روش جدید پاستورایزیشن سرد شیر توسط جریان برقی

پوهنیار نصیراحمد سروری

دیپارتمنت تکنالوژی و حفظالصحه مواد غذایی، پوهنځی علوم وترنری، پوهنتون کابل، کابل، افغانستان
ایمیل: Nasirsarwary97@gmail.com

چکیده

نگهداری شیر به مدت طولانی بسیار دشوار است و درجهی حرارت بالا سبب تخریب برخی از مواد شیر میشود. پاستورایزیشن مناسب میتواند همه عوامل بیماریزای باکتریهای بدون اسپور را از بین ببرد. پاستورایزیشن حرارتی تمام باکتریهای شیر را از بین نمیبرد، اگرچه اکثر آنها را از بین میبرد. برای غلبه بر این عیب پاستورایزیشن حرارتی، دانشگاه ایالتی اوهایو روش پاستورایزیشن غیرحرارتی با استفاده از جریان میدان برقی را پیشنهاد کرده است. پاستورایزیشن سرد بهوسیلهی جریان میدان برقی (PEF) از جمله روشهای جدید جهت از بین بردن یا غیرفعال کردن مایکروارگانیزمها و مهار فعالیتهای انزایمی در شیر است. که این یک تکنالوژی نگهداری سودآورِ نوظهور است.

اصطلاحات کلیدی: پاستورایزیشن؛ مایکروارگانیزم؛ فعالیت انزایمی؛ حرارت بالا؛ نگهداری شیر

New Method of Milk Cold Pasteurization with Pulse Electric Field

Jr. Teaching Asstt. Nasir Ahmad Sarwary

Department of Food technology & Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Kabul University, Kabul, Afghanistak
Email: Nasirsarwary97@gmail.com

Abstract

Preservation of milk for longer time is very difficult and high temperature is the causes of some destruction in milk content. Proper pasteurization could destroy all pathogenic non-spore producing bacteria. Thermal pasteurization doesn't destroy all bacteria in milk although it destroys majority of them. To overcome this disadvantage of thermal pasteurization, Ohio State University has suggested a non-thermal method of pasteurization using pulse electric field (PEF). The Pulse Electric Field (PEF) is the new method of cold pasteurization for killing or inactivating of microorganisms and to inhibition of enzyme activity in the milk. It is an emerging lucrative food preservation technology.

Keywords: Pasteurization; Microorganism; Enzyme Activity; High Temperature; Preservation of Milk

مقدمه

شیر مایعی است که از حدود ۴۵۰۰ نوع پستانداران ماده ترشح می‌شود. یکی از دلایل تولید شیر پستانداران ماده، تغذیه کامل نوزاد است. هدف اولیه‌ی مصرف نوزاد از شیر تأمین انرژی، امینو اسیدهای ضروری و گروپ های امینی لازم برای سنتیز امینو اسید غیر ضروری، اسید های چرب ضروری، ویتامین‌ها، ترکیبات غیر عضوی و البته آب می‌باشد.

انرژی توسط چربی، قند و در صورت نیاز بیشتر، توسط پروتیین تأمین می‌شود. ویژگی شیر به‌عنوان غذا در مواد مغذی آن نهفته است.

هزاران سال است که این حقیقت درک شده است و منجر به اهلی شدن نشخوارکنندگان گیاه‌خوار هم‌چون گاو، گوسفند، شتر و گوزن شمالی شده است. چون نشخوارکنندگان قادر به هضم سلولوز دیوار حجروی گیاه هستند. لذا شیر به پیمانه‌های وسیع در سراسر جهان تولید می‌شود و هم‌واره تلاش‌های زیادی برای نگه‌داری شیر صورت گرفته تا باعث تمدید موعد نگه‌داری شیر گردیده و هم‌چنین ویژگی‌های کیفی آن‌را به مدت طولانی حفظ کند.

