فرآوری مواد غذایی با میدان های الکتریکی پالسی: اصول، روشها، کاربرد

سمانه علامتیان * ،مریم عابدینی * ، محمد باقر حبیبی نجفی**

* دانشجویان کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد

** دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد ، PhD

gelin_4528@yaho.com

چکیده: میدان های الکتریکی پالسی (Pulse Electrical Field) از جمله فناوری های غیر حرارتی نگهداری مواد غذایی مایع و نیمه مایع می باشد. مزیت اصلی این روش فرآوری مواد غذایی در درجه حرارت پایین می باشد. تیمار مواد غذایی با میدان های الکتریکی پالسی بدین صورت است که ماده غذایی کمتر از یک ثانیه تحت اثر پالس های کوتاه با ولتاژ ۸۰-۲۰ kv/cm فرآوری می شوند. میدان های الکتریکی پالسی قادر هستند میکرو ارگانیسم ها و برخی آنزیم ها را غیر فعال کنند ، البته برای غیر فعال سازی اسپورها می بایستی ترکیب پالس های الکتریکی و دیگر فناوری های نگهداری مواد غذایی را بکار برد.در این مقاله مزایا، معایب و تجهیزات بکارگیری میدان های الکتریکی پالسی جهت نگهداری مواد غذایی بررسی شده است. کاربردهای میدان های الکتریکی پالسی شامل افزایش عملکرد استخراج در قندسازی و تولید نشاسته ، افزایش راندمان بازیافت روغن از دانه های روغنی، بهینه سازی فرایند استخراج جهت ترکیبات حساس دارویی- تغذیه ای ، بهبود هضم بی هوازی در فاضلاب ها و افزایش بازده تولید پنیر می باشد .

واژه های کلیدی : میدان الکتریکی پالسی/ غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها و آنزیم ها /نگهداری مواد غذایی/

فرآوری مواد غذایی با میدان های الکتریکی پالسی: اصول، روشها، کاربرد

سمانه علامتیان * ،مریم عابدینی * ، محمد باقر حبیبی نجفی**
*** دانشجویان کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد**
**** دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه فردوسی مشهد ، PhD**
gelin_4528@yaho.com

چکیده:
میدان های الکتریکی پالسی (Pulse Electrical Field) از جمله فناوری های غیر حرارتی نگهداری مواد غذایی مایع و نیمه مایع می باشد. مزیت اصلی این روش فرآوری مواد غذایی در درجه حرارت پایین می باشد. تیمار مواد غذایی با میدان های الکتریکی پالسی بدین صورت است که ماده غذایی کمتر از یک ثانیه تحت اثر پالس های کوتاه با ولتاژ kv/cm ۸۰-۲۰ فرآوری می شوند. میدان های الکتریکی پالسی قادر هستند میکرو ارگانیسم ها و برخی آنزیم ها را غیر فعال کنند ، البته برای غیر فعال سازی اسپورها می بایستی ترکیب پالس های الکتریکی و دیگر فناوری های نگهداری مواد غذایی را بکار برد.
در این مقاله مزایا، معایب و تجهیزات بکارگیری میدان های الکتریکی پالسی جهت نگهداری مواد غذایی بررسی شده است. کاربردهای میدان های الکتریکی پالسی شامل افزایش عملکرد استخراج در قندسازی و تولید نشاسته ، افزایش راندمان بازیافت روغن از دانه های روغنی، بهینه سازی فرایند استخراج جهت ترکیبات حساس دارویی- تغذیه ای ، بهبود هضم بی هوازی در فاضلاب ها و افزایش بازده تولید پنیر می باشد .
در این مقاله مکانیسم غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها ، عوامل موثر بر آن در تیمار PEF بررسی شده و دو مدل ریاضی Hulsheger و Peleg برای توجیه عملکرد میکروارگانیسم ها در میدان های الکتریکی پالسی آورده شده است.

کلمات کلیدی : میدان الکتریکی پالسی/ غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها و آنزیم ها /نگهداری مواد غذایی/

مقدمه و تعریف :

