ چربی‌های سالم، (ه) کاهش مصرف نمک با افزایش درک شوری، و (ز) کاهش تشکیل آلاینده‌های فرآوری شده [6].

کیفیت مواد غذایی فرآوری شده با فشار هیدرواستاتیک بالا از نظر اجزای غذایی، حسی و بافت عالی است زیرا غذا برای مدت زمان بسیار کوتاهی در معرض شرایط درمان قرار می‌گیرد [7]. مشخص شده است که فرآیند فشار هیدرواستاتیک بالا در برابر یوکاریوت‌ها، باکتری-های گرم منفی، تک یاخته‌ها و انگل‌ها موثرتر از مخمر و کپک است که در فشار بسیار بالاتر غیرفعال می‌شوند [8]. فشار ۴۵۰-۳۵۰ مگاپاسکال برای غیرفعال کردن باکتری‌های گرم منفی، مخمر و کپک در دمای اتاق کافی است، اما برای غیرفعال کردن باکتری‌های گرم مثبت، فشار بیش از ۱۱۰۰ مگاپاسکال لازم است [9]. فشار بالا منجر به آسیب به غشای سلولی سلول‌های میکروبی می‌شود که نفوذپذیری دیواره سلولی میکروبی و غشاها را تغییر می‌دهد. ساختار پروتئین پیچ خورده شکسته می‌شود و آنزیم‌های سلول میکروبی تخریب می‌شوند که مسیرهای متابولیک را تغییر می‌دهند. در نهایت، سلول میکروبی می‌میرد و منجر به کاهش جمعیت میکروبی در غذا می‌شود [10].

۳. میدان‌های الکتریکی پالسی

توانایی غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها را با کمترین تأثیر بر ویژگی‌های تغذیه‌ای، طعم و عملکرد محصولات غذایی به دلیل عدم وجود گرما ارائه می‌دهد. فناوری میدان‌های الکتریکی پالسی مبتنی بر استفاده از پالس‌های ولتاژ بالا (معمولاً ۸۰-۲۰ کیلوولت بر سانتی‌متر) است که به محصولی که بین یک جفت الکترود قرار می‌گیرد که شکاف درمان محفظه میدان‌های الکتریکی پالسی را محدود می‌کند، تحویل داده می‌شود. شدت میدان زیاد از طریق ذخیره مقدار زیادی انرژی در یک بانک خازن (یک سری خازن) از منبع تغذیه جریان مستقیم حاصل می‌شود که سپس به شکل پالس‌های ولتاژ بالا تخلیه می‌شود [11]. پالس ناشی از تخلیه انرژی الکتریکی از خازن برای مدت زمان بسیار کوتاهی (۱۰۰-۱ میکروثانیه) از مواد غذایی عبور می‌کند و می‌تواند در دمای متوسط کمتر از ۱ ثانیه هدایت شود [12]. هنگامی‌که غذا در معرض پالس‌های الکتریکی با شدت بالا قرار می‌گیرد چندین رویداد مانند گرمایش مقاومتی [13]، الکترولیز [14] و اختلال در غشای سلولی [15] می تواند رخ دهد که به غیر فعال کردن میکروارگانیسم‌ها بی‌انجامد، تئوری‌های متعددی برای تخریب سلول‌های باکتریایی توسط میدان‌های الکتریکی پالسی وجود دارد، که به توصیف غشای سلولی (الکتروپوراسیون) می‌پردازد که بر عملکرد آن تأثیر می‌گذارد و ممکن است منجر به مرگ سلول شود [12,16]. فناوری میدان‌های الکتریکی پالسی عمدتاً برای نگهداری مایعات قابل پمپاژ یا غذاهای نیمه مایع در نظر گرفته شده است [17] به‌ویژه می‌توان از آن برای بهبود ماندگاری شیر [18,19]، سوپ‌های نخود سبز [20]، تخم مرغ کامل مایع [21,22] و آب میوه‌ها [23,24] استفاده کرد.