معمولاً برای این منظور از روش‌های متفاوت پاستورایزیشن استفاده می‌شود تا محصول به مدت طولانی ذخیره گردد. ولی اکثراً روش‌های حرارتی باعث تخریب ویژگی‌های کیفی شیر می‌گردد. بنابراین، لازم دانسته شد تا معلومات چند در مورد معرفی روش جدید غیرحرارتی (Pulsed Electric Field) که بالای ویژگی‌های شیر تأثیر مخرب ندارد؛ خدمت علاقه‌مندان، تولیدکنندگان و اهل مسلک تقدیم گردد (۱، ۲).

ترکیبات شیر

ترکیب اصلی شیر را موادی مانند آب، پروتیین‌ها (در درجه اول کازئین)، قند شیر یا لکتوز، شحم و مواد معدنی تشکیل می‌دهند. هم‌چنین شیر حاوی موادی به مقادیر بسیار کم مثل رنگ دانه‌ها، انزایم‌ها، ویتامین‌ها، فسفولیپیدها و گازها می‌باشد، بعضی‌ـ از این مواد مانند چربی، لکتوز و کازئین اختصاصی هستند و در طبیعت، تنها در شیر یافت می‌شوند. به‌طور کلی ترکیبات شیر از دو گروپ اصلی آب و مواد خشک تشکیل شده است.

اگر از جمع مواد خشک چربی را کم کنیم، باقی‌مانده را ماده خشک بدون چربی می‌گویند، هم‌چنین اگر پروتیین شیر به‌وسیله‌ی هر ماده اسیدی لخته و از شیر جدا گردد، مایع جدا شده از مجموعه شیر را سیرم شیر گویند (۱). جدول (۱) ترکیبات شیر در موجودات مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۱: فیصدی ترکیبات شیر برخی از انواع (۲)

انواع	مواد جامد	چربی	پروتیین	لکتوز	خاکستر
انسان	۱۲,۲	۳,۸	۱,۰	۷,۰	۰,۲
گاو	۱۲,۷	٤,٥	۲,۹	٤,۱	۰,۸
گوسفند	۱۹,۳	۷,٤	٤,٥	٤,۸	۱,۰
خوک	۱۸,۸	٦,۸	٤,۸	٥,٥	-
اسپ	۱۱,۲	۱,۹	۲,٥	٦,۲	۰,٥
مرکب	۱۱,۷	۱,٤	۲,۰	۷,٤	۰,٥
گوزن شمالی	۳۳,۱	۱٦,۹	۱۱,٥	۲,۸	-
خرگوش	۳۲,۸	۱۸,۳	۱۱,۹	۲,۱	۱,۸
گاومیش	۱٤,٦	۳,٥	٤,٥	٥,۱	۰,۸
فیل هندی	۳۱,۹	۱۱,٦	٤,۹	٤,۷	۰,۷
خرس قطبی	٤۷,٦	۳۳,۱	۱۰,۹	۰,۳	۱,٤

هم‌چنین شیر دارای خواص فزیولوژیکی مختلفی است که مهم‌ترین آن‌ها خاصیت محافظتی آن می‌باشد که بیشتر توسط پروتیین‌ها و پیپتایدها انجام می‌پذیرد، از جمله می‌توان به ایمینوگلوبولین‌ها، انزایم‌ها، انزایم‌های بازدارنده، فکتور رشد، هورمون‌ها و ترکیبات ضد باکتری اشاره کرد (۲).

تأثیر پاستورایزیشن حرارتی بالای اجزای شیر

شیر دارای مایکروارگانیزم‌های بیماری‌زا است و زمینه‌ی انتقال بیماری‌ها را از حیوان به انسان مساعد می‌سازد. لذا با توجه به مخاطرات مصرف شیر خام و محصولات غیرپاستورایز شده، برای سالم‌سازی آن از شیوه‌های حرارتی استفاده می‌شود. در روش معمول جوشاندن شیر، با وجودی‌که میکروب‌های بیماری‌زای آن از بین می‌رود، اما به ارزش غذایی شیر از جمله پروتیین‌ها، املاح و ویتامین‌ها صدمه وارد می‌شود (۳).

