اثرات پردازش بر ایمنی و کیفیت غذاها

علی قندهاری
دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی موسسه غیر انتفاعی مهرآیین ، بند انزلی، ایران

فاطمه ضیاء ضیابری
عضو هیئت علمی موسسه غیر انتفاعی مهر آیین، بند انزلی

چکیده

میدان الکتریکی یا pulsed Electrica field که به اختصار PEF نیز گفته میشه . PEF یک فناوری غیر حرارتی نوین بر پایه کاربرد پالس هایی با ولتاژ بالا و متوسط (از ۲۰ تا ۶۰ کیلوولت برسانتیمتر) در دوره های زمانی کوتاه (میلی یا میکروثانیه) است . در این فرایند ، مواد غذایی بین ۲ الکترود آند و کائد قرار میگیرد .

امروزه تقاضا برای بهبود کیفیت فرآورده های غذایی ایمن و با ارزش بالا و ویژگی های فراسودمند افزایش یافته است . این افزایش تقاضا منجربه توسعه و استفاده از فناوری نوین موادغذایی شده است .ذایی شده است .

این فصل برخی از پیشرفت‌های اخیر را در کاربرد میدان‌های الکتریکی پالسی ولتاژ بالا (PEFs)در فرآوری مواد غذایی با توجه به کیفیت و مسائل ایمنی ارائه می‌کند. برخی از پارامترهای حیاتی پردازش PEF شناسایی و شرح داده شده است. کاربردهای بالقوه PEF در پردازش برای ایمنی و کیفیت مواد غذایی مورد بحث قرار گرفته است.

همچنین اثبات شده است که فن‌آوری‌های PEF جایگزین مناسبی برای غیرفعال کردن بار میکروبی در دمای بالا در غذاهای مایع مانند آب میوه و شیر هستند.

اکثر تلاش های تحقیقاتی در مورد PEF بر روی پاستوریزه کردن مواد غذایی مایع بوده است. با این حال، نشان داده شده است که این فناوری‌ها برای اصلاح ریزساختاری بافت‌های سبزیجات، ماهی و گوشت برای تشدید عملکرد آبمیوه و برای افزایش قابل استفاده هستند.

واژگان کلیدی : میدان الکتریکی ، کیفیت ، پالس ،ولتاژ ، فناوری EPF

مقدمه

افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای محصولات تازه و ایمن یک عامل محدود کننده در انتخاب فناوری های فرآوری مواد غذایی است. روش های به خوبی تثبیت شده مبتنی بر حرارت در دسترس هستند و درجه بالایی از ایمنی میکروبی را فراهم می کنند. با این حال، کیفیت محصول را نیز کاهش می دهند. بنابراین، در حال حاضر جستجوی شدیدی برای فناوری‌های غیرحرارتی به عنوان جایگزین یا مکمل فرآیندهای حرارتی وجود دارد.

اگرچه نشان داده شده است که فناوری‌های غیرحرارتی مانند پالس‌های میدان الکتریکی بالا دارای مزایایی نسبت به فناوری‌های حرارتی معمولی هستند، که اخیراً در صنایع غذایی به رسمیت شناخته شده‌اند. استفاده از این فناوری‌های غیرحرارتی فرصت‌های جالبی را برای محصولات ایمن با فرآوری ملایم با کیفیت‌های حسی و تغذیه‌ای حفظ شده ارائه می‌دهد. با این حال، فناوری ها هنوز عمدتاً در مراحل توسعه هستند.

این فصل برخی از پیشرفت‌های اخیر را در کاربرد میدان‌های الکتریکی پالسی ولتاژ بالا (PEFs)در فرآوری مواد غذایی با توجه به کیفیت و مسائل ایمنی ارائه می‌کند. برخی از پارامترهای حیاتی پردازش PEF شناسایی و شرح داده شده است. کاربردهای بالقوه PEF در پردازش برای ایمنی و کیفیت مواد غذایی مورد بحث قرار گرفته است.

فرآوری حرارتی برای چندین دهه در صنایع غذایی با درجات مختلف موفقیت برای غیرفعال کردن بار میکروبی بیماری زا در محصولات غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. گرما به طور موثر میکروارگانیسم ها را از بین می برد. با این حال، این عمل متعادل کننده حفظ کیفیت غذا و حفظ ایمنی است که باعث می شود پردازش حرارتی برای برخی از محصولات چندان جذاب نباشد.

روند فعلی در اولویت مصرف کنندگان برای محصولات تازه، کم فرآوری شده و باکیفیت است. فناوری‌های نوظهور برای پردازش غیرحرارتی (یا حداقل حرارتی) شامل پردازش فشار بالا، تابش نور UV، میدان‌های مغناطیسی، تابش الکترونی، ازن زنی و PEFs است. علاقه به این فناوری ها از تمایل به غلبه بر مشکلات پردازش حرارتی سنتی ناشی شده است.

این فناوری‌ها حالت‌های منحصربه فردی از انتقال انرژی را به غذاها و هدف قرار دادن سلول‌های بیولوژیکی برای دستیابی به غیرفعال کردن یا اصلاح بدون گرم کردن قابل توجه محصولات را امکان‌پذیر می‌کنند.

این روش ها بسته به اهداف فرآیند و نوع غذای فرآوری شده دارای نقاط قوت و ضعف خود هستند. در میان انواع فناوری‌های نوظهور، روش‌های فشار هیدرواستاتیک فوق‌العاده (UHP)، PEF و نور UV امیدوارکننده‌ترین روش‌ها به نظر می‌رسد. مطالعات برای بهبود درک این فناوری ها ادامه دارد. این فصل شرحی به روز از فناوری PEF، مروری بر پیشرفت ها، روندها و کاربردهای فناوری نوظهور با تأکید بر کیفیت غذا و سینتیک فرآیند ارائه می دهد. پردازش PEF شامل استفاده از فیلد الکتریکی تولید شده خارجی در یک غذا است. محصولی با هدف غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، اصلاح آنزیم‌ها، تشدید برخی فرآیندها یا دستیابی به تغییر خاصی در محصول.

این فناوری مدت‌هاست که برای هیبریداسیون سلولی و الکتروفیوژن در مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی استفاده می‌شود. کاربرد آن بر اساس تبدیل یا پارگی سلول ها تحت یک میدان الکتریکی خارجی به اندازه کافی بالا است که منجر به افزایش نفوذپذیری و هدایت الکتریکی مواد سلولی می شود. این اثر به نام شکست دی الکتریک (Zimmermann و همکاران ۱۹۷۶) یا الکتروپلاسمولیز (McLellan et al. ۱۹۹۱) را می توان با دو عامل اصلی توضیح داد: (۱) الکتروپوراسیون، که تشکیل و رشد منافذ ناشی از الکترود درغشاء های بیوممبران در نتیجه پلاریزاسیون آنها است.(۲) دناتوره شدن غشاهای سلولی در نتیجه گرمایش اهمی آنها ناشی از مقاومت الکتریکی غشاها که معمولاً بسیار بیشتر از محتوای شیره سلولی است. علاوه بر اینها، تأثیر فیزیولوژیکی و اثر الکترواسموتیک نیز ممکن است بر راندمان الکتروپلاسمولیز تأثیر بگذارد (ویور و چیزمادژف ۱۹۹۶).

همچنین اثبات شده است که فن‌آوری‌های PEF جایگزین مناسبی برای غیرفعال کردن بار میکروبی در دمای بالا در غذاهای مایع مانند آب میوه و شیر هستند (Knorr et al. ۱۹۹۴, Barbosa-Cánovas et al. ۱۹۹۹). اکثر تلاش های تحقیقاتی در مورد PEF بر روی

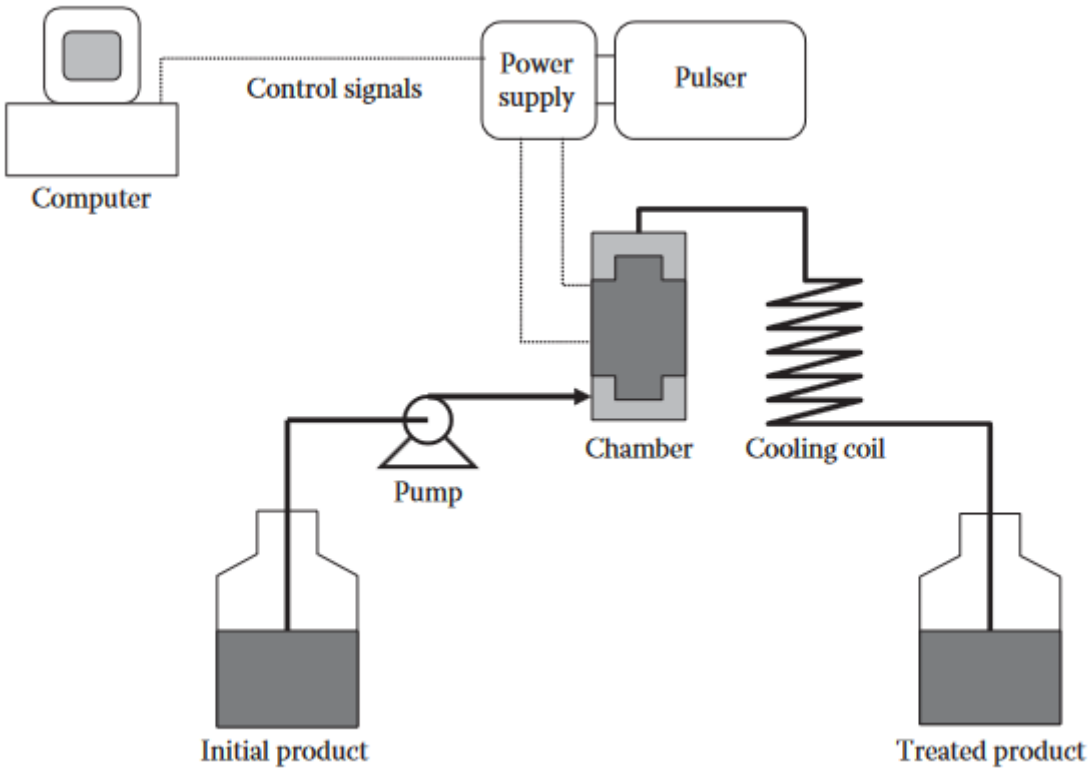
پاستوریزه کردن مواد غذایی مایع بوده است. با این حال، نشان داده شده است که این فناوری‌ها برای اصلاح ریزساختاری بافت‌های سبزیجات، ماهی و گوشت (Wu and Pitts ۱۹۹۹, Angersbach et al. ۲۰۰۰, Gudmundsson and Mafsteinsson ۲۰۰۱)، برای تشدید عملکرد آبمیوه و برای افزایش قابل استفاده هستند.

کیفیت محصول در تولید آبمیوه (Bazhal ۲۰۰۱)، برای پردازش مواد خام گیاهی (Papchenko et al. ۱۹۸۸a)، و برای شراب سازی و تولید شکر (Gulyi et al. ۱۹۹۴). درمان PEF به طور قابل توجهی برخی عملیات واحد پردازش مواد غذایی مانند پرس (Bazhal and Vorobiev ۲۰۰۰)، انتشار (Jemai ۱۹۹۷)، آبگیری اسمزی (Rastogi et al. ۱۹۹۹) و خشک کردن (Ade-Omowaye et al. ۲۰۰۰) را افزایش می دهد. این فرآیندها عموماً بر کیفیت غذاها تأثیر می گذارد.

علاوه بر این، PEF بر برخی از ویژگی‌های کیفیت منحصر به فرد محصولات غذایی تأثیر می‌گذارد که ممکن است با فناوری‌های دیگر امکان‌پذیر نباشد. پردازش PEF شامل یک دوره کوتاه کاربرد ولتاژ بالا برای یک ماده غذایی است که بین دو الکترود قرار می‌گیرد (Qin et al. ۱۹۹۵). هنگامی که ولتاژ الکتریکی بالا اعمال می شود، شار زیادی از جریان الکتریکی از طریق مواد غذایی جریان می یابد، که ممکن است به عنوان رسانای الکتریکی به دلیل وجود حامل های بار الکتریکی مانند غلظت زیاد یون ها عمل کند (باربوسا-کانواس و همکاران ۱۹۹۹).

به طور کلی، یک سیستم PEF از یک منبع برق با ولتاژ بالا، یک بانک خازن ذخیره انرژی، یک مقاومت محدود کننده جریان شارژ، یک کلید برای تخلیه انرژی از خازن در سراسر غذا و یک محفظه تصفیه تشکیل شده است. بانک خازن ها توسط یک منبع تغذیه جریان مستقیم که از منبع اصلی جریان جایگزین منظم تقویت شده و اصلاح شده به دست می آید شارژ می شود. یک سوئیچ الکتریکی برای تخلیه انرژی (به صورت آنی در میلیونم ثانیه) ذخیره شده در بانک ذخیره سازی خازن در سراسر مواد غذایی نگهداری شده در محفظه تصفیه استفاده می شود.

جدای از آن اجزای اصلی، برخی از قطعات کمکی نیز ضروری هستند. در مورد سیستم های پیوسته از یک پمپ برای انتقال غذا از طریق محفظه تصفیه استفاده می شود. یک سیستم خنک کننده محفظه ممکن است برای کاهش اثر گرمایش اهمی و کنترل دمای غذا در طول درمان استفاده شود. پرآب های ولتاژ بالا و جریان بالا برای اندازه گیری ولتاژ و جریان تحویلی به محفظه استفاده می شود (باربوسا-کانواس و همکاران ۱۹۹۹، آمیالی و همکاران ۲۰۰۴، b۲۰۰۶، فلوری و همکاران، ۲۰۰۵). شکل ۱۶.۱ یک واحد تصفیه اولیه PEF را نشان می دهد، در حالی که شکل ۱۶.۲ محفظه متفاوتی را نشان می دهد.



شکل ۱۶.۱ نمودار شماتیک یک عملیات PEF

نوع شکل موج میدان الکتریکی اعمال شده یکی از ویژگی های توصیفی مهم یک سیستم تصفیه PEF است. امواج به صورت نمایی در حال فروپاشی یا مربع از رایج ترین شکل موج های مورد استفاده هستند.

برای تولید یک موج ولتاژ در حال فروپاشی نمایی، یک منبع تغذیه DC، بانک خازن هایی را که به صورت سری با یک مقاومت شارژ متصل هستند، شارژ می کند. هنگامی که یک سیگنال ماشه اعمال می شود، شارژ ذخیره شده در خازن از طریق غذا در محفظه تصفیه جریان می یابد و شکل موج های نمایی از دیدگاه ژنراتور آسان تر تولید می شوند.

تولید شکل موج مربعی به طور کلی نیاز به یک شبکه تشکیل پالس (PFN) متشکل از آرایه ای از خازن ها و سلف ها دارد. طراحی یک سیستم شکل موج مربعی در مقایسه با یک سیستم شکل موج نمایی چالش برانگیزتر است. با این حال، شکل موج‌های مربعی ممکن است کشنده‌تر و کارآمدتر از پالس‌های در حال فروپاشی نمایی باشند (ژانگ و همکاران ۱۹۹۵a، Evrendilek و همکاران ۲۰۰۵، آمیالی و همکاران ۲۰۰۶ b).