تکنولوژی PEF عبارت است از کاربرد پالس های کوتاه و قوی (عمدتا ۸۰-۲۰ kv/cm) جهت سالم سازی مواد غذایی مایع بین دو الکترود در کمتر از یک ثانیه . در این روش فرآوری ماده غذایی تحت شرایط محیطی یا دماهای پایین انجام می گیرد .
جهت نگهداری مواد غذایی باید میکروارگانیسم های عامل فساد و بیماریزا و نیز آنزیم های مسئول انجام واکنش های نامطلوب در مواد غذایی غیر فعال گردند میدان های الکتریکی پالسی می توانند میکروارگانیسم ها و آنزیم ها را نابود کنند . براساس تئوری انقطاع دی الکتریک ، میدان الکتریکی خارجی یک اختلاف پتانسیل الکتریکی در غشاء سلول القاء می کند که به پتانسیل انتقال غشایی (Trans membrane potential) معروف است. وقتی که پتانسیل انتقال غشایی به حد آستانه یا بحرانی برسد .منافذی در غشاء سلول ایجاد می گردد و در نتیجه آن نفوذپذیری غشای سلول افزایش می یابد

توصیف امواج پالسی :

۱. پالس های تنزلی نمایی (Exponentially decaying) : این نوع پالس ابتدا ولتاژ تا حد مشخصی افزایش می یابد و سپس به آرامی به صورت لگاریتمی کاهش می یابد تا به صفر برسد .

۲. پالس های دایره ای (Square pulse) : در این سیستم یک مسیر انتقال ولتاژ قوی به یک محل تخلیه (انتقال پالس) متصل است .

۳. پالس های دو قطبی(Biopolar pulse) :در این سیستم از جریان برق مستقم جهت شارژ خازن اولیه استفاده می شود .

۴. پالس های متناوب (Oscillatory pulse) : در بین انواع پالس ها کمترین اثر تخریبی را دارند زیرا از در معرض قرار گیری مداوم سلول در برابر جریانات الکتریکی شدید جلوگیری می کنند و در نتیجه غشاء سلول از تجزیه برگشت ناپذیر حفظ می شود

تجهیزات فرآوری در میدان های الکتریکی پالسی قوی :

اجزاء سیستم فرآوری در میدان های الکتریکی پالسی قوی عبارتند از : منبع ولتاژ قوی ، خازن ذخیره کننده انرژی ، محفظه واکنش ، کلید ، پمپ هدایت کننده ماده غذایی در محفظه واکنش ، قطعه سرد کننده ، پروب درجه حرارت ، پروب ولتاژ ، تجهیزات بسته بندی اسپتیک وکامپیوتر جهت کنترل عملیات .

محفظه های ثابت :

۱.محفظه U شکل : در این سیستم الکترودهایی از جنس کربن با پوشش برنج مورد استفاده قرار می گیرند . اتاقک میانی محفظه به شکل U و از جنس پلی استیرن در بین الکترودها جای دارد . حجم طراحی شده این اتاقک ها می تواند متفاوت باشند .

۲.محفظه با کویل شیشه ای :کویل شیشه ای آند را در بر می گیرد . حجم محفظه واکنش ۲۰ سانتی متر مکعب می باشد ، که با یک مایع با قابلیت هدایت الکتریکی بالا و ثابت دی الکتریک مشابه به نمونه (محلول کلرید سدیم) پر می شود . محل قرار گیری نمونه داخل کویل می باشد.

محفظه های مداوم :

۱.محفظه مداوم با غشاء هادی آهنی : محفظه از دو الکترود صفحه ای و یک فضای دی الکتریک در بین آنها تشکیل شده است . الکترودها در تماس مستقیم با ماده غذایی نیستند و از طریق غشاهای هادی جریان الکتریکی از ماده جدا می شوند . غشاها از جنس پلی استایرن سولفوناته ، کوپلیمر های اکریلیک اسید و یا پلیمر های هیدروکربن فلوئورینه می باشند .

۲.محفظه مداوم حاوی بافل : محفظه از دو الکترود صفحه ای استیل که با پلی سولفون از یکدیگر جدا شده اند تشکیل شده است .

۳. محفظه مداوم با سیلندر متحدالمرکز : محفظه از یک سیلندر داخلی که توسط یک الکترود استوانه ای احاطه شده است تشکیل شده است که اجازه می دهد ماده غذایی در بین آن جریان یابد .

۴. محفظه مداوم با افزایش جریان الکتریکی : در یکی از انواع این مدل الکترودهای صفحه ای به کمک صفحات تفلونی به ضخامت یک سانتی متر از یکدیگر جدا شده اند . شدت میدان الکتریکی در بخش کوچکی از محفظه زیاد می باشد .