پاستورایزیشن و عملیات حرارت بسیار بلند (Ultra High Temperature) بالای اجزای پروتیین و لکتوز شیر تأثیرات مخرب ندارد. ولی تأثیرات مخرب اندک بالای ترکیبات شیر، کاهش چربی، مواد جامد و افزایش یوریا را در بر دارد. این عملیات باعث تغییر در زنجیر کوتاه اسیدهای شحمی ضروری می‌شود (۴).

جدول ۲: ترکیبات پیوسته و فزیکوکیمیایی شیر خام، پاستورایزشده و حرارت بسیار بالا در شیر گاو (۴)

تحلیل	شیر خام	پاستورایزشده (Pasteurized)	حرارت بسیار بالا (UHT)
رطوبت(۱۰۰ g/g)	۸۸,۲۲±۰,۲۸	۸۸,۷۳±۰,۲۰	۸۸,٦۵±۰,۲٤
پروتیین(۱۰۰ g/g)	۳,۲۰±۰,۰۵	۳,۱۹±۰,۰۵	۳,۲۰±۰,۰۵
کل چربی(۱۰۰ g/g)	۳,۵۸±۰,۲۷	۳,۰۷±۰,۲۲	۳,۱۵±۰,۲۲
لکتوز(۱۰۰ g/g)	٤,۲۸±۰,۰۷	٤,۲۵±۰,۰٦	٤,۲۷±۰,۰۹
مواد جامد(۱۰۰ g/g)	۱۱,۵٦±۰,۲۱	۱۱,۵٤±۰,۲۰	۱۱,۵٦±۰,۲۱
شحم آزاد عصاره خشک(۱۰۰ g/g)	۸,٤۱±۰,۰۸	۸,٤۷±۰,۰٦	۸,٤۱±۰,۰۸
یوریا($mg\ dL^{-1}$)	۲۵,۵۷±۳,۸۱	۲۱,۵۷±۳,۷۸	۲۵,۵۷±۳,۸۱
کلسیم(۱۰۰ g/g)	۰,۱۰±۰,۰۱	۰,۱۱±۰,۰۲	۰,۱۰±۰,۰۱
فاسفور(۱۰۰ g/g)	۰,۱۰±۰,۰۲	۰,۱۰±۰,۰۱	۰,۱۰±۰,۰۲
ترکیبات فزیکوکیمیایی			
اسیدیتی(لکتیک اسید%)	۰,۲۲±۰,۰۸	۰,۱۵±۰,۰۲	۰,۱۵±۰,۰۱
پی اچ	٦,٤۷±۰,٤۱	٦,۷۷±۰,۱۲	٦,۷۷±۰,۱۰
غلظت($g\ mL^{-1}$)	۱,۰۲±۰,۰۰	۱,۰۲±۰,۰۰	۱,۰۲±۰,۰۰

روش‌های حرارتی پاستورایزیشن

چهار روش مختلف پاستورایز کردن وجود دارد که در زیر آورده شده است، روش اولی و دومی در مقایسه با روش سومی و چهارمی بیشتر رایج است که حتی گاهی اوقات به‌عنوان پاستورایزیشن نامیده نمی‌شوند.

۱. پاستورایزیشن حرارت پایین، مدت طولانی (Low Temperature Long Time) : پاستورایزیشن (LTLT) هم‌چنین به‌عنوان پاستورایزیشن دسته‌یی (Batch Pasteurization) نامیده می‌شود. این نوع پاستورایزیشن شامل حرارت دادن شیر تا حرارت حداقل ٦۲,۸ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه می‌باشد و منظور آن عاری‌سازی شیر از پاتوجن میکروبی‌فعال به‌خصوص Mycobacterium tuberculosis است.