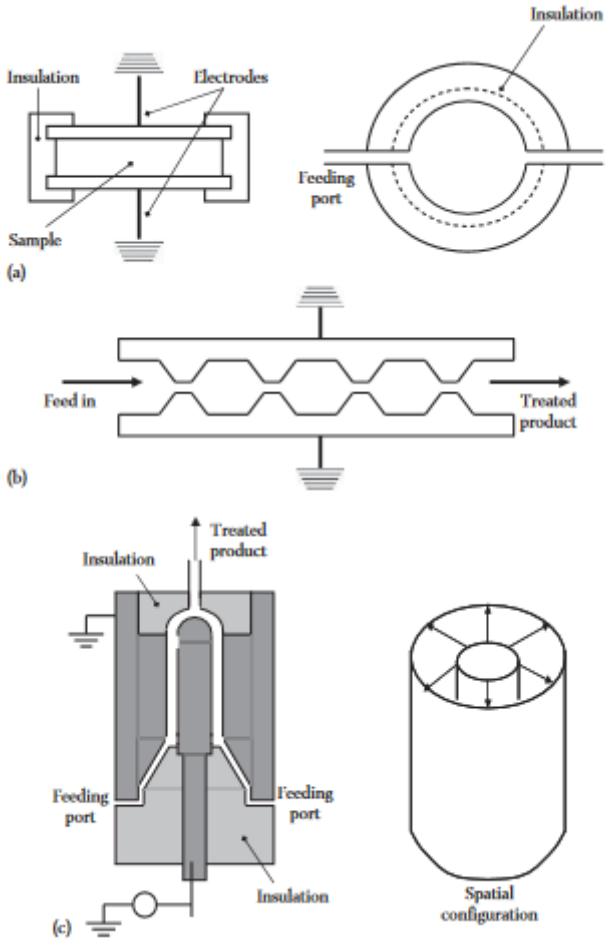
برای تولید شکل موج مربعی موثر با استفاده از PFN، مقاومت غذا باید با امپدانس PFN مطابقت داشته باشد. بنابراین، تعیین مقاومت غذا به منظور درمان مناسب آن مهم است. سوئیچ تخلیه نیز نقش مهمی در کارایی سیستم PEF ایفا می کند. نوع سوئیچ مورد استفاده تعیین می کند که چقدر سریع می تواند کار کند و چقدر جریان و ولتاژ می تواند تحمل کند. به منظور افزایش طول عمر، کلیدهای

مناسب برای سیستم های PEF شامل جرقه زنی، شکاف جرقه، تریگاترون، تیراترون و نیمه هادی ها می باشد. کلیدهای نیمه هادی حالت جامد به عنوان آینده سوئیچینگ با توان بالا در نظر گرفته می شوند. آنها عملکرد بهتری را ارائه می‌دهند و کار با آن‌ها آسان‌تر است، به اجزای کمتری نیاز دارند، زمان تعویض سریع‌تر را امکان‌پذیر می‌کنند و از نظر اقتصادی سالم‌تر هستند (Gongóra-Nieto et al. ۲۰۰۲).

کاربرد PEF در صنایع غذایی

علاقه روزافزونی به کاربرد PEF در فرآوری مواد غذایی وجود دارد (باربوسا کانواس و همکاران ۱۹۹۹، دوتروکس و همکاران ۲۰۰۰، فلیشمن و همکاران ۲۰۰۴، فلوری و همکاران، ۲۰۰۵، هوانگ و همکاران، ۲۰۰۶، سوبرینو-لوپز و همکاران ۲۰۰۶). به طور کلی، کاربردهای PEF در فرآوری مواد غذایی به دو دسته اصلی یعنی غیرفعال سازی میکروبی و نگهداری مواد غذایی مایع و همچنین افزایش انتقال جرم و بافت در جامدات و مایعات تقسیم شده است .

مسائل مربوط به کیفیت و ایمنی مواد غذایی



شکل۱۶.۲ طراحی محفظه ها ،تصفیه برای تجهیزات HF . الف) محفظه استاتیک ، ب) نمای جانبی یک طرح پایه پیوسته ، ج) محفظه کواکسیال

بخش بزرگی از کار روی PEF بر کاهش بار میکروبی در مواد غذایی مایع یا نیمه جامد متمرکز شده است تا عمر مفید آنها افزایش یابد و ایمنی آنها تضمین شود. محصولاتی که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند عبارتند از شیر (Grahl and ۱۹۸۷Dunn and Pearlman , ۲۰۰۵, Evrendilek ۲۰۰۴., Fleischman et al. ۲۰۰۰, Dutreux et al۱۹۹۸, Reina et al. ۱۹۹۷, Sensoy et al. ۱۹۹۶Märkl) (، آب سیب (Vega-Mercado et al. ۱۹۹۷, Ortega Rivas et al. ۱۹۹۸, Zárate-Rodríguez et al. ۲۰۰۰, Charles-Rodríguez et al. ۲۰۰۷, (آب پرتقال Yeomet ,Zhang et al.) ۱۹۰۷ .(، جیا و همکاران ۱۹۹۹)، و تخم مرغ مایع (Jeantet) و همکاران ۱۹۹۹، ۲۰۰۴، آمیالی و همکاران. ۲۰۰۴، a۲۰۰۶، b، هرماوان و همکاران. ۲۰۰۴).

این مطالعات و سایر مطالعات غیرفعال سازی موفقیت آمیز PEF میکروارگانیسم های بیماری زا و فاسد کننده مواد غذایی و همچنین آنزیم های انتخاب شده را گزارش کرده اند که منجر به حفظ طعم و مواد مغذی بهتر و طعم تازه تر در مقایسه با محصولات پاستوریزه حرارتی می شود (Barbosa-Cánovas et al. ۱۹۹۹Ho and Mittal ۲۰۰۰, Barsotti et al ۲۰۰۲, Van Loey et al., ۲۰۰۳, ۲۰۰۵.

زمینه دیگری که پتانسیل بالایی از خود نشان می دهد، استفاده از PEF بر روی بافت های گیاهی به عنوان پیش تیمار برای بهبود فرآیندهای بعدی مانند استخراج آب میوه (Bazhal and Vorobiev ۲۰۰۰Eshtiaghi and Knorr ۲۰۰۲) و کم آبی (Angersbach and Knorr ۱۹۹۷, Rastogi et al, ۱۹۹۹) است. Ade-Omowaye و همکاران ۲۰۰۰، Taiwo و همکاران ۲۰۰۲.

مکانیسم غیرفعال سازی میکروبی توسط PEF

درمان PEF باعث الکتروپوراسیون (تولید منافذ) غشای سلولی می شود که در نتیجه منجر به تخریب و غیرفعال شدن بافت میکروبی می شود (Tsong ۱۹۹۱Knorr et al. ۱۹۹۴, Ho and Mittal ۱۹۹۶, Pothakamury et al. ۱۹۹۶, García ۲۰۰۷). اگرچه هنوز مشخص نیست که تشکیل منافذ در ماتریس های لیپیدی یا پروتئینی رخ می دهد، اعتقاد بر این است که میدان های الکتریکی بر اساس پتانسیل گذر غشایی، فشرده سازی الکترومکانیکی و تئوری های عدم تعادل اسمزی باعث ایجاد تغییرات ساختاری در غشای سلول های میکروبی می شوند (زیمرمن). ۱۹۸۶، Barbosa-Cánovas و همکاران ۱۹۹۹، Gongóra Nieto و همکاران ۲۰۰۲، Ohshima و Sato ۲۰۰۴.

پتانسیل گذر غشایی

غشا در یک سلول بیولوژیکی به عنوان یک عایق برای سیتوپلاسم عمل می کند که رسانایی الکتریکی آن شش تا هشت مرتبه بزرگتر از موارد مشابه خود است (چن و لی ۱۹۹۴). غشای سلولی را می توان به عنوان یک خازن پر از مواد ثابت دی الکتریک پایین (۲E ≈) در نظر گرفت. هنگامی که میدان الکتریکی خاصی به سوسپانسیون سلول اعمال می شود، یون های داخل سلول در امتداد میدان حرکت می کنند تا زمانی که بارهای آزاد در هر دو سطح غشاء جمع شوند.

این تجمع بار، تنش الکترومکانیکی یا پتانسیل گذر غشایی ((Vtرا افزایش می دهد، تا مقداری که بسیار بیشتر از میدان الکتریکی اعمال شده است (زیمرمن ۱۹۸۶). Vt فشاری ایجاد می کند که باعث کاهش ضخامت غشا می شود. افزایش بیشتر در شدت میدان الکتریکی با رسیدن به پتانسیل گذر غشایی بحرانی ((Vcمنجر به شکست برگشت پذیر غشاء (تشکیل منافذ) می شود. هنگامی که اندازه و تعداد منافذ در مقایسه با سطح غشاء بزرگتر می شود، شکست غیر قابل برگشت رخ می دهد (Zimmermann ۱۹۸۶، Chen and Lee ۱۹۹۴، Sepúlveda-Ahumada et al.2005.a,b) برای شرایط خاص درمان PEF، پتانسیل القایی در سراسر غشای سلولی متناسب با اندازه میکروارگانیسم است.

فشرده سازی الکترومکانیکی

به طور طبیعی، بارهای روی صفحات خازن غشای سلولی بیولوژیکی یکدیگر را جذب می کنند. این باعث نازک شدن غشاء می شود به شرطی که غشا قابل تراکم باشد (هو و میتال ۱۹۹۶). ضخامت غشاء به دست آمده در یک پتانسیل غشاء معین توسط تعادل بین

نیروهای فشار الکتریکی و نیروهای بازگرداننده الکتریکی حاصل تعیین می شود. با افزایش پتانسیل غشاء، ضخامت غشاء بحرانی به دست می آید که در آن نیروی فشاری الکتریکی با سرعت بیشتری نسبت به نیروهای بازگرداننده الکتریکی ایجاد شده تغییر می کند ، غشاء ناپایدار می شود و ممکن است شکسته شود. منافذ در حال ظهور محلول داخلی و خارجی را پر می کنند که هر دو رسانایی بالایی دارند.

افزایش نفوذپذیری الکتریکی غشاء، منجر به تخلیه بسیار سریع خازن غشا می شود. افزایش شدت میدان خارجی در ابتدا منجر به تجزیه غشاء در قطب های سلول می شود. قدرت میدان مورد نیاز برای این شکست غشایی در محدوده ۱-۲۰ کیلوولت بر سانتی متر بسته به شعاع سلول است. خود ولتاژ شکست بسته به دما، مدت زمان میدان و غیره در حد ۱ ولت است. در استحکام فیلد بالاتر، ولتاژ شکست برای سایر مکان‌های غشایی به دست می‌آید (Coster and Zimmerman ۱۹۷۵, Ohshima and Sato ۲۰۰۴).

عدم تعادل اسموتیک

اعتقاد بر این است که علت پارگی غشاء به دلیل عدم تعادل اسمزی ناشی از نشت یون ها و مولکول های کوچک ناشی از درمان PEF است(Kinosita and Tsong 1997) در اثر فشار اسمزی محتوای سیتوپلاسمی، سلول شروع به متورم شدن می کند و منافذ به تدریج کوچک می شوند. هنگامی که حجم سلول به ۱۵۵ درصد حجم طبیعی خود می رسد، پارگی غشای سلولی و لیز سلول رخ می دهد (Tsong 1990). Vega-Mercado(۱۹۹۶) تئوری عدم تعادل اسمزی را بیشتر تایید کرد. نویسندهpH ، اثر قدرت یونی و اثر ترکیبی PEF را بر غیرفعال سازی اشریشیا کلی بررسی کرد و دریافت که غیرفعال شدن میکروارگانیسم ها عمدتاً به دلیل افزایش نفوذپذیری غشاء به دلیل فشرده سازی و سوراخ شدن ایجاد می شود .

بیش از ۲ کاهش log در شمارش صفحات مشاهده می شود زمانی که هم pH و هم فیلد الکتریکی اصلاح می شوند: pH از ۶.۸ به ۵.۷ و میدان الکتریکی از ۲۰ به ۵۵ کیلوولت بر سانتی متر میرسد. هنگامی که قدرت یونی از ۱۶۸ به ۲۸ میلی مولار کاهش می یابد، نتایج مشابهی به دست می آید. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که فیلد الکتریکی و قدرت یونی به احتمال زیاد با سرعت منفذ و آسیب فیزیکی غشای سلولی مرتبط است، در حالی که pH به احتمال زیاد به تغییرات در شرایط سیتوپلاسمی به دلیل عدم تعادل اسمزی ناشی از منفذ مرتبط است.

عوامل مؤثر بر اثربخشی PEF

عوامل عمده ای که بر اثربخشی PEF در طول فرآوری غذا تأثیر می گذارند را می توان به عنوان عوامل فرآیند (شدت میدان الکتریکی، نوع پالس، زمان درمان و دمای تیمار)، عوامل محصول (pH، قدرت یونی، هدایت الکتریکی، و اجزای تشکیل دهنده غذاها) عوامل میکروبی (نوع، غلظت و مرحله رشد میکروارگانیسم ها) دسته بندی کرد.

عوامل فرآیند

شدت میدان الکتریکی

شدت میدان الکتریکی یکی از عوامل اصلی است که بر غیرفعال شدن میکروبی تأثیر می گذارد (دان ۱۹۹۶). این به عنوان اختلاف پتانسیل الکتریکی V بین دو نقطه داده شده در فضا تقسیم بر فاصله d بین آنها تعریف می شود) E=v/d :۱۶.۱ (برای دستیابی به غیرفعال سازی میکروبی، میدان الکتریکی اعمال شده باید بزرگتر از میدان الکتریکی بحرانی باشد .

برای یک میکروارگانیسم خاص (Castro et al . 1993) میدان الکتریکی باید به طور مساوی در محفظه تصفیه توزیع شود تا به یک درمان کارآمد دست یابد. یک میدان الکتریکی ۱۶ کیلوولت بر سانتی‌متر یا بیشتر معمولاً برای کاهش زنده‌مانی باکتری‌های گرم منفی با ۴ تا ۵ سیکل لگ و باکتری‌های گرم مثبت با ۳ تا ۴ سیکل لاگ کافی است. به طور کلی، میدان الکتریکی مورد نیاز برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها در غذاها در محدوده ۱۲ تا ۴۵ کیلوولت بر سانتی‌متر است. با این حال، برخی از مطالعات گزارش کرده اند که میدان

های الکتریکی تا ۹۰ کیلو ولت بر سانتی متر را می توان تحت شرایط تصفیه مداوم روی مواد غذایی اعمال کرد (ژانگ و همکاران a۱۹۹۴، دان ۱۹۹۶، لیانگ و همکاران ۲۰۰۲).

این واقعیت که غیرفعال‌سازی میکروبی با افزایش استحکام میدان الکتریکی اعمال‌شده (EF) افزایش می‌یابد با نظریه الکتروپوراسیون سازگار است، که در آن اختلاف پتانسیل القایی در سراسر غشای سلولی متناسب با میدان الکتریکی اعمال‌شده است. پذیرفته‌شده‌ترین مدل نشان‌دهنده رابطه بین نسبت بقاS=N/N) ۰ (میکروارگانیسم‌ها و قدرت میدان E توسط Hülsheger و همکاران ارائه شده (۱۹۸۱) و با فرمول نشان داده می شود. (۱۶.۲) In(S)=-bE(E-Ec)

به طوریکه:

Sنرخ بقای میکروبی است که به عنوان نسبت تعداد میکروبی پس از درمان داده می شود.

Nشمارش میکروبی قبل از درمانN ۰ است

bEضریب رگرسیون (cm/kV) است.

Eمیدان الکتریکی کاربردی است

Ecمیدان الکتریکی بحرانی است که از مقدار برون یابی E برای بقای ۱۰۰٪ بدست می آید.

گرال و مرکل (۱۹۹۶) دریافتند که مقدار بحرانی میدان الکتریکی Ec تابعی از اندازه سلول است. هرچه اندازه یک سلول بزرگتر باشد، Ec کمتر است. آنها این پدیده را به پتانسیل گذر غشایی تجربه شده توسط سلول نسبت دادند که متناسب با اندازه سلول است .

همچنین، Hülsheger و همکاران (۱۹۸۳) دریافتند که Ec برای باکتری های گرم منفی کمتر از باکتری های گرم مثبت است، که ممکن است با مقاومت کوچکتر اولی توضیح داده شود.

زمان و فرکانس درمان جدا

از میان پارامترهای میدان الکتریکی، زمان درمان و فرکانس پالس عوامل مهمی هستند. زمان درمان PEF با ضرب تعداد پالس در مدت زمان پالس محاسبه می شود. افزایش هر یک از این متغیرها باعث افزایش غیرفعال شدن میکروبی می شود (سیل و همیلتون ۱۹۶۷) . Sepúlveda-Ahumada(۲۰۰۳) پیشنهاد کرد که پالس های میدان الکتریکی بین ۱ تا ۵ Ms بهترین نتایج را برای غیرفعال سازی میکروبی ایجاد می کند .