۴. فناوری اشعه ماوراء بنفش پالسی

فناوری اشعه ماوراء بنفش پالسی یکی از محبوب‌ترین فناوری‌های غیرحرارتی در بخش فرآوری مواد غذایی است. به‌دلیل ماهیت اقتصادی آن، در مقیاس آزمایشی برای غیرفعال کردن میکروب‌ها نیز آزمایش می شود. مطالعه اخیر توسط Fenoglio و همکاران (۲۰۲۰) در مقیاس آزمایشی غیرفعال سازی میکروب‌های بیماری‌زا نشان داد که شدت UV-C با ۳۹۰ mJ/cm^2 منجر به غیرفعال شدن باکتری‌های بیماری‌زا در آب میوه‌ها می شود [25]. مطالعات مشابهی در مورد غیرفعال شدن میکروارگانیسم‌ها در آب میوه ها در آب سیب [26]، آب پرتقال [27] و آب طالبی [28] گزارش شده است. غیرفعال‌سازی اشعه ماوراء بنفش نیز به‌طور گسترده برای غیرفعال کردن میکروب‌های موجود در شیر و فرآورده‌های شیر استفاده می‌شود [29]. اشعه ماوراء بنفش نیز اثرات مفیدی بر خواص شیمیایی و فیزیکی غذا نشان می‌دهد. Kumar و همکاران (۲۰۲۰) نشان داند که تابش UV-C با ۲۵۴ نانومتر قادر به افزایش خواص فیزیکی و شیمیایی پروتئین گندم است. بنابراین می‌توان از آن برای کاربردهای زیادی در صنایع غذایی استفاده کرد [30]. مطالعات اخیر نشان داده است که درمان با اشعه ماوراء بنفش میوه‌ها و سبزیجات تازه (پس از برداشت) نه تنها منجر به غیرفعال شدن میکروبی می‌شود، بلکه محتوای آنتی‌اکسیدانی را نیز افزایش می‌دهد و فعالیت آن را افزایش می‌دهد [31]. فناوری اشعه ماوراء بنفش همچنین برای کاهش سموم در غذا استفاده می‌شود [32]. با اثرات مثبت بسیاری بر روی مواد غذایی، مطالعاتی در مقالات گزارش شده است که نشان می‌دهد درمان با شدت بالا UV می‌تواند منجر به کاهش رنگ غذا شود و بر بافت مواد غذایی جامد تأثیر نامطلوبی بگذارد [33]. همه محصولات غذایی دارای بافت‌های متفاوت با سطوح ناهموار و زبر هستند، بنابراین توانایی اشعه در رسیدن به داخل مواد غذایی ممکن است کاهش یابد و کارایی فرآیند غیرفعال‌سازی کاهش یابد. بنابراین، برای افزایش کارایی فرآیند و دستیابی به غیرفعال سازی بیشتر، معمولاً با سایر فرآیندهای غیر حرارتی ادغام می‌شوند یا از عوامل ضدباکتریایی به‌صورت همزمان با درمان UV استفاده می‌شود [34,35]. به‌دلیل عملکرد ساده‌ای که دارد، UV یکی از فناوری‌های تثبیت شده پردازش غیرحرارتی است که توسط صنایع تبدیلی مواد غذایی برای تولید مواد غذایی با ماندگاری طولانی‌تری اتخاذ شده است. اگر این فرآیند با سایر فرآیندها همراه شود تا تغییرات مورد نظر را ایجاد کند، تأثیر اشعه ماوراء بنفش می‌تواند تشدید شود [36].