کاربرد تیمار PEF در صنایع دارو و غذا :

۱. پاستوریزاسیون غیر حرارتی مواد غذایی مایع مانند انواع نوشیدنی ها ، سوپ ، شیر، ماست و تخم مرغ مایع
۲. افزایش راندمان استخراج شکر از چغندرقند و بهبود خلوص شربت
۳. افزایش بازیافت روغن از دانه های روغنی
۴. افزایش سرعت و راندمان خشک کردن
۵. توسعه روشهایی در جهت استخراج مواد دارویی و Functional از گیاهان و جلبک ها با حداقل آسیب
۶. عمل آوری گوشت و ماهی
۷. القاء استرس به بافت سلولهای گیاهی و تولید متابولیت های ثانویه با ارزش دارویی و تغذیه ای
۸. افزایش راندمان تولید نشاسته از سیب زمینی
۹. بهبود جداسازی جوانه ذرت از مغز و در نتیجه افزایش بازیافت روغن ذرت
۱۰. شفاف سازی آبمیوه ها
۱۱. افزایش راندمان تولید پنیر از شیر خام
۱۲. کاهش حجم مواد جامد فاضلاب

مکانیسم غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها توسط تیمار PEF :

۱. تخریب دی الکتریک غشاء (electrical breakdown)

Zimmermann (1986) معتقد است که تماس سلولهای بیولوژیکی با میدان های الکتریکی یک اثر یونی پانچ ترو (ionic punch-through effect) به وجود آورده و موجب تخریب دی الکتریکی غشای سلول می شود . این اثر یونی افزایش سریع هدایت الکتریکی غشاء همراه با حرکت یونی است . تغییر خاصیت نفوذپذیری و ساختمان غشاء که در ولتاژ بحرانی تخریب مشاهده می شود ، تخریب دی الکتریک سلول نامیده می شود .

۲.تشکیل منافذ الکتریکی (Electroporation)

Vega- Mercadoنشان داده اند که چنانچه سلول تحت شدت خاصی از میدان الکتریکی قرار گیرد ، غشاء پلاسمایی نسبت به یونها و مولکولهای کوچک نفوذپذیر می شود و به دنبال آن سلول آب جذب می کند و تورم در سلول ایجاد می شود و در نهایت لیز شدگی و غیر فعال شدن سلول را به همراه دارد . این تئوری براساس مدل موزائیک مایع لیپیدها و پروتئین ها در غشاهای سلول است .

تاثیر پالسهای الکتریکی روی ترکیبات مواد غذایی :

اغلب اجزای سلولی پس از تیمار با میدان الکتریکی به طور جزئی یا کلی تجزیه می شوند . ریبوزومها نیز به اجزای تشکیل دهنده خود تجزیه می گردند. میدان الکتریکی دیواره سیتوپلاسمی را چروکیده می کند که نشان دهنده نشت سیتوپلاسم به خارج سلول می باشد . فعالیت آنزیم های لیپاز و آمیلاز در میدان الکتریکی با شدت بیش از ۳۰KV/cm متوقف می شود . به منظور کمک به صاف کردن ، شفاف کردن و افزایش بازده عصاره مرکبات ، پالسهای الکتریکی جهت غیر فعال کردن آنزیم های پکتین استراز به کار می روند .

فاکتورهای موثر در فرآوری مواد غذایی با PEF :

فاکتورهای فرآیند :

۱) شدت میدان الکتریکی : Qin and others 1998 نشان دادند که با افزایش شدت میدان الکتریکی (بیشتر از پتانسیل انتقال غشایی بحرانی) ، غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها افزایش می یابد .

۲) مدت زمان تیمار : که ترکیبی از تعداد پالس و مدت پالس می باشد که افزایش هر یک عامل افزایش غیر فعال سازی میکروارگانیسم ها می باشد . عرضهای بزرگتر شدت میدان الکتریکی بحرانی را افزایش می دهند .
۳) نوع پالس : پالسهای نوسان کننده و پالسهای مربعی به ترتیب حداقل و حداکثر انرژی و اثر کشندگی روی سلولها را ایفاء می نمایند .پالسهای دو قطبی انرژی بیشتری از پالسهای تک قطبی دارند .
۴) درجه حرارت : تیمار PEF در درجه حرارت متوسط (۵۰-۶۰ C) اثرات سینرژیستی روی غیر فعال سازی سلولهای بیولوژیک نشان می دهد.

فاکتورهای محصول :

۱) هدایت الکتریکی ، قدرت یونی ، PH : هدایت الکتریکی یک محیط کشت عکس مقاومت ویژه آن می باشد سرعت غیر فعال شدن سلولهای بیولوژیک با کاهش قدرت یونی محیط کشت افزایش می یابد
۲) ماده غذایی سوسپانسیونی : تیمار PEF مواد غذایی حاوی ذرات جهت بهبود ماندگاری مورد بررسی می باشد و لیکن تا کنون به دلیل عدم امکان تولید یک میدان یکنواخت در این مواد غذایی مورد کاربرد صنعتی قرار نگرفته است .