مارتین بلوسو و همکاران (۱۹۹۷) دریافتند که عرض پالس با تأثیر بر Ec بر کاهش میکروبی تأثیر می گذارد. عرض‌های طولانی‌تر Ec را کاهش داده و در نتیجه غیرفعال‌سازی بیشتر می‌شود. با این حال، افزایش مدت پالس ممکن است منجر به افزایش دمای نامطلوب غذا و ارتقای واکنش های الکترولیتی و موقعیت الکترود در سطوح الکترود شود (ژانگ و همکاران a۱۹۹۵) .

به طور معمول، غیرفعال شدن میکروارگانیسم ها با افزایش تعداد نبض، تا یک عدد مشخص افزایش می یابد (Hülsheger et al.1983) گرال و مرکل (۱۹۹۶) گزارش کردند که کاهش ورود به سیستم E. coli در شیر UHT از ۱ به ۴ با افزایش تعداد پالس از ۵ به ۲۰ در دمای کمتر از ۴۵ درجه سانتی گراد و ۲۲.۴ کیلوولت بر سانتی متر شدت میدان الکتریکی افزایش یافت .

ژانگ و همکاران (b 1994)همچنین گزارش داد که کاهش ورود به سیستم E. coli در شیر بدون چربی از ۱ به ۴ با افزایش تعداد پالس از ۱۶ به ۶۴ در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد و ۴۰ کیلو ولت بر سانتی متر افزایش یافت. لیو و همکاران (۱۹۹۷) دریافتند که غیرفعال سازی میکروبی معمولاً در طی اولین چند پالس به دست می آید، پالس های اضافی کشندگی کمتری را نشان می دهند. ژانگ و همکاران (a۱۹۹۴) همچنین متوجه شد که غیرفعال شدن ساکارومایسس سرویزیه توسط PEF در آب سیب تا ۱۰ پالس در میدان الکتریکی ۲۵ کیلوولت بر سانتی متر به اشباع رسیده است.

Elez-Martinez و Martin-Belloso (۲۰۰۷) اثرات شرایط فرآوری PEF را بر ویتامین C و ظرفیت آنتی اکسیدانی آب پرتقال ارزیابی کردند. تیمارها در ۲۵ کیلوولت بر سانتی‌متر و ۴۰۰ میلی‌ثانیه با پالس‌های دوقطبی مربع ۴ میلی‌ثانیه و فرکانس پالس ۵۰ تا ۴۵۰ هرتز

انجام شد. حفظ ویتامین C در آب پرتقال و گازپاچو با کاهش فرکانس نبض افزایش یافت. ۱۶.۴.۱.۳ شکل پالس و قطبیت پالس های واپاشی نمایی و موج مربعی دو شکل پالس رایج هستند .

شکل موج های دیگری مانند دوقطبی، معکوس بار فوری یا پالس های نوسانی بسته به طراحی مدار استفاده شده است. موج ولتاژ واپاشی نمایی یک ولتاژ یک جهته است که به سرعت به حداکثر مقدار افزایش می یابد و به آرامی به صفر می رسد. بنابراین غذا برای مدت کوتاهی در معرض ولتاژ پیک قرار می گیرد. از این رو، پالس‌های فروپاشی نمایی دارای یک دم بلند با یک میدان الکتریکی کم هستند که طی آن گرمای اضافی در غذا بدون اثر ضد میکروبی ایجاد می‌شود (ژانگ و همکاران(۱۹۹۵ .a)

پالس های پوسیدگی نوسانی کمترین کارایی را دارند زیرا از قرار گرفتن مداوم سلول در معرض میدان الکتریکی با شدت بالا برای مدت زمان طولانی جلوگیری می کنند، بنابراین از تجزیه غیرقابل برگشت غشای سلول در یک منطقه بزرگ جلوگیری می کنند .(Jeyamkondan et al.1999)شکل موج مربعی ممکن است با استفاده از یک PFN متشکل از آرایه ای از خازن ها و سلف ها یا با استفاده از کابل کواکسیال بلند و دستگاه های سوئیچ حالت جامد ایجاد شود .

نقطه ضعف استفاده از امواج مربعی ولتاژ بالا در تلاش برای تطبیق مقاومت بار غذا با امپدانس مشخصه خط انتقال است. با تطبیق امپدانس ها می توان انتقال انرژی بالاتری به محفظه درمان به دست آورد. ژانگ و همکاران (a۱۹۹۴) غیرفعال شدن S. cerevisiae را در هنگام استفاده از پالس های مربعی ۶۰ درصد بیشتر از پالس های در حال پوسیدگی نمایی گزارش کردند .

اگرچه نتایج در مقالات قطعی نیست، پالس‌های دوقطبی کشنده‌تر از پالس‌های تک قطبی (مربع یا فروپاشی نمایی) هستند، زیرا پالس‌های دوقطبی باعث تغییرات متناوب در حرکت مولکول‌های باردار می‌شوند که منجر به استرس اضافی در غشای سلولی و افزایش تجزیه الکتریکی آن می‌شود Qin .و همکاران ۱۹۹۴، Barbosa-Cánovasو همکاران ۱۹۹۹، Evrendilekو Zhang ۲۰۰۵) .

پالس های دوقطبی همچنین مزایای استفاده از حداقل انرژی، کاهش رسوب جامدات روی سطح الکترود و کاهش الکترولیز مواد غذایی را ارائه می دهند. این مزایا توسط Qin و همکاران(۱۹۹۴) در Bacillus subtilis و Evrendilek و) Zhang (2005 در E. coli O157:H7در شیر بدون چربی آزمایش شد.

هو و همکاران (۱۹۹۵) پالس‌های معکوس فوری را پیشنهاد کرد که در آن بار ابتدا تا حدی مثبت و بلافاصله پس از آن تا حدی منفی است. اعتقاد بر این است که اثر غیرفعال شدن یک پالس معکوس فوری به دلیل استرس متناوب قابل توجهی بر سلول میکروبی است که باعث خستگی ساختاری می شود. آمیالی و همکاران (b2006)از پالس‌های موج مربعی معکوس فوری استفاده کرد و دریافت که این نوع موج‌ها از نظر پاستوریزه کردن محصول تخم مرغ کارآمدتر از سایر شکل‌ها هستند، زیرا بار معکوس فوری و پالس‌های شکل موج مربع را ترکیب می‌کنند.

دمای درمان

دمای درمان بر اثربخشی PEF بر روی مواد سلولی تأثیر گذار است. از آنجایی که عملیات PEF معمولاً دمای محصول را افزایش می دهد (عمدتاً به دلیل اجزای گرمایش اهمی)، گاهی اوقات از یک دستگاه خنک کننده برای حفظ دما در سطوحی استفاده می شود که خواص تغذیه ای، حسی یا عملکردی محصولات را حفظ می کند. از طرف دیگر، استفاده از PEF در دماهای ملایم باعث افزایش غیرفعال شدن میکروبی می شود .

دان و پرلمن (۱۹۸۷) دریافتند که ترکیبی از PEF و گرما نسبت به عملیات حرارتی معمولی به تنهایی کارآمدتر است. سطح بالاتری از غیر فعال سازی با استفاده از ترکیبی از دمای ۵۵ درجه سانتی گراد و PEF برای تصفیه شیر به دست آمد. دان (۱۹۹۶) پس از چند ثانیه در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد به همراه PEF تلقیح شده در شیر ۶ لگاریتم کاهش یافت .

افزایش دمای تیمار از ۷ درجه سانتی گراد به ۲۰ درجه سانتی گراد به طور قابل توجهی غیرفعال سازی PEF E. coli را در شیر اولترافی شبیه سازی شده (SMUF) افزایش داد. با این حال، افزایش بیشتر دما از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۳۳ درجه سانتیگراد منجر به افزایش

بیشتر در غیرفعال شدن PEF نشد (ژانگ و همکاران b1995)رینا و همکاران (۱۹۹۸) نرخ غیر فعال سازی بالاتر L. monocytogenes در شیر را با افزایش دما از ۲۵ درجه سانتیگراد تا ۵۰ درجه سانتیگراد گزارش کردند .

در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و میدان الکتریکی ۳۰ کیلوولت بر سانتی متر، کاهش ۳.۵ log از L. monocytogenes پس از ۶۰۰ میلی ثانیه درمان به دست آمد، در حالی که در ۵۰ درجه سانتی گراد بیش از ۴ واحد کاهش ورود به سیستم Sepúlveda-Ahumada و همکاران به دست آمد. (a2005) افزایش قابل توجهی از غیرفعال سازی PEF را در ۵۵ درجه سانتیگراد در L. innocua معلق در یک بافر مشاهده کردند.

شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس ها در محدوده ۳۱-۴۰ کیلوولت بر سانتی متر و ۵-۳۵ پالس اعمال شد. این نویسندگان هم افزایی بین درمان حرارتی و PEF پیدا کردند. پیشنهاد شد که افزایش قابل توجه اثر غیرفعال سازی PEF در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد ممکن است به دلیل وقوع انتقال فاز بر روی غشای سلولی L. innocua در این دما باشد، زیرا ممکن است نازک شدن غشای باکتری باعث ایجاد باکتری شود.

سلول ها بیشتر مستعد اختلال در میدان های الکتریکی هستند (جایارام و همکاران ۱۹۹۲). راویشانکار و همکاران (۲۰۰۲) همچنین E. coli O ۷:H۱۵۷ را در قدرت میدان الکتریکی (۱۵-۳۰ کیلوولت بر سانتی متر)، تعداد پالس (۱-۲۰) و دما (۵ درجه سانتی گراد تا ۶۵ درجه سانتی گراد) با استفاده از یک محفظه ساکن و صمغ ژلان بررسی کردند. ژل به عنوان یک محیط تعلیق. نویسندگان دریافتند که انرژی حرارتی در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد شروع به تأثیرگذاری کرد .

در این دما، کاهش ۱ log به انرژی حرارتی نسبت داده شد. بالاتر از این دما، تمام کاهش ها به طور کامل به انرژی حرارتی نسبت داده شده است. نویسندگان اظهار داشتند که هیچ هم افزایی بین انرژی های حرارتی و PEF همزمان وجود ندارد .

باژال و همکاران (۲۰۰۶) اثر ترکیبی عملیات حرارتی با PEF را بر غیرفعال کردن E. coli O ۷:H۱۵۷ در تخم مرغ کامل مایع بررسی کردند. استحکام میدان الکتریکی از ۹ تا ۱۵ کیلوولت بر سانتی‌متر متغیر بود و دمای تیمار ۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۵۵ درجه سانتی‌گراد یا ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. در ۶۰ درجه سانتی گراد، کاهش ۲ ورود به سیستم E. coli O ۷: H۱۵۷ با استفاده از عملیات حرارتی به تنهایی به دست آمد، در حالی که ترکیبی از گرما و PEF منجر به کاهش ۴ log شد .

این نتایج نشان دهنده هم افزایی بین دما و میدان الکتریکی بود. افزایش نرخ غیرفعال شدن با دما به کاهش پتانسیل شکست غشایی در دماهای بالاتر نسبت داده می شود (Zimmermann 1986) استنلی (۱۹۹۱) پیشنهاد کرد که مولکول‌های فسفولیپید در غشای سلولی تحت تغییرات دما قرار می‌گیرند و از یک ساختار ژل مانند سفت به فاز کریستال مایع با مرتبه کمتر در دمای بالاتر تغییر می‌کنند، بنابراین مقاومت مکانیکی غشای سلولی کاهش می‌یابد .

استنباط دیگری که توسط شوان (۱۹۵۷) پیشنهاد شد این بود که اثر کشنده بالاتر PEF همراه با گرما ممکن است به دلیل افزایش رسانایی الکتریکی محیط باشد و آن را شبیه رسانایی الکترولیتی کند (باربوسا-کانواس و همکاران ۱۹۹۹، Sepúlveda Ahumada و همکاران الف ۲۰۰۵).

شکل عملیات

به طور کلی، فرآیندهای پیوسته برای مایعات به نرخ غیرفعال سازی بالاتری نسبت به فرآیندهای در حالت دسته ای دارند. مارتین و همکاران (۱۹۹۷) گزارش داد که برای دستیابی به کاهش ۲ log از E. coli تلقیح شده در شیر با حالت دسته ای، ۶۴ پالس و ۳۵ کیلوولت بر سانتی متر مورد نیاز است، در حالی که برای حالت پیوسته، ۲۵ پالس و ۲۵ کیلوولت بر سانتی متر کافی است و عملکرد PEF در حالت پیوسته برای جامدات بسیار چالش برانگیزتر است.

عوامل محصول

pH و قدرت یونی

Vega-Mercado(۱۹۹۶) اثر pH و قدرت یونی محیط SMUF را در طی تیمار PEF مورد مطالعه قرار داد. نویسندگان گزارش کردند که هرچه pH و قدرت یونی کمتر باشد، نرخ غیرفعال سازی بالاتر است. هنگامی که قدرت یونی از ۱۶۸ به ۲۸ میلی‌مولار کاهش یافت، نسبت غیرفعال‌سازی از غیرقابل تشخیص به ۲.۵ سیکل log افزایش یافت. همچنین، زمانی که pH از ۶.۸ به ۵.۷ کاهش یافت، نسبت غیرفعال سازی از ۱.۵ به ۲.۲ چرخه log افزایش یافت .

تیمار PEF و قدرت یونی مسئول الکتروپوراسیون و فشرده‌سازی غشای سلولی بودند، در حالی که pH محیط سیتوپلاسم را تحت تأثیر قرار داد که الکتروپوراسیون کامل شد. آلوارز و همکاران (۲۰۰۰) همچنین تأثیر pH محیط تیمار را بر غیرفعال کردن سالمونلا سنفتنبرگ توسط تیمار PEF مطالعه کردند. نویسندگان دریافتند که در رسانایی الکتریکی یکسان، غیرفعال شدن S. Senftenberg در حالت خنثی (۷.۰) بیشتر از pH اسیدی (۳.۸) بود.

رسانایی الکتریکی

رسانایی الکتریکی یک محیط(S, s/m) ، که به عنوان توانایی هدایت جریان الکتریکی تعریف می شود، یک متغیر مهم در درمان PEF است:

"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

به طوریکه:

....رسانایی الکتریکی محیط است(s/m)

مقاومت محیط است (R)

A مساحت سطح الکترود(m) ۲ (m) d (و R به ترتیب شکاف بین الکترودها و مقاومت است. هدایت الکتریکی یک محیط به دمای تصفیه بستگی دارد که توسط:

"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

تعریف میشود که در آن آلفا و بتا بسته به ترکیب و غلظت محیط ثابت هستند.

در شرایط دمای ثابت، مواد غذایی با رسانایی الکتریکی بالا (مقاومت کم) میدان های الکتریکی کوچکتری را در سراسر محفظه تصفیه نشان می دهند و بنابراین درمان با فرآیند PEF دشوار است. افزایش رسانایی الکتریکی قدرت یونی غذا را افزایش می دهد و در نتیجه سرعت غیرفعال شدن را کاهش می دهد. علاوه بر این، افزایش تفاوت بین رسانایی الکتریکی سیتوپلاسم محیطی و میکروبی، ساختار غشا را به دلیل افزایش جریان ماده یونی در سراسر غشاء ضعیف می‌کند (جایارام و همکاران ۱۹۹۲).

آلوارز و همکاران (۲۰۰۰) تأثیر رسانایی محیط درمان را بر غیرفعال شدن S. Senftenberg توسط تیمار PEF مورد مطالعه قرار دادند. نویسندگان دریافتند که در ولتاژ ورودی ثابت، قدرت میدان الکتریکی بدست آمده در محفظه تصفیه به رسانایی متوسط بستگی دارد. در همان قدرت میدان الکتریکی، رسانایی بر غیرفعال شدن S. Senftenberg تأثیری نداشت.

ترکیب

اجزای غذایی مانند چربی و پروتئین ممکن است بر اثر PEF بر محصول غذایی تأثیر بگذارند. این اثرات ممکن است به ظرفیت برخی از مواد برای محافظت از میکروارگانیسم ها در برابر میدان کاربردی یا توانایی برخی گونه های شیمیایی برای تثبیت یا جلوگیری از مهاجرت یون مربوط باشد. مارتین و همکاران (۱۹۹۷) دریافتند که غیرفعال سازی E. coli در شیر به دلیل وجود پروتئین های شیر محدودتر از محلول بافر است.