۵. پرتودهی

پرتودهی بیشتر در بخش فرآوری مواد غذایی برای نگهداری محصولات غذایی به‌کار می‌رود. در برابر میکروب‌های بیماری‌زا از جمله *E. coli*، *Staphylococcus* و *Salmonella* موثر است [37,38]. تغییر شدت تابش اثرات شدیدتری بر غیرفعال شدن میکروب‌ها در غذا نشان می‌دهد. از پرتودهی در نگهداری چند روزه گوشت نیز استفاده می‌شود. جوجه آماده برای طبخ نگهداری شده به مدت ۱۵ روز تحت تیمار پرتوهای گاما با شدت ۰، ۱،۵، ۳ و ۴،۵ KGy نتایج عالی برای غیرفعال کردن *L. monocytogenes*، *E. coli* و *Salmonella typhimurium* نشان داد. مرغ آماده مصرف حتی پس از ۱۵ روز نگهداری، ویژگی‌های حسی و بافتی خوبی از خود نشان داد [39]. فناوری پرتودهی همچنین با غیرفعال کردن میکروب‌هایی که باعث بیماری‌های منتقله از غذا می‌شوند، کیفیت مواد غذایی و تازه نگه‌داشتن غذا را افزایش می‌دهد [40]. مشخص شده است که استفاده از اسکن پرتودهی در صورت درمان با دوزهای پرتودهی بالا منجر به برخی تغییرات نامطلوب در مواد غذایی می‌شود که بیشتر در غذاهایی مانند گوشت دیده می‌شود که رنگ و چربی آن عوامل اصلی تعیین کننده هستند و تغییر جزئی در رنگ و چربی ممکن است منجر به عدم پذیرش مصرف‌کنندگان شود [41]. بنابراین برای دستیابی به غیرفعال‌سازی مطلوب در مواد غذایی بدون تغییر یا تغییرات کم در ترکیب غذا و فرآورده‌های غذایی فرآوری شده، پرتودهی معمولاً با دوز پایین انجام می‌شود و اثر تابش با استفاده از عوامل ضدمیکروبی ترکیب می‌شود [42]. تابش با موفقیت برای دستیابی به غیرفعال‌سازی میکروبی، مانند بار میکروبی در ماکارونی تازه [43] و برای افزایش خواص فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی، مانند گندم [44]، سیر [45]، آب انگور [46]، میوه ترنجبین [47]، آب سیب [48] و غیره استفاده می‌شود. علیرغم مزایای فراوان فناوری پرتودهی عمدتاً در نگهداری مواد غذایی، به دلیل درک نادرست از کلمه پرتودهی، استقبال مصرف‌کننده از مواد غذایی فرآوری شده با پرتودهی پایین است. در نظر افراد ناآگاه، پرتودهی منجر به تولید برخی از مواد سرطان‌زا در مواد غذایی است، زیرا در لغت مشابه با «پرتودرمانی» است [49]. استقبال کم مصرف کنندگان مانع بزرگی در توسعه این فناوری در صنایع غذایی است. تغییر دیدگاه مصرف-کنندگان و ترغیب آن‌ها به خرید مواد غذایی پرتودهی شده می‌تواند راه‌حلی برای توسعه این تکنیک باشد و طراحی ابزار دقیق‌تر و قابل اعتمادتر و غلبه بر باورهای غلط موجود در مورد این فناوری در بین مصرف‌کنندگان، بازار مواد غذایی پرتودهی شده را در سال‌های آینده تحت تاثیر قرار خواهد داد [36].

۶. فراصوت

در فرآوری مواد غذایی، فرکانس در محدوده ۲۰ کیلوهرتز تا ۱۰۰ کیلوهرتز برای استخراج مواد فعال زیستی، امولسیون‌سازی، پخت و پز، تلخی زدایی، تشدید فرآیند سنتز و غیره استفاده می‌شود. Jadhav و همکاران (۲۰۲۱) در مورد سنتز و طراحی لیپیدها با استفاده از فراصوت به‌عنوان یک جایگزین عالی برای عملکرد تشدید گزارش کردند. نویسندگان حداکثر بازده ۹۲ درصد را در ۶ ساعت واکنش گزارش کردند [50]. به‌دلیل افزایش انرژی، نقاط پرانرژی ایجاد می‌شود که سرعت انتقال جرم را افزایش می‌دهند و واکنش در مدت زمان کوتاه‌تری کامل می‌شود. سنتز به کمک فراصوت در مقایسه با فرآیند سنتز معمولی سریع‌تر است [51]. فراصوت همچنین به انتقال سطحی مولکول‌ها کمک می‌کند، که کارایی فرآیند استخراج مواد فعال زیستی از منابع گیاهی و حیوانی را افزایش می‌دهد. فرآیند استخراج نه تنها بازده فرآیند استخراج را افزایش می‌دهد، بلکه خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیب استخراج شده را نیز بهبود می‌بخشد [36]. یکی از این مطالعات اخیر توسط Sun و همکاران (۲۰۲۰) صورت گرفته که گزارش کردند پروتئین استخراج شده با استفاده از فراصوت خواص بهتری از منظر اندازه ذره، قدرت امولسیون و ساختار را نشان داد. ذرات استخراج شده با امواج فراصوت با اندازه ذرات کوچک و ساختار مارپیچ α بزرگتر، هنگامی که با فراصوت به مدت ۳۰ دقیقه در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز درمان شوند، قدرت امولسیون کنندگی را بهبود می‌بخشند. فراصوت همچنین به فرآیندهای انجماد، خشک کردن و ذوب محصولات غذایی کمک می‌کند [53,54,55]. همچنین به عنوان پیش تصفیه برای خشک کردن همرفتی و خشک کردن انجمادی استفاده می شود [56,57]. فراصوت پتانسیل خود را در بخش مواد غذایی در زمینه‌های مختلف حیاتی مانند نگهداری مواد غذایی، استخراج، تشدید فرآیند سنتز و بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی با موفقیت به اثبات رسانده است. اطلاعات فنی بسیار محدود در مورد فراصوت و آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد

مواد غذایی فرآوری شده با اولتراسونیک مانعی در تجاری سازی این فرآیند در صنایع غذایی بوده است. با این حال، استفاده از فراصوت باید بر روی مواد غذایی باید مورد مطالعه قرار گیرد تا تأثیر آن را درک کنیم تا بتوان آن را در مقیاس صنعتی اجرا کرد [36].

۷. نتیجه‌گیری

به‌دلیل تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذای ایمن و مغذی عاری از میکروب، فناوری‌های غیرحرارتی یکی از متمرکزترین حوزه‌های تحقیقاتی در بخش مواد غذایی هستند. محصول غذایی برای مدت زمان بسیار کوتاهی در معرض عملیات غیرحرارتی قرار می‌گیرد و غذا در دمای محیط تحت فناوری قرار می‌گیرد. از آنجایی‌که زمان قرار گرفتن در معرض آن کوتاه و دما پایین است، هیچ احتمالی برای آسیب به اجزای غذایی حساس به گرما در مواد غذایی، آسیب به بافت غذا و همچنین احتمال تشکیل هیچ‌گونه ترکیب سمی در غذا در اثر گرما وجود ندارد. بنابراین، با به‌کارگیری فناوری‌های غیرحرارتی، مصرف‌کنندگان مواد غذایی فرآوری شده تازه با ارزش غذایی بالا و رنگ و طعم خوب دریافت می‌کنند. اما دو روی سکه وجود دارد: با مزایا، معایبی نیز به همراه دارد. اگر غذا برای مدت طولانی‌تری در معرض قرار گیرد یا با شدت بیشتری تحت این فناوری قرار گیرد، فناوری‌های غیرحرارتی ممکن است منجر به برخی تغییرات نامطلوب در مواد غذایی مانند اکسید شدن لیپیدها و از دست دادن رنگ و طعم شوند. اما این فناوری‌ها در مقایسه با پردازش حرارتی مزایای زیادی دارند. علاوه بر این، توسعه تجهیزات پردازش مواد غذایی به‌صورت گسترهدتر با استفاده از فناوری غیرحرارتی، درک مکانیسم‌های مناسب، توسعه استانداردهای فرآوری با استفاده از تیمارهای غیرحرارتی و شفاف‌سازی باورهای غلط مصرف‌کننده و سوء تفاهم در مورد این فناوری‌ها در ترویج فناوری غیرحرارتی مفید خواهد بود. فناوری‌های غیرحرارتی دامنه وسیع‌تری برای توسعه و تجاری‌سازی در صنایع تبدیلی مواد غذایی خواهند داشت و مواد غذایی ایمن و مغذی با رنگ و بوی خوب به مصرف‌کنندگان ارائه می‌کنند.