۲. پاستورایزیشن مداوم (High Temperature Short Time) : در این نوع پاستورایزیشن شیر به‌صورت مداوم با پلیت‌های تبادل حرارتی در گردش می‌آید و شیر در حرارت کم‌تر از ۷۱,۷ درجه سانتی‌گراد به‌مدت حداقل ۱۵ ثانیه گذاشته می‌شود. از نظر تجاری برای اولین بار در دهه ۱۹۴۰ استفاده شد و از آن زمان تاکنون در پروسس لبنیات کاربرد دارد.

۳. پاستورایزیشن سریع (Flash Pasteurization) : عبارت از پروسه‌ی حرارتی است که در آن شیر تا حرارت ۸۵ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ الی ۴ ثانیه در تماس حرارت قرار می‌گیرد. این درمان نسبت به روش (HTST) شدیدتر است و معمولاً با حرارت دادن مستقیم محصول از طریق تزریق بخار انجام می‌شود. روش پاستورایزیشن سریع به‌ویژه برای پاستورایزکردن قیماق در زمان مسکه‌سازی استفاده می‌شود و معمولاً برای پاستورایزکردن شیر استفاده نمی‌شود.

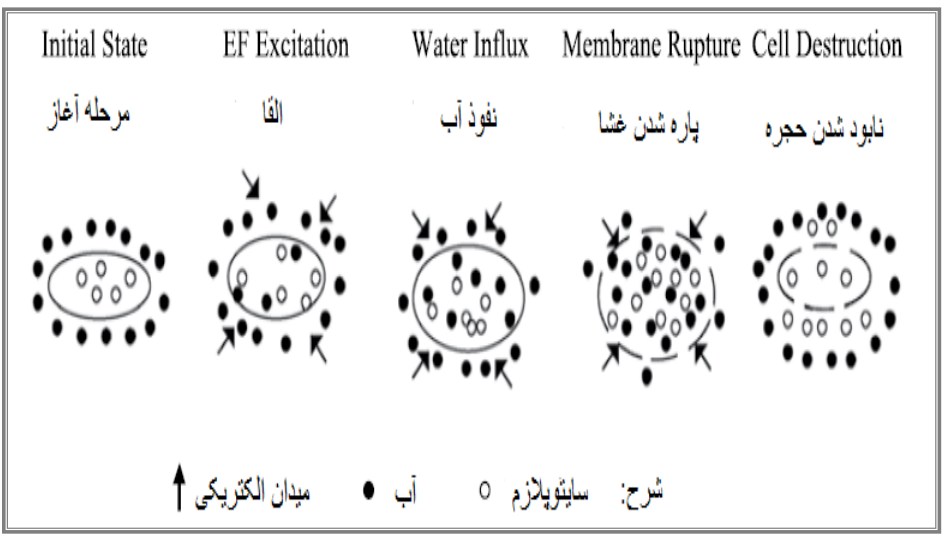
٤. پاستورایزیشن با حرارت فوق‌العاده بالا (Ultra-High Temperature) (UHT): هم‌چنین به‌عنوان درمان حرارتی فوق‌العاده توضیح داده شده است و در این روش شیر در حرارت کم‌تر از ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱ ثانیه قرار گرفته و پس از آن به‌صورت معقم بسته‌بندی می‌شود. این روش حرارتی می‌تواند به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم یا هر دو شکل اعمال شود. مهم‌ترین مزیت پاستورایزکردن (UHT) نگه‌داری شیر ۳ تا ٦ ماه است که بدون یخ‌چال نگه‌داری کرده می‌شود (۵).