Grahl و Märkl (۱۹۹۶) محیط های مختلف (شیر با ۱.۵٪ و ۳.۵٪ چربی، محلول های سدیم-آلژینات) تلقیح شده با E. coli و سایر میکروارگانیسم ها را در معرض PEF قرار دادند. شرایط تصفیه ۵-۱۵ کیلوولت بر سانتی متر، ۱-۲۲ هرتز است و دما از ۴۵ درجه سانتی

گراد تا ۵۰ درجه سانتی گراد تجاوز نمی کند. نویسندگان متوجه شدند که به نظر می رسد ذرات چربی شیر از باکتری ها در برابر پالس های الکتریکی محافظت می کند .

پیکارت و همکاران (۲۰۰۲) همچنین ادعا کردند که شیر کامل با محتوای چربی بالاتر (۳/۶٪) در مقایسه با شیر بدون چربی در دمای بین ۲۵ تا ۴۵ درجه سانتی گراد، فرکانس تکرار پالس ۱.۱ هرتز و غیرفعال سازی L. innocua را کاهش می دهد. شدت الکتریکی ۲۹ کیلو ولت بر سانتی متر در حال حاضر هیچ توافقی در مورد تأثیر احتمالی محتوای چربی بر غیرفعال سازی PEF وجود ندارد .

رینا و همکاران (۱۹۹۸) اثر تیمار PEF را در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد در ۳۰ کیلوولت بر سانتی متر و فرکانس ۱۷۰۰ هرتز در شیر با محتوای چربی متفاوت مقایسه کردند. نویسندگان L. monocytogenes را به شیر بدون چربی، شیر ۲٪ چربی و شیر کامل تلقیح کردند و اثرات محتوای چربی را بر میزان غیرفعال سازی ارزیابی کردند. هیچ تفاوتی بین نتایج مشاهده نشد. ماناس و همکاران (۲۰۰۱) از کرم چربی امولسیون شده ۳۳ درصد برای آزمایش اثر چربی بر غیرفعال شدن E. coli توسط تیمار PEF استفاده کردند. تیمار تحت فشار ۳۴ کیلوولت بر سانتی متر با فرکانس پالس ۱.۱ هرتز و دمای کمتر از ۳۰ درجه سانتی گراد انجام شد. نتیجه این بود که به نظر نمی رسد لیپیدهای امولسیون شده در برابر غیرفعال شدن میکروبی توسط پالس های الکتریکی محافظت کنند .

سوبرینو-لوپز و همکاران (۲۰۰۶) همچنین ادعا کرد که محتوای چربی شیر مقاومت استافیلوکوکوس اورئوس را به درمان PEF تغییر نمی دهد. سه نوع شیر (کامل، ۱.۵ درصد و بدون چربی) در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، ۳۰ تا ۳۵ کیلوولت بر سانتی متر و فرکانس ۱۰۰ هرتز تیمار شدند.

سینتیک غیر فعال میکروبی

هنگامی که میکروارگانیسم ها با گرما درمان می شوند، لگاریتم جمعیت سلولی، به صورت خطی، با زمان درمان برای شدت درمان ثابت کاهش می یابد. همچنین اعتقاد بر این است که فناوری‌های جایگزین برای پردازش مواد غذایی میکروارگانیسم‌ها را به صورت لگاریتمی غیرفعال می‌کنند. مدل‌های دوز-پاسخ از داده‌های جنبشی برای پیش‌بینی کارایی متغیرهای فرآیندهای جایگزین مشتق شده‌اند .

در موردPEF ، چنین مدل هایی بر اساس نمودارهای غیرفعال سازی سیگموئیدی هستند. همانطور که قبلا گفته شد، اثر کشنده PEF به عنوان تابعی از شدت میدان، زمان درمان (مدت زمان پالس و تعداد پالس ها) و یک ثابت مدل تعیین شده توسط میکروارگانیسم و وضعیت فیزیولوژیکی آن و غیرفعال سازی میکروبی در محیط مایع توصیف شده و گزارش شده است که از سینتیک مرتبه اول به شرح زیر پیروی می کند(Hülsheger et al 1981., Grahl and Märkl 1996) :

"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

به طوریکه:

Sمیزان بقای میکروبی است

BEیک ثابت میدان الکتریکی است که به عنوان ضریب رگرسیون منحنی‌های بقا مستقیم به دست می‌آید

Eمیدان الکتریکی اعمال می شود

Ecمقدار بحرانی میدان الکتریکی است که در زیر آن غیرفعال نمی شود (که ۱۰۰٪ بقا است.)

زمان درمان را می توان به عنوان حاصل ضرب تعداد پالس ها و عرض پالس محاسبه کرد. سینتیک غیرفعال سازی بر حسب زمان درمان به عنوان (Hülsheger et al 1996., Grahl and Märkl 1981) ارائه شده است:

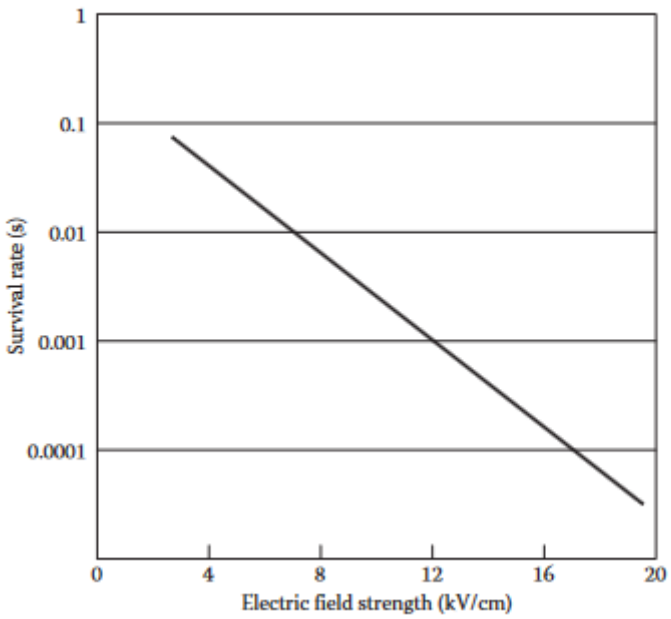
"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

به طوریکه :

Btثابت میدان الکتریکی یا ضریب رگرسیون منحنی‌های بقا مستقیم است

tزمان درمان است

tcزمان بحرانی است که در زیر آن هیچ غیر فعال سازی وجود نخواهد داشت .



شکل۱۶.۳ منحنی معمولی نرخ غیرفعال شدن میکروارگانیسم ها توسط تیمار PEF

ترکیب معادلات ۱۶.۵ و ۱۶.۶ بازده دارد.

"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

که در آن k یک عامل ثابت است که می توان آن را به صورت زیر بیان کرد:

"فرمول هست که قابل تایپ نیست"

اگر لگاریتمی به پایه ۱۰ در دو طرف معادله ۱۶.۷ در نظر گرفته شود، سمت چپ چنین معادله ای نشان دهنده نسبت غیرفعال سازی یا کاهش log است که به کاهش ۹۰ درصدی جمعیت میکروارگانیسم اولیه اشاره دارد. معادله تبدیل شده همچنین نشان می دهد که نسبت غیرفعال سازی به صورت خطی به قدرت میدان اعمال شده و از نظر لگاریتمی به زمان درمان بستگی دارد .

اگر چه قدرت میدان الکتریکی اثر بارزتری نسبت به زمان درمان نشان می‌دهد، هر دو عنصر مهمی هستند. به غیر از قدرت میدان الکتریکی و زمان درمان، برخی متغیرهای دیگر مانند ویژگی‌های پالس نیز می‌توانند بر نسبت غیرفعال‌سازی میکروبی و سینتیک واکنش در پردازش PEF تأثیر بگذارند. در یک فرآیند خاص، یک میدان ولتاژ بالا به یک ماده غذایی که بین دو الکترود قرار دارد تخلیه می‌شود و به شکل پالسی آزاد می‌شود .

قدرت میدان عملیاتی بین ۱۰ تا ۷۰ کیلوولت بر سانتی‌متر است، در حالی که مدت زمان پالس‌ها می‌تواند از محدوده Ms تا MS متفاوت باشد. فرکانس پالس ها می تواند به اندازه یک پالس کم یا تا ۲۰۰۰ پالس در ثانیه باشد. با در نظر گرفتن معادلات جنبشی، مقادیر کوچکتر Ec یا tc و مقادیر بالاتر BE و Bt نشان دهنده حساسیت بیشتر میکروارگانیسم خاص به پردازش PEF است. سینتیک مرتبه اول بالا ممکن است برای اکثر کاربردهای PEF ساده باشد .

پدیده های دنباله دار در سینتیک غیرفعال سازی میکروبی مشاهده شده است (Sensoy et al.1997) یک مدل جنبشی دو فازی ممکن است برای توصیف مناسب سینتیک غیرفعال سازی PEF مورد نیاز باشد. برخی دیگر از مدل‌های جنبشی غیرفعال‌سازی پیچیده‌تر گزارش شده‌اند .(Anderson et al.1996, Raso et al.2000) جستجو برای قوی ترین مدل جنبشی برای غیرفعال سازی PEF

میکروارگانیسم ها در حال حاضر ادامه دارد. سلول های باکتری به طور کلی نسبت به سلول های مخمر نسبت به غیر فعال سازی PEF مقاوم تر هستند .

با این حال، هاگ ها در برابر PEF مقاوم ترین هستند. سلول های رویشی در مرحله رشد لگاریتمی نسبت به غیر فعال سازی PEF حساس تر هستند. افزایش رسانایی محیط به طور کلی باعث کاهش اثربخشی PEF برای غیرفعال‌سازی میکروبی می‌شود، زیرا هرچه رسانایی یک محیط بیشتر باشد، پیک میدان الکتریکی قابل دستیابی در انرژی ورودی ثابت کمتر است.

جنبه های کیفی پردازش PEF

درمان PEF ممکن است بر خواص فیزیکی و شیمیایی محصولات تأثیر بگذارد. ماهیت و میزان تأثیر PEF بر تغییرات کیفیت هنوز به طور فعال مورد بحث قرار می گیرد. بارسوتی و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد که تیمار PEF امولسیون های مدل و کرم لبنی مایع ممکن است منجر به پراکندگی قطرات روغن و تجزیه دانه های گلبول چربی شود .

کوین و همکاران (۱۹۹۵) هیچ تغییر آشکاری در ویژگی های فیزیکی و شیمیایی شیر فرآوری شده PEF گزارش نکرد. درمان PEF غذاهای مایع مختلف از جمله آب سیب، آب پرتقال و شیر هیچ تغییر فیزیکی و شیمیایی قابل توجهی را نشان نداده است (جیا و همکاران ۱۹۹۹، چارلز رودریگز و همکاران ۲۰۰۷، شین و همکاران ۲۰۰۷). آب زغال اخته و شیر شکلات فرآوری شده با PEF خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ کردند (Evrendilek\و همکاران ۲۰۰۱)

کاهش جزئی در محتوای ویتامین C در آب پرتقال تیمار شده با PEF در مقایسه با آب پرتقال تیمار شده با حرارت مشاهده شد (ژانگ و همکاران ۱۹۹۷). گالاردو-ریس و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه تطبیقی آب پرتقال پاستوریزه شده با دمای فوق العاده بالا) (UHT) (فرآوری در ۱۱۰ درجه سانتیگراد، ۱۲۰ درجه سانتیگراد و ۱۳۰ درجه سانتیگراد برای ۲ و ۴ ثانیه) و PEF (۲۰ و ۲۵ کیلوولت بر سانتی متر برای ۲ میلی ثانیه) انجام داد).

نویسندگان به این نتیجه رسیدند که اگرچه هیچ تفاوتی در pH و مواد جامد محلول به‌دست‌آمده با هر دو تیمار و نمونه‌های کنترل تازه فشرده وجود ندارد، اما رنگ نمونه تیمار شده با PEF به شاهد نزدیک‌تر بود. تلاش هایی برای بهبود استخراج آب از گیاهان و محصولات میوه با استفاده از PEF صورت گرفته است Bazhal and Vorobiev2000), Schilling et al. 2007). PEF ممکن است استخراج مقادیر بیشتری از ترکیبات با ارزش را در آب استخراج افزایش دهد و در نتیجه کیفیت بالایی داشته باشد .

تورگروسا و همکاران (۲۰۰۶) هنگامی که محصول با ۲۵ کیلوولت بر سانتی متر تیمار شد، محتوای ویتامین A بیشتری را در آب پرتقال-هویج، در مقایسه با نمونه های شاهد تیمار نشده گزارش کرد. آب سیب حاوی چندین ترکیب فنلی از جمله اسید کلروژنیک (5 - CQA) کاتچین، پروسیانیدین، گلیکوزیدهای کورستین و فلوریدزین است. شیلینگ و همکاران (۲۰۰۷) ترکیبات فنلی آب میوه های به دست آمده از پوره تیمار شده با PEF و نمونه های تیمار نشده را کنترل کردند .

تیمارهای PEF در شدت های میدانی ۱، ۳ و ۵ کیلوولت بر سانتی متر بود. تفاوت معنی داری بین نمونه های تیمار شده و تیمار نشده وجود نداشت. با این حال، خیساندن آنزیمی پوره سیب منجر به افزایش قابل توجه گلیکوزیدهای کورستین شد. نویسندگان همچنین گزارش کردند که هیچ تفاوتی در ظرفیت آنتی اکسیدانی آب سیب وجود ندارد.

سپس فرض شد که این واقعیت که پتانسیل آنتی اکسیدانی تحت تاثیر قرار نگرفت نشان می دهد که تشکیل رادیکال در طول درمان PEFصورت نگرفته است.

جدول ۱۶.۱

پارامترهای کیفی آب سیب از نمونه های شاهد و تیمار شده با PEF

Parameter	Apple Juice		Sugar Beet Juice	
	PEF	Control	PEF	Control
Density (kg/m³)	1059.4	1057.7	1.0392	1.038
Brix	13.8	13.1	9.8	9.5
pH	3.91	3.84	5.6	5.65
Pectin (mg/L)	290	517		
Kinematic viscosity (10^{-6} m²/s)	5.917	6.747	2.284	2.595
Absorbance (wavelength of 520 nm)				
Filtered	0.02	0.39		
Nonfiltered	0.03	1.18		
Transmittance	0.67	0.33		

جدول ۱۶.۱ تأثیر تیمار PEF را بر کیفیت آب بیان شده از سیب و چغندر قند نشان می دهد. داده های جدول ۱۶.۱ از لازارنکو و همکاران به دست آمده است. (۱۹۷۷) Bazhal and Vorobiev (2000) وBazhal (2001). Bazhal و Vorobiev (2000) گزارش کردند که آب حاصل از نمونه های تیمار شده در E = ۸۰۰ V/cm سبک تر (جذب = ۰.۰۲) از آب تولید شده از بافت سیب با پالس E = ۱۵۰ V (cm /جذب = ۰.۰۷) بود.

تغییر قابل توجه در رنگ آب میوه ممکن است به مهار پلی فنول اکسیداز توسط میدان های الکتریکی نسبت داده شود (Giner et al. ۲۰۰۱ .(لازارنکو و همکاران (۱۹۷۷) پیشنهاد کردند که میدان الکتریکی می‌تواند زنجیره‌های مولکول‌های پکتین را بشکند که منجر به کاهش غلظت پکتین و در نتیجه کاهش ویسکوزیته سینماتیکی آب‌میوه‌های استخراج‌شده می‌شود. ویسکوزیته کمتر باعث بهبود تصفیه آب می شود.

کاهش در انتقال آب پس از الکتروپلاسمولیز نشان دهنده کاهش محتویات ذرات معلق به دلیل بهبود خواص فیلتراسیون بافتی است که ناشی از منافذ اضافی تشکیل شده در دیواره سلولی پس از درمان PEF است. تیمار PEF چغندرقند منجر به افزایش خلوص شیره استخراج شده در مقایسه با فرآوری سنتی با پلاسمولیز حرارتی میشود.