فاکتورهای میکروبی :

۱) نوع میکروارگانیسم : مخمرها به دلیل اندازه بزرگتر سلول خود نسبت به باکتری ها به پالس های الکتریکی حساستر هستند . هم چنین باکتریهای گرم مثبت نسبت به باکتریهای گرم منفی مقاومت بیشتری به تیمار PEF دارند .
۲) تعداد میکروارگانیسم : آزمایشات متعدد نشان داده است که با افزایش فلور میکروبی مواد غذایی سرعت تیمار PEF کاهش پیدا می کند .
۳) مرحله رشد میکروارگانیسم : سلول ها در فاز لگاریتمی نسبت به فاز تاخیری و سکون به تیمار PEF حساستر هستند که علت آن فعال بودن و تقسیم سلولها در فاز لگاریتمی می باشد .

مدل های غیر فعال سازی میکروارگانیسمها در تیمار PEF :

۱) مدل Hülsheger and Niemann :

Hülsheger and Niemann در سال ۱۹۸۰ اولین مدل ریاضی را جهت غیر فعال سازی میکروارگانیسمها در تیمار PEF ارائه کردند . این مدل براساس وابستگی نسبت بقاء سلول بیولوژیک به شدت میدان الکتریکی تعریف می شود .

چنانچه قدرت میدان الکتریکی از یک حد بحرانی Ec افزایش یابد سرعت غیر فعال سازی سلول بیولوژیک افزایش می یابد . شدت بقاء از رابطه ذیل به دست می آید :

$$S = \left(\frac{t}{t_c}\right)^{-\frac{(E-E_c)}{K}}$$

که b_t ضریب رگرسیون و t مدت زمان تیمار و t_c حد بحرانی زمان برای زنده ماندن تمامی میکروارگانیسم ها می باشد . تعداد میکروارگانیسم ها ی زنده مانده تابعی از قدرت میدان الکتریکی و زمان تیمار می باشد و طبق رابطه ذیل به دست می آید :

۲) مدل Peleg :

مدل دوم برای توصیف ریاضی رفتار سلولهای بیولوژیک در تیمار PEF توسط Peleg در سال ۱۹۹۵ ارائه شد

$$S = \frac{1}{1+e^{\frac{t-\tau_c(n)}{\tau(n)}}}$$

در این مدل یک شکل سیگموئیدی برای توصیف بقاء سلول بیولوژیک به کار می رود . درصد بقاء میکروارگانیسم تابعی از میدان الکتریکی و تعداد پالس کاربردی بیان شده است . در این مدل پارامتر E_d که عبارت است از شدت میدان الکتریکی بحرانی که ۵۰٪ سلولهای بیولوژیک حذف شوند.

محدودیت های فرآوری PEF :

باوجود اینکه تیمار PEF برای مواد غذایی در سطوح آزمایشگاهی به طور وسیعی به کار گرفته می شود ، و لیکن تا کنون تعداد واحدهای تجاری که در این زمینه فعالیت دارند بسیار کم می باشد که می توان علت آن را هزینه بالا تجهیزات و عدم دسترسی به تکنولوژی تولید پالس های الکتریکی با شدت بالا دانست هم چنین واحدهای تجاری عمده ای که دراین زمینه نیز فعالیت دارند وابسته به مراکز تحقیقاتی و دانشگاهها می باشند .

این تیمار در محفظه های ثابت و مداوم تنها برای مواد غذایی هموژن و فاقد حباب به کار گرفته می شود . زیرا افزایش حجم حباب ها کنترل عملیات و ایمنی فرآیند را با مشکل مواجه می کند . با اتصال حباب ها به یکدیگر و افزایش حجم حباب نهایی ، ممکن است حباب در محل gap بین دو الکترود قرار گیرد و تجزیه دی الکتریک ماده غذایی انجام شود که این پدیده توام با ایجاد جرقه در الکترودها می باشد ، بنابراین قبل از انجام این تیمار روی مواد غذایی مایع (پاستوریزاسیون غیر حرارتی) استفاده از سیستم وکیوم ضروری می باشد .