پاستورایزیشن غیرحرارتی ذریعه‌ی جریان میدان برقی (Pulsed Electric Field)

پاستورایزیشن جریان برقی (PEF) جدیدترین روش پاستورایزیشن سرد برای کشتن یا غیرفعال کردن مایکروارگانیزم‌ها و مهار فعالیت انزایم‌ها در شیر است. که شامل اعمال پالس‌های کوتاه تکراری با ولتاژ بالا(۵ تا ۴۰ kV) به جریان شیر بین دو الکترود است. با روش PEF می‌توانیم همه مایکروارگانیزم‌ها را با سرعت جریان ۱,۰ ml/s با چهار عبور در ۵ kV پالس الکتریکی نابود کنیم. نگه‌داری شیر به‌مدت طولانی به دلیل پایین نگهداشتن کیفیت شیر، کم‌بود امکانات حمل و نقل، آب و هوای نامساعد و وجود باکتری‌هایی مانند: Streptococcus Lactis, E coli, Bacillus subtilus, Aerobacter aerrangenes و غیره کار بسیار دشوار است. پاستورایزیشن باعث افزایش موعد نگه‌داری و کیفیت شیر شده در نتیجه سلامت عمومی مردم را با از بین‌بردن اکثر عوامل بیماری‌زا در شیر محافظت می‌کند.

روش پاستورایزیشن حرارتی شیر برای از بین بردن عوامل بیماری‌زای موجود در شیر ایجاد شده است، و نیز امروزه چند روش دیگر پاستورایزیشن شیر وجود دارد. پاستورایزیشن مناسب می‌تواند همه عوامل بیماری‌زای باکتری‌های بدون اسپور را از بین ببرد. ولی پاستورایزیشن حرارتی تمام

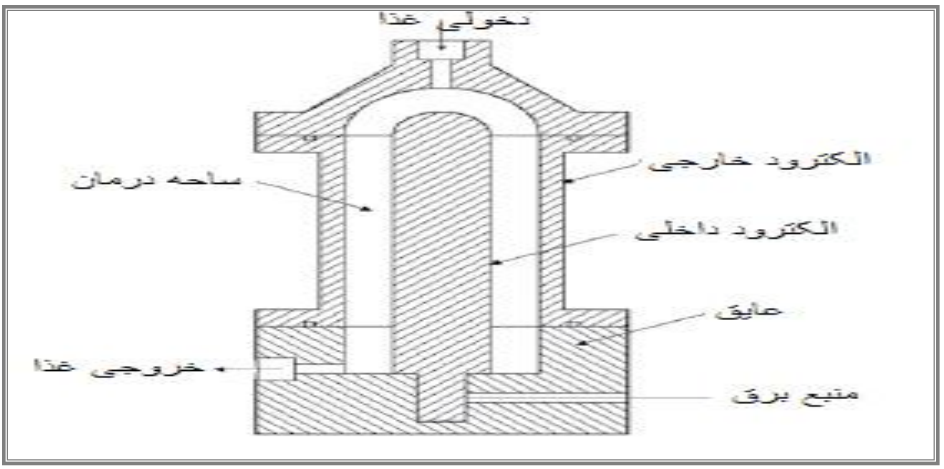
باکتری‌های شـیر را از بین برده نمی‌تواند اگرچه اکثر آن‌ها را از بین می‌برد. برای غلبه بر این عیب پاسـتورایزیشـن حرارتی، دانشـگاه ایالتی اوهایو روش پاسـتورایزیشـن غیرحرارتی با اسـتفاده از پالس میدان برقی را پیشـنهاد کرده اسـت که یک تکنالوژی نگه‌داری مناسـب و بدون ضرر اسـت و شـامل اعمال تکرار پالس‌های کوتاه با ولتاژ برق بالا به جریان شیر بین دو الکترود می‌شـود. محدوده‌ی ولتاژ مورد نیاز kV/cm ۲۰ تا ۸۰ است. این پروسه با پاره کردن غشای حجروی مایکروارگانیزم‌ها را غیرفعال و ضمن آن مواد مغذی و ویژگی‌های تازگی شیر را حفظ می‌کند (٦).