با وجود شستشوی دمای پایین‌تر برای نمونه‌های تیمار شده باPEF ، از دست دادن ساکارز در خمیر از ۰.۶۲٪ (چغندر تیمار شده با حرارت) به ۰.۵۷٪ کاهش یافت (Knorr et al.2001) مشخص نیست که آیا تمام آنالیزهای شیمیایی لازم برای بررسی کامل اثر PEF بر کیفیت غذاهای فرآوری شده انجام شده است یا خیر. با این حال، اجماع واضح این است که محصولات غذایی مایع معمولاً کیفیت تازه خود را پس از درمان PEF حفظ می کنند .

محصولات غذایی جامد هنگام درمان با PEF دچار تغییرات قابل توجهی می شوند. تغییرات در هدایت الکتریکی نمونه‌های گیاهی تیمار شده نشان‌دهنده افزایش نفوذپذیری سلولی بود (لبوفکا و همکاران ۲۰۰۰، ۲۰۰۱). جدول ۱۶.۲ نشان می دهد که ضریب انتشار قند از چغندر از ۰.۶۸ × ۱۰-۹ به ۱.۲ × ۱۰-۹ m۲ / s پس از تیمار PEF افزایش می یابد .(Gulyi et al.1994), Jemai1997)

جدول ۱۶.۲

برخی خواص بافت گیاهی تخمین زده شده برای نمونه های پالس نشده (شاهد) و PEF

Parameter	Value of Parameter: Control	Value of Parameter: PEF Treatment	Material	Operation	Reference
Electrical conductivity (S/m)	0.003–0.007	0.035–0.070	Apple	Conductivity measurement	Lebovka et al. (2001)
Electrical conductivity (S/m)	0.03	0.41	Carrot	Conductivity measurement	Rastogi et al. (1999)
Electrical conductivity (S/m)	0.06	0.53	Potato	Conductivity measurement	Knorr and Angersbach (1998)
Porosity (%)	67	75	Apple	Using of penetrometer	Bazhal et al. (2003b)
Water diffusion coefficient (m^2/s)	0.98×10^{-9}	1.55×10^{-9}	Carrot	Osmotic dehydration	Rastogi et al. (1999)
Sugar diffusion coefficient (m^2/s)	0.68×10^{-9}	1.2×10^{-9}	Sugar beet	Leaching	Gulyi et al. (1994)
Mass transfer coefficient (kg/m^2 s)	0.043	0.058	Paprika	Drying	Ade-Omowaye et al. (2002)
Constant drying rate (kg/m^2 s)	9.68×10^{-4}	13.02×10^{-4}	Paprika	Drying	Ade-Omowaye et al. (2002)
Heat transfer coefficient (W/m^2 s)	73.13	98.36	Paprika	Drying	Ade-Omowaye et al. (2002)
Elastic modulus (MPa)	12.5	6.5	Sugar beet	Compression test	Matvienko (1996)
Elastic modulus (MPa)	1.53	0.32	Apple	Compression test	Bazhal et al. (2003b)
Failure stress (MPa)	1.26	0.53	Apple	Compression test	Bazhal et al. (2003b)

پس از تیمار PEF کاهش یافته است (Bazhal۲۰۰۱). ریزساختار ماهی قزل آلا و مرغ به دلیل درمان PEF به طور قابل توجهی تغییر کرد زیرا سلول‌های عضلانی در اندازه کاهش یافتند و شکاف ایجاد شد (Gudmundsson and Mafsteinsson۲۰۰۱). درمان میدان الکتریکی به طور کلی بر غشاهای سلولی بیولوژیکی تأثیر می گذارد در حالی که گرما دیواره های سلولی را تخریب می کند (Calderón-Miranda et al.۱۹۹۹). پتانسیل ایجاد تغییرات رئولوژیکی در محصول در نتیجه درمان PEF وجود دارد. این پدیده به نوع محصول درگیر بستگی دارد و نیاز به بررسی های دقیق دارد.

اثرات PEF بر کیفیت شیر و پنیر

در سال‌های اخیر، با تقاضای شیر و فرآورده‌های شیری با کیفیت بالا، محققان بیشتر و بیشتر بر روی مطالعات از دست دادن ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی در شیر و فرآورده‌های شیر به دنبال درمان با میدان الکتریکی پالس تمرکز کرده‌اند (Qin et al. ۱۹۹۵, Dunn, ۱۹۹۵). Evrendilek و همکاران ۱۹۹۶) ، Michalac و همکاران ۲۰۰۳ ، ۲۰۰۸. al. .(در مورد تأثیر PEF بر فرآیند و کیفیت پنیر، کار تحقیقاتی محدودی یافت شد Sepúlveda-Ahumada) و همکاران ۲۰۰۰).

دان (۱۹۹۶) گزارش داد که شیر تیمار شده با PEF (E=۸۰-۲۰ kV/cm) دچار تخریب طعم کمتری شد. نویسنده امکان تولید محصولات لبنی مانند پنیر، کره و بستنی را با استفاده از شیر تیمار شده با PEF پیشنهاد کرد، اگرچه اطلاعات دقیقی در گزارش او ارائه نشد .
کوین و همکاران (۱۹۹۵) مطالعه ای در مورد ماندگاری، خواص فیزیکوشیمیایی و ویژگی های حسی شیر با ۲٪ چربی شیر، تیمار شده با ۴۰ کیلوولت بر سانتی متر میدان الکتریکی و ۶ تا ۷ پالس انجام داد. در مقایسه با نمونه ای که با پاستوریزاسیون حرارتی تیمار شده بود، هیچ تغییر فیزیکوشیمیایی یا حسی پس از درمان مشاهده نشد Bendicho .و همکاران (۱۹۹۹) تخریب ریبوفلاوین، تیامین (محلول در آب) و توکوفرول (محلول در لیپومحلول) در شیر را با تیمار با PEF (E=۳۳-۱۶ kV/cm؛ N=۱۰۰ پالس) مطالعه کردند .
غلظت ویتامین قبل و بعد از درمان با HPLC تعیین شد. نویسندگان هیچ تخریبی در ویتامین ها با درمان با حبوبات مشاهده نکردند .
میکالاک و همکاران (۲۰۰۳) تغییرات رنگ، pH، پروتئین ها، رطوبت و اندازه ذرات شیر بدون چربی UHT تحت تیمار با PEF (E=۳۵ kV/cm؛ W = ۳Ms ؛ و زمان=۹۰ Ms) را مطالعه کردند. نویسندگان هیچ تفاوتی در پارامترهای مورد مطالعه (رنگ، pH، پروتئین، رطوبت و اندازه ذرات) قبل و بعد از درمان مشاهده نکردند.

Sepúlveda-Ahumadaو همکاران. (۲۰۰۰) خصوصیات بافتی و ویژگی های حسی پنیر چدار ساخته شده با شیر تیمار شده با حرارت، شیر تیمار شده باPEF (E=20-80 kV/cm)حبوبات و شیر تیمار نشده را مقایسه کردند. در مطالعه سختی و فنری، پنیرهای تهیه شده از شیر پاستوریزه شده به هر روشی سخت تر از پنیرهای تهیه شده از شیر تصفیه نشده بودند. در ارزیابی حسی، اعضای پانل همچنین تفاوت هایی را بین پنیرهای ساخته شده از شیر تصفیه نشده و شیر تیمار شده با PEF یا حرارت پیدا کردند .
صرف نظر از تفاوت ها، نویسندگان همچنان استفاده از شیر تیمار شده با PEF را برای به دست آوردن پنیر به عنوان یک گزینه عملی به منظور بهبود کیفیت محصول در نظر گرفتند. یوم و همکاران (۲۰۰۷) یک ماست تجاری، ساده و کم چرب مخلوط با ژله میوه و شربت را مطالعه کرد. آنها تغییرات در ویژگی‌های فیزیکیpH) ، رنگ و بریکس) و ویژگی‌های حسی را در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد پس از تیمار با) PEF میدان الکتریکی = ۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر؛ زمان تیمار = ۳۲ میلی‌ثانیه) و گرما = T) ۶۵ درجه) مشاهده کردندC .؛ زمان = ۳۰ ثانیه).
ارزیابی حسی نشان داد که هیچ تغییری بین نمونه‌های کنترل و نمونه‌های تیمار شده وجود ندارد. همچنین هیچ تغییری در رنگ، pHو بریکس وجود نداشت. اورندیلک و همکاران (۲۰۰۱) رنگ، pH، بریکس و رسانایی را در ۴ درجه سانتیگراد، ۲۲ درجه سانتیگراد و ۳۷ درجه سانتیگراد در شیر با شکلات با استفاده از تیمار باPEF (E=35 kV/cm؛ W = 3 Ms ؛ زمان=۴۵ Ms) مورد مطالعه قرار دادند. و PEF +حرارت (۱۱۲ درجه سانتیگراد و ۱۰۵ درجه سانتیگراد، ۳۳ ثانیه).
آنها نتایج را با یک نمونه کنترل که توسط PEF یا حرارت درمان نشده مقایسه کردند. اندازه گیری پارامترهایa ، bو L در دمای ۴ درجه سانتی گراد نشان داد که تیمارهای PEF در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و PEF در دمای ۱۱۲ درجه سانتی گراد تغییری در رنگ ایجاد نکردند Sepúlveda-Ahumada (2003) .شیر پاستوریزه HTST را با میدان الکتریکی ۳۵ کیلوولت بر سانتی متر و عرض پالس ۲.۳ Ms در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد برای کمتر از ۱۰ ثانیه تیمار کرد .
تیمارهای PEF یا بلافاصله پس از پاستوریزاسیون حرارتی برای تولید محصول ماندگاری طولانی‌تر یا ۸ روز پس از پاستوریزاسیون حرارتی برای شبیه‌سازی پردازش پس از حمل و نقل فله استفاده شد. استفاده از PEF بلافاصله پس از پاستوریزاسیونHTST ، عمر ماندگاری شیر را به ۶۰ روز افزایش داد، در حالی که پردازش PEF پس از ۸ روز باعث افزایش ماندگاری ۷۸ روزه شد، هر دو استراتژی‌های موفقی برای افزایش عمر ماندگاری شیر بودند .
لی و همکاران (۲۰۰۳) اثرات PEFs و پردازش حرارتی را بر روی پایداری ایمونوگلوبولین G گاو (IgG) در شیر سویای غنی شده بررسی کردند PEF .در ۴۱ کیلوولت بر سانتی‌متر برای ۵۴ Ms باعث کاهش ۵.۳ log از فلور میکروبی طبیعی شد، بدون اینکه تغییر قابل توجهی در فعالیت IgG گاو ایجاد شود. تجزیه و تحلیل با استفاده از طیف سنجی دو رنگی دایره ای هیچ تغییر قابل تشخیصی در ساختار ثانویه یا پایداری حرارتی ساختار ثانویه IgG پس از تیمار PEF نشان نداد (لی و همکاران۲۰۰۵)

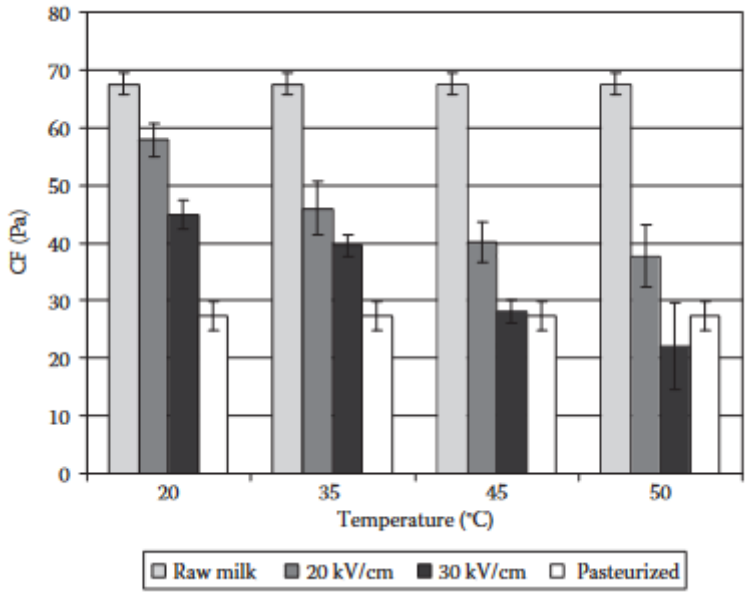
با این حال، در آزمایشی که تأثیر دما بر پایداری IgG در طول تیمار PEF ۳۰)کیلوولت بر سانتی‌متر، Ms۵۴)را بررسی می‌کرد، زمانی که دما به ۴۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، تا ۲۰ درصد از IgG غیرفعال شد .(Li et al.2003) شین و همکاران PEF (2007) ها را با پالس موج مربعی به شیر کامل تلقیح شده با E. coli ، Pseudomonas fluorescens وBacillus stearothermophilus اعمال کردند. نمونه ها در معرض شدت میدان الکتریکی ۳۰-۶۰ کیلوولت بر سانتی متر با عرض پالس ۱ Ms و زمان درمان ۲۶-۲۱۰ Ms در یک سیستم تصفیه PEF پیوسته قرار گرفتند .

هشت کاهش ورود به سیستم برای E. coli و P. fl uorescens و ۳ سیاهه های مربوط برای B. stearothermophilus تحت زمان درمان Ms۲۱۰ ، شدت پالس ۶۰ کیلوولت / سانتی متر در ۵۰ درجه سانتی گراد به دست آمد .

پس از تیمار PEF تغییر معنی داری در pH و اسیدیته تیتراسیون نمونه های شیر مشاهده نشد. شمسی و همکاران (۲۰۰۸) اثرات تیمارهای PEF را بر غیرفعال کردن آلکالین فسفاتاز(ALP) ، تعداد صفحات کل(TPC) ، سودوموناس، و انتروباکتریاسه در شیر خام در شدت‌های مزرعه ۲۵-۳۷ کیلوولت بر سانتی‌متر و دمای نهایی تیمار PEF تعیین کرد، ۱۵ درجه سانتی گراد و ۶۰ درجه سانتی گراد .

در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد، تیمارهای PEF ۳۷-۲۸ کیلوولت بر سانتی متر منجر به غیرفعال شدن ۲۴٪ - ۴۲٪ در فعالیت ALP و کاهش کمتر از ۱ log در تعداد TPC و سودوموناس شد، در حالی که تعداد انتروباکتریاسه حداقل ۲.۱ واحد ورود به سیستم به کمتر از آن کاهش یافت. حد تشخیص ۱ .CFU/ml تیمارهای PEF ۳۵-۲۵ کیلوولت بر سانتی متر در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد منجر به غیرفعال شدن ۲۹٪ - ۶۷٪ در فعالیت ALP و تا ۲.۴ log کاهش در TPC شد، در حالی که تعداد Pseudomonas و Enterobacteriaceae به ترتیب حداقل ۵.۹ و ۲.۱ log کاهش یافت، کمتر از حد تشخیص ۱ .CFU/ml

مطالعات جنبشی نشان داد که اثر شدت میدان بر غیرفعال سازی ALP در دمای نهایی تیمار PEF ۶۰ درجه سانتی گراد بیش از دو برابر در دمای ۱۵ درجه سانتی گراد بود. یک اثر ترکیبی بین شدت مزرعه و دما در غیرفعال شدن آنزیم ALP و فلور میکروبی طبیعی در شیر بدون چربی خام مشاهده شد .