۸. منابع

[1] Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A-S., et al., 2017. Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 41, 357-377.
[2] Pereira, R. N., Vicente, A. A., 2010. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing, Food Research International, 43, 1936-1943.
[3] Picart-Palmade, L., Cunault, C., Chevalier-Lucia, D., Belleville, M. P., Marchesseau, S., 2019. Potentialities and Limits of Some Non-thermal Technologies to Improve Sustainability of Food Processing, Frontiers in Nutrition, 5, 130.
[4] Toepfl, S., Mathys, A., Heinz, V., Knorr, D., 2006. Review: potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and environmentally friendly food processing, Food Reviews International, 22, 405-423.
[5] Heinz, V., Buckow, R., 2010. Food preservation by high pressure, Journal fur Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 5, 73-81.
[6] Barba, F. J., Terefe, N. S., Buckow, R., Knorr, D., Orlien, V., 2015. New opportunities and perspectives of high pressure treatment to improve health and safety attributes of foods. A review, Food Research International, 77, 725-442.
[7] Huang, H. W., Hsu, C. P., Wang, C. Y., 2020. Healthy expectations of high hydrostatic pressure treatment in food processing industry, Journal of Food and Drug Analysis, 28, 1-13.
[8] Rendueles, E., Omer, M. K., Alvseike, O., Alonso-Calleja, C., Capita, R., Prieto, M., 2011. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review, LWT - Food Science and Technology, 44, 1251-1260.
[9] Daher, D., Le Gourrierec, S., Pérez-Lamela, C., 2017. Effect of high pressure processing on the microbial inactivation in fruit preparations and other vegetable based beverages, Agriculture, 7, 1-18.
[10] Van Loey, I. A., Smout, C., Hendrickx, M., 2003. High hydrostatic pressure technology in food preservation. In: Zeuthen P, Bogh-Sorensen L, editors. Food Preservation Techniques, Cambridge, 428-448.
[11] Zhang, Q., Barbosa-Cánovas, G., Swanson, B., 1995. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization, Journal of Food Engineering, 2, 261-281.

[12] Deeth, H., Datta, N., Ross, A., Dam, X., 2007. Pulsed electric field technology: Effect on milk and fruit juices. In G. Tewari & V. Juneja (Eds.), Advances in thermal and non-thermal food preservation. Oxford, UK: Blackwell Publishing.
[13] Sastry, S., Barach, J., 1995. Ohmic and inductive heating, Journal of Food Science, 65, 42-46.
[14] Hulsheger, H., Niemann, E., 1980. Lethal effects of high-voltage pulses on E. coli k12, Radiation and Environmental Biophysics, 18, 281-288.
[15] Sitzmann, W., 1995. High-voltage techniques for food preservation. In W. Gould (Ed.), New Methods of Food Preservation. London, UK: Blackie Academic and Professional.
[16] Sale, A. J. H., Hamilton, W., 1968. Effects of high electric fields on micro organisms iii. Lysis of erythrocytes and protoplasts, Biochimica et Biophysica Acta, 163, 37-43.
[17] Qin, B., Pothakamury, U., Barbosa-Cánovas, G., Swanson, B., 1996. Nonthermal pasteurization of liquid foods using high-intensity pulsed electric fields, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 6, 603-627.
[18] Craven, H., Swiergon, P., Ng, S., Midgely, J., Versteeg, C., Coventry, M., et al., 2008. Evaluation of pulsed electric field and minimal heat treatments for inactivation of pseudomonads and enhancement of milk shelf-life, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9, 211-216.