شکل ۱: میکانیزم عمل جریان برقی بالای حجره باکتری (۷)

اصول تکنالوژی جریان میدان برقی (Pulsed Electric Field)

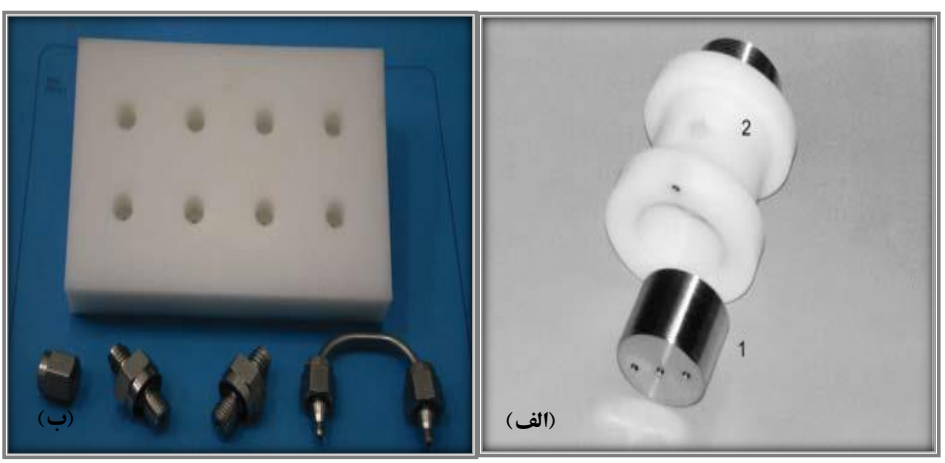
برای سـال‌های متمادی، میدان‌های برقی با شـدت بالا برای القای الکتروپورشـن (Electroporation) استفاده می‌شوند. و یک پدیده‌یی است که برای ترویج تبادل DNA باکتریایی با سوراخ کردن غشاهای میکروبی اسـتفاده می‌شـود. پیشـرفت در طراحی چمبر هدایتی (Chamber led) منجر به توسـعه‌ی یک تکنالوژی جدید به‌نام میدان برقی (PEF) شد. تکنالوژی (PEF) شامل درمان یک ماده بیولوژیکی یا مواد غذایی است که بین دو الکترود ۱,۰-۰,۱ سانتی‌متر نصب شـده قرار داده شـده جدا از چمبر درمان (Treatment chamber) که توسط عایق جدا شده است، با پالس‌های کوتاه (۱-۱۰ میکرو ثانیه) که توسط یک جنراتور با پالس ولتاژ بالا (۵-۲۰ کیلو ولت) تولید می‌شـوند، دارای یک منبع انرژی برای چارچ مخازن باطری و یک سویچ برای تخلیه انرژی به چمبر درمان (Treatment chamber) است (۸).



شکل ۲: میکانیزم فعالیت دستگاه (۷)

اولین نوع چمبر مورد استفاده برای مطالعات در غیرفعال‌سازی میکروبی در غذای مایع یک چمبر ساکن بود که برای درمان حجم کوچک نمونه داخل یک ظرف استوانه‌یی با دو الکترود موازی طراحی شده بود و در تولیدات جدید مواد این تکنالوژی از فلز ضد زنگ کار گرفته‌شده و برای مصرف انسان‌ها نیز مصوون است و نسبت به فلزات، کاربرد گرافیت برای این تکنالوژی بهتر است چون‌که در برابر الکترولایز به‌مراتب مقاوم‌تر از فلزات است. پارامتر اصلی در پروسس (PEF) قوت میدان برقی است که توسط رابطه‌ی تفاوت پوتانسیل برق (v) که شامل دو الکترود است و (d) فاصله (cm) بین آن‌هاست، مشخص می‌شود و (E) قوت میدان برقی (kV/cm) می‌باشد (۸).