شکل16.4 اثر شدت میدان الکتریکی و دما بر CF .عرض پالس اعمال شده 2us، فرکانس پالس 2 هرتز وعدد پالس 120 است

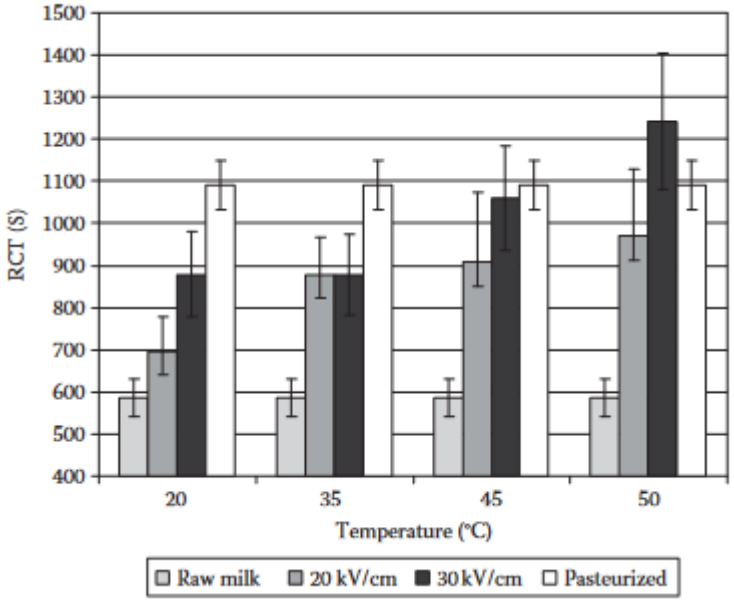
نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که PEF به‌عنوان یک فرآیند غیرحرارتی می‌تواند برای تصفیه شیر خام در دمای ملایم برای دستیابی به ایمنی و ماندگاری کافی و در عین حال حفظ آنزیم‌های حساس به حرارت، مواد مغذی و ترکیبات فعال زیستی مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۱۶.۴ نشان می دهد که شدت فیلد الکتریکی E و دمای تیمار به طور قابل توجهی بر خواص انعقادی مایه پنیر شیر از نظر سختی کشک (CF) تأثیر می گذارد .(Yu et al.2008) افزایش E و دما باعث کاهش CF شد و انعقاد شیر خام بالاترین) CF ۶۷.۵ پاستوریزه) را نشان داد، در حالی که شیر پاستوریزه کمترین مقدار) . (Pa27.4) CFرا داشت و شیر تیمار شده با PEF مقادیری را در این بین ارائه داد .

برای نمونه های تیمار شده باPEF ، تمام مقادیر CF به دست آمده در ۲۰ کیلوولت بر سانتی متر به طور قابل توجهی بالاتر از مقادیر CF برای نمونه های شیر پاستوریزه بود. همچنین، بیشتر داده‌های CF به‌دست‌آمده در ۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری بالاتر از مقادیر CF برای نمونه‌های شیر پاستوریزه بود، به جز مواردی که در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تیمار شده‌اند. نتیجه نشان داد که تیمار شیر با PEF و دمای ملایم بر تغییرات کمتری از نظر خواص انعقادی شیر در مقایسه با شیر پاستوریزه حرارتی تأثیر می‌گذارد .

این نتیجه با یافته دان (۱۹۹۶) مطابقت دارد که شیر خام تیمار شده با PEF (E=35 kV/cm) ؛ عرض پالس = ۱۱۰ (Msرا مطالعه کرد و به این نتیجه رسید که هیچ تغییر فیزیکوشیمیایی قابل توجهی در محدوده تجربی مشابه مشاهده نشد. کوین و همکاران (۱۹۹۵) همچنین نتایج مشابهی را برای شیر ۲ درصد چربی (تصفیه شده با ۴۰ کیلو ولت بر سانتی متر و ۶ تا ۷ پالس) در مقایسه با نمونه ای که با پاستوریزاسیون حرارتی تیمار شده بود، گزارش کرد .

یو و همکاران داده‌های (۲۰۰۸) نشان داد که اعمال میدان الکتریکی ۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر دمای ترکیبی ۵۰ درجه سانتی‌گراد ممکن است منجر به اثر انعقادی مشابه پاستوریزاسیون حرارتی شود (p<۰/۰۵). فاکس و همکاران (۲۰۰۰) نشان داد که عملیات حرارتی شیر در دمای بالای ۶۵ درجه سانتیگراد بر انعقاد مایه پنیر آن تأثیر منفی می گذارد. بنابراین، برای تولید پنیر، دمای عملیات تحت شدت الکتریکی بالاتر (۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر) و پالس‌های طولانی‌تر (تعداد پالس ۱۲۰) ممکن است از ۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نکند تا تشکیل کشک مطلوب به دست آید .



شکل 16.5 اثر شدت میدان الکتریکی و دما بر CF(RCT) .عرض پالس اعمال شده 2us ، فرکانس پالس 2 هرتزوعدد پالس 120 است

شکل ۱۶.۵ نشان می دهد که دمای تیمار و شدت میدان الکتریکی E نیز به طور قابل توجهی بر زمان انعقاد مایه پنیر (RCT) تأثیر می گذارد .E (Yu et al.2008) و دمای بالاتر منجر به RCT طولانی تر میشود .RCT شاخص خوبی از پتانسیل ژل شدن شیر است .RCT کم معمولاً تشکیل ژل بالقوه خوب و استحکام ژل بالا را نشان می دهد. بدیهی است که شیر خام کمترین RCT را به دست آورده است (۵۸۶.۲ ثانیه). شیر پاستوریزه بالاترین) RCT ۱۰۹۱.۰ ثانیه) را به دست آورد در حالی که نمونه های تیمار شده با PEF مقادیر RCT متوسط را دریافت کردند .

مقادیر RCT به‌دست‌آمده با استفاده از شدت میدان الکتریکی ۲۰ کیلوولت بر سانتی‌متر و دما از ۱۸ درجه سانتی‌گراد تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور قابل‌توجهی کمتر از نمونه‌های پاستوریزه حرارتی بود. با این حال، در شدت میدان الکتریکی ۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر، برای اینکه مقدار RCT کمتر از شیر پاستوریزه حرارتی باشد، دمای تیمار نمی‌تواند از ۴۵ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند. نتایج RCT مجدداً تأیید می‌کند که وقتی از شدت‌ها و دماهای مناسب PEF برای فرآوری استفاده می‌شود، حداقل تغییرات در محصول شیر تأثیر می‌گذارد .

اورندیلک و همکاران (۲۰۰۱) یک نوشیدنی ماست تهیه شده با استفاده از PEF ترکیبی (E = 30 کیلو ولت / سانتی متر ؛ زمان درمان = ۳۲ میلی ثانیه) و حرارت (۶۰ درجه سانتیگراد، ۳۲ ثانیه) را مطالعه کردند. نویسندگان هیچ تفاوت معنی داری بین نمونه حاضر و نمونه های تیمار شده از نظر رنگ، مواد جامد محلول و pH گزارش نکردند. با این حال، هنگامی که شیر در معرض پالس های طولانی مدت (Perez and Pilosof 2004)، یا میدان های الکتریکی با شدت بالا (۴۵-۵۵ کیلوولت بر سانتی متر) همانطور که توسط Floury و همکاران (۲۰۰۵) شرح داده شد، ظاهراً ساختار پروتئین شیر اصلاح شد .

پرز و پیلوسف (۲۰۰۴) اثرات PEF بر پروتئین شیر را به دلیل قطبش مولکول پروتئین، تفکیک زیرواحدهای پروتئینی مرتبط غیرکووالانسی درگیر در ساختار چهارتایی، و تغییرات در ترکیب پروتئین به طوری که اسیدهای آمینه آبگریز مدفون یا گروه‌های سولفیدریل هستند، نسبت دادند. اگر مدت زمان پالس الکتریکی به اندازه کافی زیاد باشد، ممکن است برهمکنش های آبگریز یا پیوندهای کووالانسی رخ دهد و سنگدانه ها را تشکیل دهند .

به طور مشابه، فلوری و همکاران. (۲۰۰۵) اثر PEF بر پروتئین شیر را به دلیل تغییر بار ظاهری پس از قرار گرفتن در معرض میدان های الکتریکی شدید و سپس اصلاح برهمکنش های یونی بین پروتئین ها توضیح داد. تغییر ساختار پروتئین شیر ممکن است منجر به تغییراتی در خواص عملکردی شیر مانند انعقاد، کف کردن و امولسیون شدن شود. نویسندگان مختلف سطوح مختلفی از قدرت میدان الکتریکی و دما را گزارش کرده اند که فراتر از آن تغییرات در خواص شیر رخ می دهد. خواص انعقادی شیر خام ممکن است با استفاده از ترکیب قدرت میدان الکتریکی پایین تر (۳۰b کیلوولت بر سانتی متر) و دمای (۵۰b درجه سانتی گراد) بهتر حفظ شود.

اثرات PEF بر رنگ و بافت میوه ها و سبزیجات

اطلاعات بسیار محدودی در مقالات در مورد تأثیر PEF بر رنگ و بافت سبزیجات و میوه ها موجود است .Knorr و Angersbach (1998) افزایش آنزیم پلی فنلوکسیاز (PPO) را از سلول های کشت شده در سیب زمینی گزارش کردند. نتایج به دلیل پارگی غشای سلولی و جداسازی متعاقب آن از آنزیم ها توضیح داده شد. نویسندگان گزارش کردند که استفاده از PEF فراتر از شرایط بهینه (۱۵ تا ۳۰ پالس در قدرت های فیلد الکتریکی بین ۱.۵ تا ۳.۰ کیلوولت بر سانتی متر، با عرض پالس ۵۰۰ (Ms منجر به قهوه ای شدن آنزیمی سلول های کشت شده با سیب زمینی شد .

آروالو (۲۰۰۳) پس از قرار دادن برش های سیب در یک میدان الکتریکی در محدوده ۰.۷۵ تا ۱.۵ کیلوولت بر سانتی متر، افزایش سرعت واکنش تغییر رنگ (تا ۲.۵ برابر) را مشاهده کرد. تا ۶۰ پالس موج مربعی با عرض ۱۰۰ Ms اعمال شد. استحکام فشاری بافت سیب در نتیجه اعمال پالس‌های فیلد الکتریکی بین ۲۱ تا ۴۷ درصد کاهش یافت. در مطالعه دیگری آروالو (۲۰۰۳)، با استفاده از شدت میدان ۰.۷۵ و ۱.۵ کیلوولت بر سانتی متر و ۵، ۳۰ یا ۱۲۰ پالس پالس ۱۰۰، ۲۰۰ و Ms۳۰۰ ، تأثیر PEF بر سرعت تغییر رنگ برش های سیب زمینی نیز افزایش یافت .

اثر عرض پالس هیچ تاثیر قابل توجهی در حداکثر مقاومت فشاری سیب زمینی تحت تأثیر تیمار PEF ایجاد نمی کند. بنابراین ممکن است یک نقطه اشباع وجود داشته باشد که فراتر از آن اثر درمان PEF دیگر مرتبط نباشد. گالیندو و همکاران (۲۰۰۸) همچنین اثر کاربرد PEF را بر روی بافت سیب زمینی مطالعه کردند. نویسندگان اثر بر انتشار رنگ فلورسنتFM ۴۳-۱ از طریق دیواره سلولی را مشاهده کردند. شدت میدان الکتریکی از ۳۰ تا ۵۰۰ V/cm با پالس مستطیلی ۱ msمتغیر بود و نتیجه انتشار آهستهFM ۴۳-۱ در بافت الکتروپالس در مقایسه با نمونه درمان نشده نشان داده شده است.

آنها همچنین پیشنهاد کردند که میدان الکتریکی نفوذپذیری دیواره سلولی را کاهش می دهد. این پاسخ توسطH2O2 اگزوژن تقلید شد و توسط سدیم آزید، یک مهار کننده تولیدH2O2 توسط پراکسیداز مسدود شد. راستوگی و همکاران در مطالعه ای در مورد خواص کم آبی هویج(۱۹۹۹) تغییراتی را در ویژگی های بافتی نمونه هایی که در معرض پیش تیمارهای PEF قرار گرفتند، گزارش کردند .

این مطالعه کاهش فشار تورگ و نرم شدن بافت را به دلیل آسیب ناشی از پیش تیمارهای PEF نشان داد. همچنین گزارش شده است که نرم شدن بیشتر با افزایش میدان الکتریکی بالای ۱.۰۹ کیلوولت بر سانتی متر بسیار محدود بود. تایوو و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر پیش تیمارهای مختلف را بر تغییرات بافت و رنگ برش های سیب مورد مطالعه قرار دادند PEF .به عنوان پیش تیمار در این مطالعه شامل ۲۰ پالس ۸۰۰ Ms با قدرت میدان الکتریکی ۱.۴ kV/cm بود .

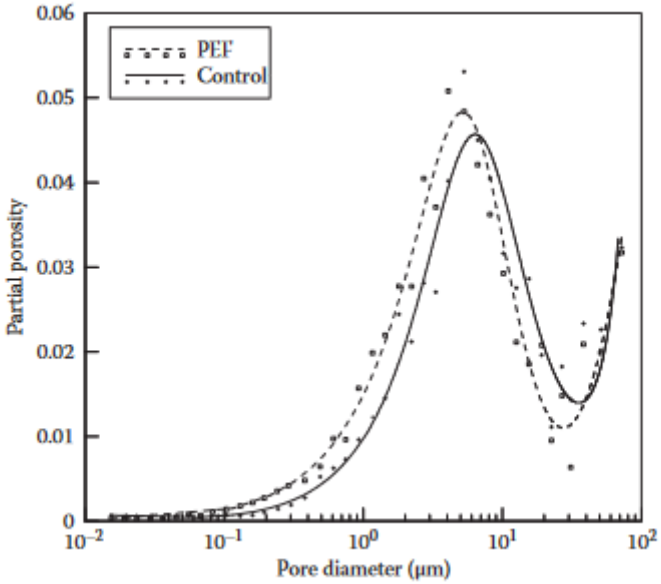
نویسندگان پوسیدگی در استحکام فشاری بافت سیب و یک واکنش قهوه‌ای شدن (بنابراین کاهش بعدی در مقادیر سبکی) به دلیل استفاده از PEF را گزارش کردند. پارامتر رنگ L مستقیماً پس از اعمال پیش تیمار PEF قبل از اینکه نمونه ها به صورت اسمزی آبگیری شوند اندازه گیری شد. در مطالعه بعدی، Taiwoو همکاران. (۲۰۰۲) ویژگی‌های کیفی برش‌های سیب را که در معرض PEF قرار گرفته و به روش اسمزی هیدراته شده بودند، مقایسه کردند .

نویسندگان تغییرات رنگ و بافت برش های سیب را پس از آبرسانی مجدد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با PEF نیروی تغییر شکل بالاتری را ارائه کردند که با این واقعیت توضیح داده شد که نمونه‌های تیمار شده با PEF مواد جامد بیشتری را حفظ کردند. نتایج همچنین نشان داد که زمان‌های آبرسانی طولانی‌تر و دمای بالاتر سیال غوطه‌وری محصولات تیره‌تری تولید می‌کنند .

هیچ نتیجه قطعی در مورد اثر PEF بر رنگ نمونه های هیدراته شده به دست نیامد. باژال و همکاران (a,b۲۰۰۳) تأثیر تیمار PEF را بر تغییرات مورفولوژیکی در بافت سیب مطالعه کرد .

بعدها تا ۶۰ پالس با شدت میدان الکتریکی ۱ کیلوولت بر سانتی متر در فرکانس پالس ۱ هرتز و مدت زمان پالس ۳۰۰ Ms قرار گرفتند. نویسندگان افزایش تخلخل را از ۶۳٪ به ۶۹.۴٪ پس از الکتروپلاسمولیز گزارش کردند (شکل ۱۶.۶). اندازه منافذ القا شده در مقایسه با منافذ نمونه‌های تیمار نشده کوچک‌تر بود و با ضخامت دیواره سلولی بافت قابل مقایسه بود .

میانگین کلی اندازه منافذ ناشی از PEF ۵.۸۶ میلی متر بود که کمتر از ۷.۸۱ میلی متر است که برای نمونه های تیمار نشده به دست می آید. علاوه بر این، با تعیین هدایت الکتریکی، شاخص تجزیه و تنش شکست نمونه‌های سیب، یک وابستگی خطی بین تنش شکست و درجه الکتروپلاسمولیز مشاهده شد .



شکل ۱۶.۶ توزیع منافذ در نمونه های سیب تیمار شده و تیمار شده با PEF

آنها به این نتیجه رسیدند که الکتروپلاسمولیز نه تنها بر غشای پلاسمالما بلکه بر یکپارچگی دیواره سلولی نمونه ها نیز تأثیر می گذارد و همچنین تنش شکست با تشدید تیمار الکتریکی کاهش میابد.