چنانچه قدرت میدان الکتریکی مورد استفاده بیش از قدرت دی الکتریک ماده غذایی باشد ، بخشی از ماده غذایی مایع تبخیر می شود و تجزیه دی الکتریک اتفاق می افتد . بنابراین کاربرد این تیمار محدود به مواد غذایی است که شدت خاصی از میدان الکتریکی را تحمل نمایند که بسته به ماده غذایی و ساختار فیزیکوشیمیایی آن متفاوت است.معمولا مایعات هموژن با هدایت الکتریکی کم شرایط ایده آل را برای تیمار PEF فراهم می کنند . مواد غذایی با هدایت الکتریکی بالا مانند مواد غذایی با درجه شوری بالا مقاومت محفظه تیمار را کاهش می دهند ، در نتیجه برای انجام این تیمار به انرژی بالایی نیاز می باشد . اغلب مواد غذایی را با درجه شوری کم فرآوری می کنند و پس از انجام تیمار افزودنی ها از جمله نمک را اضافه می کنند .

دیگر فاکتور محدود کننده در تیمار PEF اندازه ذرات است که می بایستی از فاصله بین الکترودها (gap)کمتر باشد تا در روند فرآیند اختلالی رخ ندهد .

بسیاری از محققین مهمترین فاکتور محدود کننده را در این تیمار فقدان روشهایی دقیق جهت اندازه گیری و کنترل شرایط تیمار می دانند . علی رغم استفاده از کامپیوتر و سیستم نمایش نوسانات در کنترل این تیمار پیش بینی شرایط موجود در محفظه بسیار مشکل است هم چنین درجه حرارت ورودی و خروجی محفظه و قطعه مقاومت و سرعت جریان مواد جهت تخمین مدت زمان اعمال پالس به صورت on-line کنترل می شود .

از طرفی تاکنون اطلاعاتی در خصوص شاخص میکروبی مورد استفاده در این تیمار ثبت نشده است و می بایستی با توجه به ماده غذایی ، نوع سیستم PEF ، شرایط پروسه و فلور میکروبی موجود شاخص میکروبی مناسب را انتخاب نمود .

اگرچه مواد غذایی فرآوری شده با میدان های الکتریکی پالسی از کیفیت خوبی برخوردار هستند ، لیکن آنچه مسلم است اینکه با تجهیزات موجود ، تیمار مواد غذایی با PEF به لحاظ اقتصادی قابل رقابت با پاستوریزاسیون حرارتی نیست. از طرفی برخی محدودیت های این روش چون احتمال وجود فلزات در ماده غذایی یا تغییر ترکیبات موادغذایی در اثر فعالیت الکتروشیمیایی الکترودها بکارگیری سیستم HACCP و GMP را الزامی می کند.

منابع:

1. Barbosa-Cánovas, G. V., Gongora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., Swanson, B. G. 1999. Preservation of foods with pulsed electric fields. 1-9, 76-107, 108-155. Academic Press Ltd. London.
2. Calderon-Miranda, M. L. 1998. Inactivation of listeria inocua by pulsed electric fields and nisin. Pullman, WA. Washington State University.
3. Castro, A. J., Barbosa-Cánovas, G. V. and Swanson, B. G. 1993. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. J Food Process Pres. 17:47-73
4. Castro, A. J. 1994. Pulsed electrical field modification of activity and denaturation of alkaline phosphatase. Food Science and Human Nutrition. Pullman, WA. Washington State University.
5. Dunn, J. E. and Pearlman, J. S. 1987. Methods and apparatus for extending the shelf-life of fluid food products. Maxwell Laboratories, Inc. U. S. Patent 4,695,472.
6. Dunn, J. 1996. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. Poul Sci. 75(9):1133-1136
7. Dunne, C. P., Dunn, J., Clark, W., Ott, T. and Bushnell, A. H. 1996. Application of high energy electric field pulses to preservation of foods for combat rations. Science and Technology for Force XXI. Department of the Army. Norfolk, Virginia. June 24-27. 7.
8. EPRI. 1998. Pulsed electric field processing in the food industry: a status report on PEF. Palo Alto, CA. Industrial and Agricultural Technologies and Services. CR-109742.

Pulse Electrical Field Processing: Principle, methods& Application

Abstract:

High intensity pulsed electric field (PEF) processing involves the application of pulses of high voltage (typically 20 - 80 kV/cm) to foods placed between 2 electrodes. PEF treatment is conducted at ambient, sub-ambient, or slightly above ambient temperature for less than 1 s, and energy loss due to heating of foods is minimized. In this paper advantages , disadvantages , treatment chambers and equipment for Preservation of Food will be discussed. Applications of PEF consist of increase of : function extraction of suger production , production of starch , recovery of oil from seeds oil , yield of cheese production & optimization of extraction process of drugs –nutritional sensitive components. Promote of anaerobic digestion waste . In this paper Mechanisms of Microbial Inactivation & Critical Process Factors will be discussed. & two Hülsheger& peleg models for explained function of microorganisms in PEF.

Key word: PEF/ inactivation of microorganism & enzymes/ preservation food product/