[19] Sampedro, F., Rodrigo, M., Martinez, A., Rodrigo, D., Barbosa-Cánovas, G., 2005. Quality and safety aspects of PEF application in milk and milk products, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45, 25-42.
[20] Vega-Mercado, H., Martin-Belloso, O., Chang, F.-J., Barbosa-Cánovas, G., Swanson, B., 1996. Inactivation of Escherichia coli and Bacillus subtilis suspended in pea soup using pulsed electric fields, Journal of Food Processing and Preservation, 6, 501-510.
[21] Barbosa-Cánovas, G. V., 2001. Developments in pulsed electric fields – USA research and consortium activities. In Proceedings of electric field processing the potential to make a difference. Chipping Campden: Campden and Chorleywood Food Research Association.
[22] Ma, L., Chang, F., Barbosa-Cánovas, G., 1997. Inactivation of E. coli in liquid whole eggs using pulsed electric fields technologies. New frontiers in food engineering. In Proceedings of the Fifth Conference of Food Engineering (pp. 216–221). New York: American Institute of Chemical Engineers.
[23] Heinz, V., Toepfl, S., Knorr, D., 2002. Impact of temperature on lethality and energy efficiency of apple juice pasteurization by pulsed electric fields treatment, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4, 167-175.
[24] Hodgins, A., Mittal, G., Griffiths, M., 2002. Pasteurization of fresh orange juice using low-energy pulsed electrical field, Journal of Food Science, 67, 2294-2299.
[25] Fenoglio, D., Ferrario, M., Schenk, M., Guerrero, S., 2020. Effect of pilot-scale UV-C light treatment assisted by mild heat on E. coli, L. plantarum and S. cerevisiae inactivation in clear and turbid fruit juices. storage study of surviving populations. Int J Food Microbiol. (2020) 332:108767.
[26] Xiang, Q., Fan, L., Zhang, R., Ma, Y., Liu, S., Bai, Y., 2020. Effect of UVC light-emitting diodes on apple juice: inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* and determination of quality, Food Control, 111, 107082.
[27] Ferreira, T. V., Mizuta, A. G., de Menezes, J. L., Dutra, T. V., Bonin, E., Castro, J. C. et al., 2020. Effect of ultraviolet treatment (UV–C) combined with nisin on industrialized orange juice in *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores, Lwt, 133, 109911.
[28] Fundo, J. F., Miller, F. A., Mandro, G. F., Tremarin, A., Brandão, T. R. S., Silva, C. L. M., 2019. UV-C light processing of *Cantaloupe melon* juice: evaluation of the impact on microbiological, and some quality characteristics, during refrigerated storage, Lwt, 103, 247-252.
[29] Delorme, M. M., Guimarães, J. T., Coutinho, N. M., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R. et al., 2020. Ultraviolet radiation: an interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods, Trends in Food Science and Technology, 102, 146-154.
[30] Kumar, A., Rani, P., Purohit, S. R., Rao, P. S., 2020. Effect of ultraviolet irradiation on wheat (*Triticum aestivum*) flour: study on protein modification and changes in quality attributes, Journal of Cereal Science, 96, 103094.
[31] Dyshlyuk, L., Babich, O., Prosekov, A., Ivanova, S., Pavsky, V., Chaplygina, T., 2020. The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato, Heliyon, 6, e03288.