سایر نویسندگان برغیرفعال کردن آنزیم‌هایی که مسئول واکنش قهوه‌ای شدن در میوه‌ها و سبزیجات مختلف هستند تمرکز کرده‌اند (هو و همکاران ۱۹۹۷، گینر و همکاران ۲۰۰۱، جینر و همکاران ۲۰۰۲، آگوئیلو-آگویو و همکاران،۲۰۰۸). تیمارهای PEF روی عصاره های آنزیمی سیب، گلابی، گوجه فرنگی و قارچ اعمال شد. قدرت میدان الکتریکی از ۲.۴ تا ۳۵ کیلوولت بر سانتی متر با عرض پالس ۲۰ Ms بود .
اگرچه دامنه پارامترهای PEF مورد استفاده در مطالعات با پارامترهای PEF مورد استفاده برای نفوذپذیری غشای سلولی بافت‌های گیاهی متفاوت است، اطلاعات ارزشمندی را می‌توان از این نتایج بدست آورد.

اثرات PEF بر کیفیت آبمیوه
آب میوه ها به عنوان عوامل مغذی، سالم و کاربردی در رژیم غذایی انسان تلقی می شوند. به نظر می رسد مصرف کننده عمومی به این نکته اشاره دارد که مصرف برخی از مواد مغذی ارزشمند مانند ویتامین C را می توان با نوشیدن هر نوع آب میوه به طور منظم تضمین کرد. مصرف کنندگان تمایل دارند هر آب میوه خاصی را به دلیل ترکیب منحصر به فرد آن از ویژگی های حسی مانند رنگ، عطر و طعم انتخاب کنند. گفته می شود آب پرتقال پرمصرف ترین آب در سراسر جهان است در حالی که آب سیب ظاهراً در جایگاه دوم پایدار قرار دارد .
آب میوه های گرمسیری نیز متقاضیان زیادی دارند، اما بیشتر به استفاده از آن در مخلوط هایی از نوع کوکتل مربوط می شود. برخی دیگر از محصولات آبدار میوه مانند شهد هلو یا انبه نیز ممکن است سالم و مغذی در نظر گرفته شوند، اما در دسترس بودن آنها در سطح جهانی محدودتر است، زیرا در مقیاس کوچکتری میوه هایی که به عنوان مواد اولیه آنها استفاده می شود در دسترس هستند .
از نظر آماری، آب مرکبات با بیش از ۵۰ درصد از حجم تجاری سازی بین المللی آب میوه ها، محبوب ترین آب میوه ها هستند (وارنام و ساترلند ۱۹۹۹).

در آب مرکبات، آب پرتقال تقریباً ۶۰٪ از کل مصرف آب میوه ها و نوشیدنی های مبتنی بر آب میوه در اروپای غربی و مقدار مشابه (۶۰٪) از کل فروش آب میوه در ایالات متحده را تشکیل می دهد .(Parker2006b) از طرف دیگر، آب سیب تقریباً ۶۰ درصد از تولید جهانی آب پرتقال را تشکیل می دهد (Parker ۲۰۰۶ .(با توجه به شکل‌های ارائه‌شده در بالا، آب پرتقال و آب سیب مهم‌ترین نوع آب میوه در نظر گرفته می‌شوند و سرمایه‌گذاری باید به منظور ترویج تحقیقات و انتقال فناوری برای گسترش بازارهای آنها انجام شود. بنابراین، ممکن است گروه‌های تحقیقاتی و تولیدکنندگان میوه با هم همکاری کنند و سعی کنند آب پرتقال و سیب را با بالاترین کیفیت ممکن برای رقابت و جلب پذیرش مصرف‌کنندگان در سطح جهانی بدست آورند .

کیفیت غذایی و حسی باید در تمام تلاش‌های انتقال فناوری مهم در نظر گرفته شود، زیرا آب میوه‌ها آن دسته از محصولاتی هستند که مصرف‌کننده طراوت را با کیفیت مرتبط می‌کند. تحقیق و توسعه برای انواع دیگر آب میوه ها نیز مهم است و نیاز به ترویج دارد، اما اولویت در محصولاتی که تقاضای بیشتری دارند، ناگزیر خواهد بود. پاستوریزه کردن آب میوه ها به طور سنتی توسط پردازش حرارتی یا به عنوان یک روش دمای پایین - زمان طولانی (LTLT) یا یک تکنیک دمای بالا - زمان کوتاه (HTST) انجام می شود UHT .همچنین برای تصفیه آب میوه استفاده شده است. پاستوریزاسیون HTST یک فرآیند پیوسته است که مزایای متعددی را نسبت به پاستوریزاسیون دسته‌ای نشان می‌دهد که روش مرسوم استفاده از روش LTLT است .

درHTST ، آب میوه تازه از طریق یک لوله نگهدارنده یا چیدمان جریان، جریان می یابد که در آن در دمای معینی برای یک زمان خاص گرم می شود. پردازشUHT ، همچنین به عنوان پردازش آسپتیک شناخته می شود، شامل تولید یک محصول استریل با حرارت دادن سریع به دمای بالا و به دنبال آن یک زمان نگهداری کوتاه و پایان دادن به سرد شدن سریع است. محصول فرآوری شده در یک ظرف از پیش استریل شده در یک محیط استریل پر می شود تا ماندگاری طولانی مدتی داشته باشد.

پاستوریزاسیون HTST احتمالاً پرکاربردترین روش برای عملیات حرارتی آب پرتقال و سیب است. از نظر مقیاس صنعتی، HTSTمعمولاً در یک مبدل حرارتی صفحه ای انجام می شود که نشان دهنده مزیت داشتن مراحل پیش گرم کردن، گرمایش، نگهداری و سرمایش در یک گذر است. از نظر تجاری، آب پرتقال توسط HTST در دمای ۹۰-۹۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ تا ۳۰ ثانیه پاستوریزه می شود (برادوک ۱۹۹۹)، در حالی که آب سیب در دمای ۷۷-۸۸ درجه سانتیگراد برای ۲۵ تا ۳۰ ثانیه با همین روش پردازش می شود. مویر و آیتکن ۱۹۸۰).

پردازش آسپتیک به عنوان یک تکنیک پاستوریزاسیون حرارتی برای هر دو آب میوه محبوبیت پیدا کرده است. دما و زمان نگهداری در این مورد می تواند تا ۱۳۸ درجه سانتی گراد برای حداقل ۲ ثانیه برای هر دو نوع آب میوه باشد (لوئیس ۱۹۹۳). فرآوری آسپتیک آب میوه های پایدار و سایر محصولات با ماندگاری ۸ ماه بدون یخچال تولید می کند (الیس ۱۹۸۲). با این حال، در آبمیوه های فرآوری شده به روش آسپتیک آبمیوه ها دارای یک طعم معمولی شناسایی می شود.

پاستوریزاسیون حرارتی برای جلوگیری از فساد میکروبی آب میوه ها بسیار کارآمد است، اما گرمای اعمال شده ممکن است باعث تغییرات بیوشیمیایی و مغذی نامطلوب شود که ممکن است بر کیفیت کلی محصول نهایی تأثیر بگذارد. آب پرتقال می تواند به دلیل فعالیت های میکروبیولوژیکی و آنزیمی و واکنش های شیمیایی دچار تخریب کیفیت شود(چن و همکاران ۱۹۹۳).

میکروارگانیسم های فاسد کننده و آنزیم های بومی را می توان با عملیات حرارتی غیرفعال کرد، اما عملیات حرارتی باعث از بین رفتن برگشت ناپذیر طعم آبمیوه تازه (Braddock1999) و همچنین کاهش مواد مغذی و شروع واکنش های قهوه ای نامطلوب در آب میوه ها می شود (چن و همکاران ۱۹۹۳). پاستوریزاسیون حرارتی آب میوه همچنین می تواند باعث تغییرات نامطلوب دیگری شود، مانند از دست دادن محتوای ویتامین و تغییر رنگ به دلیل قهوه ای شدن، که عمدتاً توسط واکنش های آنزیمی ایجاد می شود (Yeom et al.۲۰۰۰)

با افزایش تقاضا برای به دست آوردن غذاهای فرآوری شده با ویژگی های بهتر از آنچه تاکنون در دسترس بوده است، محققان مواد غذایی به دنبال کشف و توسعه فرآیندهای نگهداری بهبود یافته با حداقل تأثیر بر طعم تازه، بافت و ارزش غذایی محصولات غذایی

هستند. همانطور که قبلاً بحث شد، آب میوه ها ممکن است یک سری اثرات نامطلوب را در هنگام پردازش با روش های مرسوم و حرارتی پاستوریزه ایجاد کنند. جایگزین‌های درمان سنتی، که شامل گرمای مستقیم نمی‌شوند، به منظور بدست آوردن آب میوه‌های ایمن برای مصرف، اما با ویژگی‌های حسی شبیه به محصول تازه، بررسی شده‌اند .

اولین تلاش برای بهبود کیفیت آب میوه فرآوری شده را می توان در واقع تغییر رابطه دما-زمان در پردازش آسپتیک در نظر گرفت. همانطور که قبلا ذکر شد، چنین تغییراتی باعث ایجاد نسل جدیدی از آب میوه‌ها با ماندگاری طولانی‌تر شد که البته مزیت آشکاری را نشان می‌دهد، اما برخی از اختلالات حسی همچنان به دلیل گرمای موجود در درمان باقی مانده است. این همان چیزی است که می تواند به عنوان "نسل سوم" جایگزین های فرآوری در نظر گرفته شود که به دنبال حذف کامل گرما در پاستوریزه کردن آب میوه ها و سایر غذاهای مایع مانند شیر و محصولات لبنی هستند. PEF قبلاً با موفقیت در درمان آب میوه استفاده شده است، تحولات اصلی در زیر ارائه شده است.

آب پرتقال

طعم پرتقال دارای بیش از ۲۰۰ ترکیب شیمیایی است Maarse (۱۹۹۱)و از هیدروکربن ها، آلدئیدها، استرها، کتون ها و الکل ها تشکیل شده است. لیمونن مهم ترین ترکیب طعم دهنده از نظر کمیت است، اگرچه از نظر کیفیت نه .(Siezer et al.1998) گزارش شده است (احمد و همکاران ۱۹۷۸) که استالدهید، سیترال، اتیل بوتیرات، لیمونن، لینالول، اکتانال و A-pinene سهم عمده‌ای در طعم آب پرتقال دارند. توسعه مواد غیر قابل مصرف در آب پرتقال به تجزیه لیمونن به A-terpineol و سایر ترکیبات نسبت داده شده است .(Tatum et al. ۱۹۷۵) .(فرآوری حرارتی به طور معمول برای پاستوریزه کردن آب پرتقال استفاده می شود، اما همچنین کیفیت غذایی و طعم را کاهش می دهد و ترکیبات غیرطبیعی نامطلوب تولید می کند.(Ekasari et al 1996) .

صنعت مرکبات در حال بررسی روش های جایگزین با حداقل عملیات حرارتی برای افزایش بازار از طریق بهبود کیفیت بوده است و PEF ممکن است یکی از این جایگزین ها باشد. مورد آب پرتقال و درمان احتمالی آن باPEF ، به عنوان تابعی از کیفیت و پایداری، به طور گسترده در دانشگاه ایالتی اوهایو مورد مطالعه قرار گرفته است (جیا و همکاران، ۱۹۹۹، یوم و همکاران، ۲۰۰۰). اثرات) PEF ۳۵ کیلوولت بر سانتی متر برای ۵۹ (Ms بر کیفیت آب پرتقال بررسی شد .

آب تیمار شده با PEF با آب پاستوریزه شده با حرارت در دمای ۹۴.۶ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ ثانیه مقایسه شد. پاستوریزاسیون PEFاز رشد میکروارگانیسم ها در ۴ درجه سانتی گراد، ۲۲ درجه سانتی گراد و ۳۷ درجه سانتی گراد به مدت ۱۱۲ روز جلوگیری کرد و ۸۸ درصد از فعالیت آنزیم پکتین متیل استراز را غیرفعال کرد. آبمیوه تیمار شده با PEF مقادیر بیشتری ویتامین C و برخی ترکیبات معطر را نسبت به آبمیوه پاستوریزه شده توسط حرارت در طی نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد حفظ کرد .

آب پرتقال پاستوریزه PEF نیز نسبت به آب پرتقال فرآوری شده حرارتی، شاخص قهوه ای شدن کمتری را نشان می دهد. با توجه به شیرینی بیان شده به صورت بریکس وpH ، تفاوت معنی داری برای هیچ یک از روش های پاستوریزاسیون مشاهده نشد، در دقیقه در حالی که هیچ تلفاتی با تیمار PEF در ۳۰ کیلوولت بر سانتی‌متر، در ۲۴۰ یا ۴۸۰ میلی‌ثانیه مشاهده نشد (۳۰). اکتانال از دست دادن ۹.۹٪ برای عملیات حرارتی و ۰٪ برای هر یک از دو تیمار PEF به دست آمده است.

برخی از ترکیبات برای تیمارهای PEF متحمل ضرر شدند، اما همیشه نسبت کمتری نسبت به آب پاستوریزه حرارتی داشتند. به عنوان مثال، ۵.۱٪ و ۹.۷٪ از اتیل بوتیرات به ترتیب برای تیمارهای ۲۴۰ و ۴۸۰ Ms از بین رفت، اما ۲۲.۴٪ در فرآیند حرارتی از بین رفت. از بین رفتن این ترکیبات فرار در آب پرتقال تیمار شده توسط PEF به سیستم گاز زدایی خلاء واحد PEF نسبت داده شد (جیا و همکاران ۱۹۹۹). مزیت PEF در مقایسه با پردازش حرارتی در جنبه های تغذیه ای نیز مشاهده شد .

آب پرتقال تیمار شده با PEF مقدار قابل توجهی اسید اسکوربیک نسبت به آب پاستوریزه حرارتی در طول نگهداری در دمای ۴ درجه سانتی گراد حفظ کرد .(Yeom et al.2000) اگرچه قبل از در نظر گرفتن PEF به عنوان تنها درمان برای حفظ کامل تمام اجزای طعم و

رنگ آب پرتقال باید تحقیقات بیشتری تکمیل شود، می توان اظهار داشت که آب پاستوریزه PEF نسبت به آب پاستوریزه معمولی طعم بیشتری را حفظ می کند و قهوه ای شدن کمتری نشان می دهد .
تحت شرایط خاص، آب پرتقال تیمار شده با PEF اسید اسکوربیک را بهتر از آب تیمار شده با حرارت حفظ می کند. همه این یافته ها مهم هستند و ممکن است برای انطباق PEF به عنوان یک جایگزین واقعی برای پاستوریزه کردن آب پرتقال ارزشمند باشند.