$$E = \frac{\mathrm{v}}{\mathrm{d}}$$



شکل ۳: (الف) چمبرسلندری Cylindrical chamber (۱. چمبر، ۲. عایق) (ب) چمبرکوفیلد Cofield chamber (۸)

شکل۴: (الف) دستگاه PEF (OSU 4D)، ٦ چمبره کوفیلد، ۳۰ L/h،۱۲kV) (ب) دستگاه PEF (OSU-6)، ۳ چمبره کوفیلد، ٦۰ kV، ۲۰۰۰ L/h) (۸)

اثرات جریان میدان برقی (PEF) بالای پاستورایزیشن شیر

۱. اثرات میکروبیولوژیکی: اکثریت مطالعات بالای غیرفعال‌سازی میکروبی توسط PEF نشان می‌دهد که درمان با ولتاژ بالا باعث تغییرات ساختمانی و وظیفوی غشای حجروی شده و در نتیجه مرگ مایکروارگانیزم‌ها را به همراه دارد (۹).

۲. اثرات کیفی: فعالیت انزایم‌های باکتری دلیل عمده‌ی ضایعات اقتصادی غذا به‌خصوص شیر می‌شود چون‌که باکتری‌ها باعث تغییر در پارامترهای مهم کیفیت می‌شود. فعالیت انزایمی باعث طعم نامطلوب، تلخی و ترشی می‌شود. ولتاژ برقی PEF از تغییرات پروتیینی‌که توسط انزایم‌ها در ساختار پروتیین به‌وجود می‌آید، جلوگیری می‌کند و با دشوارسازی محیط فعال-غذا سبب کاهش فعالیت بیولوژیکی می‌شود. در کل انزایم‌ها در مقابل درمان میدان برقی مقاوم‌تر از مایکروارگانیزم‌هاست (۱۰).

۳. اثرات فزیوکیمیایی و ویژه‌گی حسی: یکی از ویژگی خوب پروسس غیرحرارتی حفظ خاصیت غذا به‌شکل اصلی آن است که این‌ها شامل خاصیت فزیوکیمیایی، مثل pH، غلظت، هدایت برقی، اجزای پروتیین و شحم، و ویژگی حسی، مثل عطر، طعم و رنگ که از مهم‌ترین خواص شیر می‌باشد، اند (۱۱).

۴. اثرات بالای ترکیبات بیو اکتیف: حفظ مواد مغذی غذا یکی از فواید پاستورایزیشن غیرحرارتی است. مطالعات نشان می‌دهد که مرکبات بیو اکتیف مانند ویتامین‌ها و دیگر مواد انتی اکسیدانت توسط پاستورایزیشن جریان برقی به مقایسه پاستورایزیشن حرارتی بهتر حفظ می‌گردد (۱۲).

۵. اثرات بالای تمدید موعد نگه‌داری: یکی از چالش‌های اصلی پروسس PEF اطمینان از موعدنگه‌داری شیر است که می‌تواند درین زمینه مانند درمان حرارتی عمل کند یا خیر؛ چون‌که خصوصیات پاستورایزیشن جریان برقی شیر را به‌شکل طبیعی آن حفظ می‌کند. براساس تحقیقات مقایسوی که توسط فرناندر مولینا و همکاران (۲۰۰۵) انجام شد، در نتیجه ثابت شد که روش PEF باعث تمدید موعد نگه‌داری به مدت طولانی می‌گردد (۱۳، ۱۴).