[32] Zhu, Y., Koutchma, T., 2021. UV light technology for mycotoxins reduction in foods and beverages. In: Knoerzer K, Muthukumarappan K, editors. Innovative Food Processing Technologies. Voctoria (2021). p. 398-415.
[33] Orlowska ,M., Koutchma, T., Grapperhaus, M., Gallagher, J., Schaefer, R., Defelice, C., 2013. Continuous and pulsed ultraviolet light for nonthermal treatment of liquid foods. Part 1: effects on quality of fructose solution, apple juice, and milk, Food and Bioprocess Technology, 6, 1580-1592.
[34] Jeon, M. J., Ha, J. W., 2020. Inactivating foodborne pathogens in apple juice by combined treatment with fumaric acid and ultraviolet-A light, and mechanisms of their synergistic bactericidal action, Food Microbiology, 87, 103387.
[35] Mehta, D., Sharma, N., Bansal, V., Sangwan, R. S., Yadav, S. K., 2019. Impact of ultrasonication, ultraviolet and atmospheric cold plasma processing on quality parameters of tomato-based beverage in comparison with thermal processing, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 52, 343-349.
[36] Jadhav, H. B., Annapure, U. S., Deshmukh, R. R., 2021. Non-thermal Technologies for Food Processing, Frontiers in Nutrition, 8, 657090.
[37] Robichaud, V., Bagheri, L., Aguilar-Uscanga, B. R., Millette, M., Lacroix, M., 2020 Effect of ϒ-irradiation on the microbial inactivation, nutritional value, and antioxidant activities of infant formula, Lwt, 125, 109211.
[38] Gaougaou, G., Shankar, S., Liot, Q., Constant, P., Déziel, E., Lacroix, M., 2020. Gamma irradiation triggers a global stress response in *Escherichia coli* O157:H7 including base and nucleotides excision repair pathways, Microbial Pathogenesis, 149, 104342.
[39] Fallah, A. A., Siavash Saei-Dehkordi, S., Rahnama, M., 2010. Enhancement of microbial quality and inactivation of pathogenic bacteria by gamma irradiation of ready-to-cook Iranian barbecued chicken, Radiation Physics and Chemistry, 79, 1073-1078.
[40] Shalaby, A. R., Anwar, M. M., Sallam, E. M., Emam, W. H., 2016. Quality and safety of irradiated food regarding biogenic amines: Ras cheese. International Journal of Food Science & Technology, 51, 1048-1054.
[41] Li, C., He, L., Jin, G., Ma, S., Wu, W., Gai, L., 2017. Effect of different irradiation dose treatment on the lipid oxidation, instrumental color and volatiles of fresh pork and their changes during storage, Meat Science, 128, 68-76.
[42] Ghabraie, M., Vu, K. D., Tnani, S., Lacroix, M., 2016. Antibacterial effects of 16 formulations and irradiation against *Clostridium sporogenes* in a sausage model, Food Control, 63, 21-27.
[43] Cassares, M., Sakotani, N. L., Kunigk, L., Vasquez, P. A. S., Jurkiewicz, C., 2020. Effect of gamma irradiation on shelf life extension of fresh pasta, Radiation Physics and Chemistry, 174, 108940.
[44] Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A. M., Masoodi, F. A., 2020. Effect of gamma-irradiation on the thermal, rheological and antioxidant properties of three wheat cultivars grown in temperate Indian climate, Radiation Physics and Chemistry, 176, 108953.
[45] Sharma, P., Sharma, S. R., Dhall, R. K., Mittal, T. C., Bhatia, S., 2020. Physio-chemical behavior of γ-irradiated garlic bulbs under ambient storage conditions, Journal of Stored Products Research, 87, 101629.
[46] Carvalho Mesquita, T., Evangelista Vasconcelos Schiassi, M. C., Maria Teixeira Lago, A., Careli-Gondim, Í., Mesquita Silva, L., de Azevedo Lira, N., et al., 2020. Grape juice blends treated with gamma irradiation evaluated during storage, Radiation Physics and Chemistry, 168, 108570.
[47] Syauqi, A., Dadang, D., Harahap, I. S., Indarwatmi, M., 2020. Gamma irradiation against mealybug *Dysmicoccus lepelleyi* (Betrem) (Hemiptera: Pseudococcidae) on mangosteen fruit (*Garcinia mangostana* L.) as a quarantine treatment, Radiation Physics and Chemistry, 179, 108954.
[48] Lim, J. S., Ha, J. W., 2021. Effect of acid adaptation on the resistance of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium to X-ray irradiation in apple juice, Food Control, 120, 107489.
[49] Castell-Perez, M. E., Moreira, R. G., Irradiation and consumers acceptance. In: Knoerzer K, Juliano P, Smithers G, editors. Innovative Food Processing Technologies. Cambridge p. 122-135.
[50] Jadhav, H. B., Gogate, P. R., Waghmare, J. T., 2021. Annapure US. Intensified synthesis of palm olein designer lipids using sonication, Ultrasonics Sonochemistry, 73, 105478.
[51] Jadhav, H. B., Annapure, U., 2021. Process intensification for synthesis of triglycerides of capric acid using green approaches, Journal of the Indian Chemical Society, 98,100030.
[52] Sun, X., Zhang, W., Zhang, L., Tian, S., Chen, F., 2020 Molecular and emulsifying properties of arachin and conarachin of peanut protein isolate from ultrasound-assisted extraction, Lwt, 132, 109790.

[53] how, R., Blindt, R., Chivers, R., Povey, M., 2005. A study on the primary and secondary nucleation of ice by power ultrasound, Ultrasonics, 43, 227-230.
[54] Miles, C. A., Morley, M. J., Rendell, M., 1999. High power ultrasonic thawing of frozen foods, Journal of Food Engineering, 39, 151-159.
[55] Cheng, X. F., Zhang, M., Adhikari, B., 2014. Effect of ultrasonically induced nucleation on the drying kinetics and physical properties of freeze-dried strawberry, Drying Technology, 32, 1857-1864.
[56] Rojas, M. L., Augusto, P. E. D., Cárcel, J. A., Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 61, 102328.
[57] Prosapio, V., Norton, I., 2018. Simultaneous application of ultrasounds and firming agents to improve the quality properties of osmotic + freeze-dried foods, Lwt, 96, 402-410.