آب سیب

همانطور که قبلا گفته شد، آب سیب یک نوشیدنی محبوب در سراسر جهان است که به عنوان یک محصول سالم و مغذی تلقی می شود. کیفیت کلی آب سیب عامل مهمی است که باید در فرآوری مورد توجه قرار گیرد، زیرا برخی از ویژگی ها مانند عطر، رنگ و طعم توسط مصرف کننده نهایی قدردانی می شود و با تازگی و اصالت همراه است. اجزای طعم دهنده در آب سیب متعدد است، بنابراین تشخیص طعم ممکن است پیچیده تر از طعم متناظر با آب پرتقال به دلیل ماهیت معطر سیب در نظر گرفته شود .
با این حال، هشت ماده فرار فعال بو به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در اصالت عطر و طعم آب سیب شناسایی شده‌اند (کانینگهام و همکاران ۱۹۸۶). برخی تحقیقات در مورد کاربرد PEF برای پاستوریزه کردن آب سیب انجام شده است. استفاده از PEF در چندین کاربرد به غیرفعال سازی میکروبی رضایت بخشی دست یافته است و همچنین ثابت شده است که انرژی کارآمدی دارد. بررسی غیرفعال سازی PEF نشان داده است که برای دستیابی به کاهش ۷ log در بقای S. cerevisiae در آب سیب، PEFکمتر از ۱۰ درصد انرژی الکتریکی را برای عملیات حرارتی استفاده می کند .(Qin et al.1994) همچنین گزارش شده است (Mittal1998) که یک پالسر کم انرژی PEFبا شکل موج پالس برگشت بار فوری با موفقیت در درمان سیب سیب استفاده شده است .
انرژی مصرف شده در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد ۵.۷۶ ژول بر میلی لیتر بود، در مقایسه با ۵۰ ژول بر میلی لیتر که معمولاً در پردازش حرارتی معمولی مورد نیاز است .
گزارش شده است که ۶ کاهش ورود به سیستم در بقای باکتری های هوازی بومی آب سیب با استفاده از PEF در ۵۰ کیلوولت بر سانتی متر به دست آمده PEF .مستقیماً با HTST در پاستوریزه کردن آب سیب مقایسه شده است (چارلز رودریگز و همکاران ۲۰۰۷) و به این نتیجه رسیدند که PEF در غیرفعال کردن میکروبی و همچنین در حفظ برخی ویژگی‌های کیفی مانند pH و رنگ مؤثر استHTST . از سوی دیگر، اثرات آشکاری بر pH و افزایش قهوه ای شدن داشت. مطالعات مقایسه ای PEF و سایر تکنیک های غیر حرارتی نیز گزارش شده است .
در یک تحقیق خاص (Zárate-Rodríguez) و همکاران(2000)، PEFو اولترافیلتراسیون (UF) برای پاستوریزه کردن آب سیب مورد استفاده قرار گرفتند. هیچ تغییر قابل توجهی در متغیرهایی مانندpH ، بریکس، و اسیدیته، بیان شده به عنوان اسید مالیک، برای آبمیوه تیمار شده با PEF و آب میوه فوق‌العاده مشاهده نشد. رنگ ویژگی کیفیتی بود که برای تیمارهای غشایی تغییر نشان داد. روند مشاهده شده برای تیره شدن آب میوه به عنوان تابعی از فشار غشایی اعمال شده بود .
مشابه تیمارهایUF ، تغییرات رنگ نسبی مشاهده شد اما اثر ثبت شده برعکس بود، یعنی آبمیوه های تیمار شده به عنوان تابعی از قدرت میدان اعمال شده کم رنگ تر شدند. تغییرات رنگ مستقل از تعداد پالس اما وابسته به قدرت میدان بود. درک نسبت رنگ متفاوت در آبمیوه های تیمار شده با UF و PEF می تواند به دلیل تشکیل مه باشد که ممکن است توسط تانن ها، پروتئین ها و پلی ساکاریدهای کربوهیدراتی ایجاد شود .
گزارش شده است که پروتئین ها، به طور مستقل و در ارتباط با فنل ها، مسئول کدورت آب میوه، و همچنین مه پس از شفاف سازی و تشکیل رسوب هستند .(Flores et al.1988) مه اغلب از اثر متقابل این ترکیبات بیوشیمیایی در بسیاری از انواع آب میوه ها تشکیل می شود. از آنجایی که قابلیت غیرفعال سازی آنزیمی PEF گزارش شده است(Vega-Mercado et al.1995) ، پیوند تانن-پروتئین یا

کربوهیدرات-پروتئین به دلیل فقدان بخش پروتئین امکان پذیر نخواهد بود و تشکیل مه کم یا بدون تشکیل مه ممکن است در آبمیوه تیمار شده با PEF رخ می دهد .

از سوی دیگر، در آب پاستوریزهUF ، حضور پروتئین‌ها ممکن است باعث ایجاد مه اولیه شده باشد، زیرا تمام فعل و انفعالات ذکر شده در بالا مهم هستند.

در چنین حالتی، مه یا کدورت ممکن است به عنوان انحراف به سمت مقدار جذب خاص تیره تر در نظر گرفته شده به عنوان کنترل یا مرجع ثبت شده باشد. قهوه ای شدن مشاهده شده در فرآیندهای UF یک مشکل کیفی در نظر گرفته می شود، اما شواهدی وجود دارد که ممکن است توسط اثرات اندازه منافذ غشا کنترل شود (زارات-رودریگز و همکاران .(2000)

اثرات مستقیم PEF بر روی مواد فرار آب سیب و مقایسه با یک تیمار حرارتی معمولی نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Aguilar-Rosas et al. ۲۰۰۷ PEF .(و HTST به منظور تعیین کاهش غلظت هشت ماده فرار مسئول بو مورد آزمایش قرار گرفتند. به طور کلی، PEF بیشتر ترکیبات فرار مسئول رنگ و طعم آب سیب را بهتر حفظ کرد .

به عنوان مثال، همانطور که در جدول ۱۶.۳ نشان داده شده است، هگزانال و هگزیل استات تنها به ترتیب در ۷٪ و ۸.۴٪ هنگام استفاده از PEF از بین رفتند، در حالی که عملاً توسط HTST از بین رفتند. همچنین، مواد بیوشیمیایی مهم در آب سیب، مانند ترکیبات فنلی، با PEF بهتر از تیمار HTST حفظ شدند.

انواع دیگر آب میوه ها

گزارش‌های مربوط به برخی دیگر از انواع آب میوه‌ها در مقالات فراوان نیست. شهد هلو توسط PEF پاستوریزه شد (Gutierrez-Becerra et al. ۲۰۰۲). اثرات قدرت میدان و فرکانس پالس برای کاهش تعداد میکروبی و همچنین برای تغییر در pH و رنگ آبمیوه تیمار شده مورد ارزیابی قرار گرفت. یک غیر فعال میکروبی مناسب نشان داده شد، در حالی که هیچ تغییر قابل توجهی در pH و رنگ مشاهده نشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که PEF ممکن است به عنوان جایگزین برای پاستوریزه کردن آب هلو، برای حفظ کیفیت و ویژگی‌های حسی مورد استفاده قرار گیرد.

بهینه سازی پارامترهای PEF

همانطور که از بحث قبل واضح است، پارامترهای مربوط به PEF از نقطه نظر پردازش شامل ویژگی های پالس، قدرت میدان الکتریکی و زمان درمان است. فاکتورهای مشخصه پالس عبارتند از شکل موج، فرکانس، عرض و تعداد. همچنین ویژگی‌های میکروبی و محصول و طراحی محفظه تصفیه ممکن است بر اثربخشی تیمار PEF تأثیر بگذارد زیرا توزیع میدان‌های الکتریکی را در محصول تعیین می‌کند. کاربرد موفقیت آمیز PEF برای یک محصول به بهینه سازی منطقی و خلاقانه این پارامترها بستگی دارد .

کاربردهای PEF امکان کنترل بهتر برق ورودی و نفوذپذیری موثر غشاهای سلولی را بدون افزایش قابل توجه دما فراهم می کند (ویور و چیزمادژف ۱۹۹۶). به طور کلی، ولتاژ غشایی um القا شده بر روی غشای سلولی به دلیل میدان الکتریکی خارجی به این صورت (Zimmermann1986) ارائه می شود.

"فرمول که قابل تایپ نیست"

به طوریکه:

dcقطر سلول است

Eاستحکام فیل الکتریکی است

)تتا) زاویه بین یک نقطه از سطح غشاء و جهت شدت میدان الکتریکی است

Aیک پارامتر بسته به شکل سلول است=A) ۰.۷۵ برای سلول کروی و=A ۱ برای سلول مستطیلی.(

هرچه سلول‌های در معرض میدان کوچک‌تر باشند، قدرت میدان مورد نیاز برای ایجاد پتانسیل گذر غشایی حیاتی مورد نیاز برای پلاسمولیز غشای سلولی بالاتر است. میانگین قطر میکروارگانیسم ها و سلول های بافت بیولوژیکی به ترتیب در محدوده ۱۰ نانومتر-۱ تا ۱ میلی متر و ۱۰ میلی متر-۱ تا ۱ میلی متر است آگیلرا و استنلی .(1999)

بنابراین، پالس‌های میدان الکتریکی بالا با ولتاژ در محدوده ۲۰ تا ۵۰ کیلوولت بر سانتی‌متر برای کشتن میکروارگانیسم‌ها برای پاستوریزه کردن PEF استفاده می‌شوند .

با این حال، برای مواد جامد مانند بافت‌های سبزیجات، که سلول‌ها معمولاً بزرگ‌تر از سلول‌های میکروبی هستند، الکتروپلاسمولیز را می‌توان با قدرت میدان الکتریکی بسیار پایین‌تر به‌دست آورد. تعدادی از نشریات گزارش می دهند که الکتروپلاسمولیز سلول های گیاهی ممکن است در پالس های میدان الکتریکی متوسط با ولتاژ در محدوده ۳-۰.۳ kV/cm انجام شود .(Ngadi et al.2001) پالس های میدان الکتریکی پایین تر در محدوده ۰.۱-۰.۳ kV/cm نیز گزارش شده است .(Kupchik et al.1998)

به طور تجربی ثابت شده است که زمان درمان الکتریکی مورد نیاز برای الکتروپلاسمولیز با شدت میدان الکتریکی نسبت معکوس دارد. هر چه قدرت میدان بیشتر باشد، مصرف انرژی ویژه کمتری برای دستیابی به همان درجه پلاسمولیز مورد نیاز است (Lebovka et al.2000).

در مایعات، میزان افزایش قدرت میدان الکتریکی با شکست دی الکتریک محصولات و افزایش دمای کنترل نشده در محصولات محدود می شود. بنابراین، تعادل نیاز به میدان الکتریکی بالاتر با پاسخ محصول بسیار حیاتی است. نویسندگان مختلف اثربخشی متفاوتی از کاربرد PEF را برای محصولات مختلف گزارش کرده‌اند. در حال حاضر مشکلات عملی ذاتی در بهینه سازی پردازش PEF غذاها وجود دارد .

مقایسه نتایج درمان به دست آمده توسط نویسندگان مختلف با استفاده از سیستم های مختلف PEF دشوار است. سیستم‌های PEF بسیار گران هستند و امکان ساخت سیستم‌هایی وجود ندارد که امکان تغییرات گسترده در پارامترهای پالس را فراهم کنند. بنابراین، مطالعات با استفاده از تجهیزاتی با دامنه محدود پارامترها انجام شده است. دو روش تجربی برای تعیین قدرت میدان بهینه E برای تیمار PEFبافت‌های مختلف مواد غذایی جامد پیشنهاد شده‌است .

یکی از روش ها بر اساس تخمین زمان آسیب مشخصه T و ضریب مصرف انرژی کل در طول تصفیهTE ۲ به عنوان تابعی از قدرت میدان الکتریکی است (لبوفکا و همکاران ۲۰۰۲). رویکرد دیگر بر اساس برآورد حداکثر تغییر شاخص تجزیه نمونه ناشی از انرژی ورودی در طول هر پالس است .(Bazhal et al.2003a) aمقدار E بهینه برای الکتروپلاسمولیز به نوع بافت بستگی دارد و برای سلول هایی با دیواره سلولی ثانویه توسعه یافته بالاتر است .

هدف کلی از هدف تیمار) PEFبه عنوان مثال غیرفعال سازی میکروبی در محیط مایع در مقابل افزایش بافت در محیط جامد)، ماده مورد درمان و تمام پارامترهای پالس باید در نظر گرفته شوند تا درمان PEF برای یک محصول بهینه شود.

نتیجه گیری

برنامه های کاربردی PEF وعده های متعددی برای اصلاح و بهبود کیفیت و ایمنی غذاها دارند. به طور خاص، از آنجایی که اساساً یک فناوری غیر حرارتی است، می توان از درمان PEF برای پردازش حداقلی محصولات و حفظ کیفیت حساس حسی و تغذیه ای آنها استفاده کرد. اگرچه پیشرفت های چشمگیری در درک مکانیسم و تأثیر پردازش PEF صورت گرفته است، هنوز کارهای زیادی باید انجام شود. پارامترهای فرآیند باید برای محصولات خاص بهینه شوند تا با تجهیزات مورد استفاده مطابقت داشته باشند .

نیاز به توسعه یک پلتفرم مستقل از تجهیزات مشترک برای ارزیابی پردازش PEF وجود دارد. استفاده از فناوری PEF برای پاستوریزه کردن طیف گسترده ای از مواد غذایی و به دست آوردن محصولات با کیفیت بالا و رقابتی در بازارهای جهانی را می توان یک واقعیت قابل قبول در نظر گرفت. اعتبار سنجی علمی کارایی پاستوریزاسیون انجام شده است و این تکنیک نتایج را با روش مرسوم و حرارتی پاستوریزه کردن بسیاری از محصولات غذایی قابل مقایسه می کند .

ایمنی به طور قطع حفظ می شود، در حالی که کیفیت با استفاده از PEF تقریباً بدون تغییر به نظر می رسد. چالش مهندسی ساخت تجهیزات از نظر تجاری نیز پیشرفت کرده است. بنابراین می توان در نظر گرفت که این فناوری برای کاربرد در مقیاس صنعتی آماده است و تعدادی از محصولات غذایی پاستوریزه با PEF در آینده قابل پیش بینی در قفسه های سوپرمارکت ها دیده می شود.

Abstrac

Electric field or pulsed electric field, which is also called PEF for short. PEF is a new non-thermal technology based on the application of high and medium voltage pulses (from 20 to 60 kV per centimeter) in short periods of time (milliseconds or microseconds). In this process, food is placed between two electrodes, anode and cathode.
Nowadays, the demand for improving the quality of safe and high-value food products with beneficial features has increased. This increase in demand has led to the development and use of new food technology.
This chapter presents some recent developments in the application of high voltage pulsed electric fields (PEFs) in food processing with regard to quality and safety issues. Some critical parameters of PEF processing are identified and described. Potential applications of PEF in processing for food safety and quality are discussed.
PEF technologies have also been proven to be a suitable alternative for high temperature inactivation of microbial load in liquid foods such as fruit juice and milk.
Most research efforts on PEF have focused on liquid food pasteurization. However, it has been shown that these technologies can be used to modify the microstructure of vegetable, fish and meat tissues to intensify juice yield and to increase.

Keywords: electric field , quality , pulse , voltage , EPF technology

REFERENCES

Ade-Omowaye, B.I.O., Angersbach, A., Eshtiaghi, N.M., and Knorr, D. 2000. Impact of high intensity electric fi eld pulses on cell permeabilisation and as pre-processing step in coconut processing. Innovative Food Science and Emerging Technologies 1: 203–209.

Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A., and Knorr, D. 2002. Osmotic dehydration of bell peppers: infl uence of high intensity electric fi eld pulses and elevated temperature treatment. Journal of Food Engineering 54: 35–43.

Aguilar-Rosas, S.F., Ballinas-Casarrubias, M., Nevarez-Moorillon, G.V., Martin-Belloso, O., and Ortega-Rivas, E. 2007. Thermal and pulsed electric fi elds pasteurization of apple juice: effects on physicochemical properties and fl avour compounds. Journal of Food Engineering 83: 41–46.

Aguilera, J.M. and Stanley, D.W. 1999. Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers Inc.

Aguiló-Aguyo, I., Odrizola-Serrano, I., Quintãa-Teixeira, L.J., and Martín-Belloso, O. 2008. Inactivation of tomato juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fi elds as affected by process conditions. Food Chemistry 107: 949–955.

Ahmed, E.M., Dennison, R.A., and Shaw, P.E. 1978. Effects of selected oil and essence volatile components on fl avor quality of pumpout orange juice. Journal of Agricultural and Food Chemistry 26: 368–372.

Alvarez, I., Raso, J., Palpo, A., and Sala, F.J. 2000. Infl uence of different factors on the inactivation of Salmonella senftenberg by pulsed electric fi elds. International Journal of Food Microbiology 55: 143–146.

Amiali, M., Ngadi, M.O., Smith, J.P., and Raghavan, G.S.V. 2004. Inactivation of Escherichia coli O157:H7 in liquid dialyzed egg using pulsed electric fi elds. Food and Bioproducts Processing 82C: 151–156.

Amiali, M., Ngadi, M.O., Raghavan, G.S.V., and Nguyen, D.H. 2006a. Electrical conductivities of liquid egg products and fruit juices exposed to high pulsed electric fi elds. International Journal of Food Properties 9: 533–540.