نتیجه‌گیری

شیر خام یک غذای با کیفیت و کامل است. هم‌چنان یگانه غذایی است که برای تغذیه نوزادان استفاده می‌شود؛ ولی محیط رشد مناسب برای مایکروارگانیزم‌ها نیز محسوب می‌شود. به‌همین دلیل باید شیر خام پاستورایزیشن گردد ولی در جریان پاستورایزیشن حرارتی بعضی از مواد ضروری تخریب می‌شود؛ لذا روش جایگزین باید انتخاب گردد و آن روش پاستورایزیشن غیرحرارتی یا سرد PEF است و مزایای اصلی پاستورایزیشن سرد PEF نسبت به پاستورایزشن حرارتی عبارتند از:

۱. این یک پروسه غیرحرارتی و کارا برای غیرفعال‌سازی عوامل بیماری‌زا است که می تواند ۹۹,۹ فیصد عوامل بیماری‌زا را غیرفعال کند.
۲. بسیاری از پروسه‌های میانی را حذف می‌کند (مراحلی مانند هم‌سان‌سازی که باید در روش سنتی با دقت زیاد انجام شود).
۳. طعم و ارزش غذایی حفظ شده و هم‌چنان روش سریع، آسان و اقتصادی است و نیز به چربی شیر آسیب نمی‌رساند.
٤. کاربرد این روش باعث بهبود یک تخنیک طبیعی (PEF) می‌شود.

منابع

(1) Warsewicz, H., Rejman, K., Laskowski, W and Czeczotko, M. Milk and Dairy Products and Their Nutritional Contribution to the Average Polish Diet, Warsaw University of Life Sciences. 2019, pp. 02-787.

(2) Movahedi, A., Salami, M., Moslehishad, M and Shasaltaneh, M. Chemistry of milk proteins and its application, first edition. 2014, pp. 1-2.

(3) Tiwari, V., Pandey, S. Pasteurization of Milk, College of agricultural engineering JNKVV JABALPUR. 2019, pp. 01-18.

(4) Gennari, A., Pestana, J., Monteiro, B., Lehn, D and de Souza, C. Effects of Pasteurization and Ultra-High Temperature Processes on Proximate Composition and Fatty Acid Profile in Bovine Milk, American Journal of Food Technology. 2015; 10 (6), pp. 265-272.

(5) Mandal, P., Biswas,A. Milk Pasteurization and Equipment. Journal of ResearchGate. 2014 Apr, pp. 51-78.

(6) Patil, D., Deogirikar, A. Mahalle, D. Kharche, D and Deshpande, M. MILK PASTEURIZATION WITH PULSE ELECTRIC FIELD, Agriculturist. 2004; 15, pp. 83-87.

(7) Panyamuangjai, V., Janthara, S., Kusuya, R., Yawootti, A and Intra, P. Application of Pulsed Electric Field for Milk Pasteurization, Journal of ResearchGate. 2014, pp. 469-484.

(8) Datta, N., Tomasula, P. Emerging Dairy Processing Technologies, first edition Wiley publish. 2015, pp. 115-128.

(9) Mañas, P. and Pagan, R. Microbial inactivation by new technologies of food preservation, Journal of Applied Microbiology. 2005; 98, pp. 1387-1399.

(10) Bendicho, S., Barbosa-Cánovas, G. and Martin, O. Reduction of protease activity in milk by continuous flow high-intensity pulsed electric field treatments, Journal of Dairy Science. 2003; 86, pp. 697-703.

(11) Michalac, S., Alvarez, V., Ji, T. and Zhang, Q. Inactivation of selected microorganisms and properties of pulsed electric field processed milk, Journal of Food Processing and Preservatio. 2003; 27, pp. 137-151.

(12) Zhang, S., Yang, R., Zhao, W. et al. Influence of pulsed electric field treatments on the volatile compounds of milk in comparison with pasteurized processing, Journal of Food Science. 2011; 76, pp. 127–132.

(13) Fernandez-Molina, J.J., Barbosa-Cánovas, G.V. and Swanson, B.G. Skim milk processing by combining pulsed electric fields and thermal treatments, Journal of Food Processing and Preservation. 2005; 29, pp. 291–306.

(14) Fernandez-Molina, J.J., Fernandez-Gutierrez, S.A., Altunakar, B. et al. The combined effect of pulsed electric fields and conventional heating on the microbial quality and shelf life of skim milk, Journal of Food Processing and Preservation. 2005; 29, pp. 390–406.