مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله مروری

اثرات فرآیند فشار بالا بر شیر و فرآورده‌های شیر

نگار راوش[1*] و جواد حصاری[1]

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

کلمات کلیدی:

فرآیند فشار بالا،

فرآیند غیرحرارتی،

شیر و فرآورده‌های شیر،

فرآورده‌های لبنی.

DOI: 10.52547/fsct.18.121.11

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1

* مسئول مکاتبات:

negarravash@tabrizu.ac.ir

چکیده

شیر و فرآورده‌های آن سرشار از ترکیبات زیست‌فعال و فراسودمند هستند. اغلب این ترکیبات در برابر حرارت ناپایدار هستند. بنابراین فرآیندهای حرارتی رایج ممکن است تأثیر مخربی بر کیفیت تغذیه‌ای شیر و فرآورده‌های آن داشته باشند. از این رو فرآیندهای غیرحرارتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده‌اند. فرآیند فشار بالا یکی از فرآیندهای غیرحرارتی نوین است که در زمینه افزایش ماندگاری شیر و فرآورده‌های لبنی مورد پژوهش‌های متعددی قرار گرفته است و نتایج نویدبخشی به همراه داشته است. هدف از مقالهٔ حاضر، مرور مطالعات انجام‌گرفته در زمینه اثرات فرآیند فشار بالا بر شیر و فرآورده‌های لبنی است. طبق نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته، فرآیند فشار بالا قابلیت تغییر ساختار ترکیبات شیر از جمله پروتئین‌ها و گلبول‌های چربی را دارد. همچنین فرآیند فشار بالا می‌تواند ضمن حفظ مواد مغذی و ترکیبات مولد عطر و طعم، موجب غیرفعال‌شدن میکروارگانیسم‌های فسادزا و بیماری‌زا، افزایش بازدهی و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و حسی شیر و فرآورده‌های آن شود.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]

[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

۱- مقدمه

شیر و فرآورده‌های آن به لحاظ غنای ترکیبات مغذی و زیست فعال، می‌توانند در زمره مواد غذایی فراسودمند قرار بگیرند. با این‌حال اغلب این ترکیبات مغذی در مقابل حرارت ناپایدار هستند. لذا فرآیندهای حرارتی رایج، علی‌رغم کاهش و غیرفعال‌سازی جمعیت میکروبی، ممکن است کیفیت تغذیه‌ای شیر و فرآورده‌های لبنی را دستخوش تغییرات نامطلوب نمایند لذا استفاده از فناوری‌های غیرحرارتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [۶-۱].

یکی از فرآیندهای غیرحرارتی نوین، فرآیند فشار بالا است که به‌طور معمول بسته به نوع ماده غذایی، دمای فرآیند و هدف مورد نظر، با اعمال فشارهای بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ مگاپاسکال به مواد غذایی (با یا بدون بسته‌بندی)، انجام می‌گیرد [۷ و ۸].

در فرآیند فشار بالا براساس قانون ایزواستاتیک، فشار به‌طور سریع و یکنواخت در تمام سیستم منتقل می‌شود. به همین جهت هیچ قسمتی از نمونهٔ تحت فرآوری دچار تیمار کم یا بیش از حد نخواهد شد. بنابراین برخلاف فرآیندهای حرارتی، اندازه و شکل هندسی مادهٔ غذایی، تأثیری بر کیفیت فرآوری و زمان مورد نیاز برای فرآیند نخواهد داشت [۷].

فرآیند فشار بالا با تأثیر بر پیوندهای شیمیایی به‌ویژه پیوندهای غیرکوالانسی، می‌تواند منجربه دناتوراسیون پروتئین‌ها، واکنش‌های بیوشیمیایی و تغییرات در ریزساختار شود که تمامی تغییرات مذکور، جمعیت میکروبی و ویژگی‌های تغذیه‌ای، رئولوژیکی و حسی مواد غذایی تیمارشده را تحت تأثیر قرار خواهد داد [۸ و ۹].

گزارشات متعددی مبنی‌بر مؤثر بودن فرآیند فشار بالا در کاهش جمعیت میکروبی و افزایش ماندگاری شیر و فرآورده‌های آن، در عین حفظ خصوصیات تغذیه‌ای و حسی، وجود دارد [۱۰-۲۹].

از سایر کاربردهای فرآیند فشار بالا در صنعت لبنیات می‌توان به استخراج پروتئین‌های آلفالاکتالبومین و بتالاکتوگلوبولین خالص از آب‌پنیر [۳۰]، افزایش ماندگاری و بهبود خواص عملکردی کازئین میسلار [۱۸ و ۲۱]، بهبود فعالیت ویژه آنزیم‌های منعقدکننده شیر [۲۹] و همچنین افزایش بازده دلمه پنیر [۲۰]، کاهش تولید آمین‌های بیوژن [۳۱]، افزایش ترکیبات زیست‌فعال در پنیر [۱۹]، جلوگیری از رسیدن بیش از حد پنیر [۲۷] و بهبود خواص رئولوژیکی و حسی فرآورده‌های پروبیوتیکی [۲۳] اشاره کرد.

مقالهٔ حاضر با هدف مرور و جمع‌بندی یافته‌های علمی و مطالعات انجام‌گرفته در زمینه تأثیر فرآیند فشار بالا بر شیر و فرآورده‌های لبنی تدوین شده است. در ابتدا مراحل فرآیند فشار بالا ذکر خواهد شد و در ادامه، اثرات این فرآیند بر ترکیبات شیر و نیز بر تولید صنعتی شیر و فرآورده‌های آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- مراحل فرآیند فشار بالا

در صنعت، فرآوری مواد غذایی با فرآیند فشار بالا، عمدتاً به روش غیرمداوم انجام می‌شود که شامل چهار مرحله اصلی قرارگیری ماده غذایی داخل محفظه فشار (شکل ۱-۱)، پرشدن محفظه با محیط ناقل فشار (شکل ۲-۱)، متراکم‌سازی (شکل ۳-۱)، توقف متراکم‌سازی و خروج ماده غذایی از داخل محفظه فشار (شکل ٤-۱) است [۸].

روش نیمه‌مداوم از ترکیب چندین واحد غیرمداوم تشکیل می‌شود. به‌طوری‌که در این روش، یک واحد درحال پرشدن است و واحدهای دیگر در حال انجام مراحل مختلف فرآیند هستند [۳۲]. روش نیمه‌مداوم برای فرآوری مواد غذایی مایع و قابل پمپ‌شدن توصیه می‌شود. در این روش برای جلوگیری از آلودگی ثانویه، به تجهیزات پرکن و بسته‌بندی اسپتیک بعد از فرآیند فشار بالا نیاز است [۳۳].

متراکم‌سازی از دو طریق کاهش حجم محفظه فشار، به‌عنوان مثال با استفاده از پیستون (شکل ۳-۱)، و یا پرشدن محفظه فشار با محیط ناقل فشار که قبل از ورود به محفظه با استفاده از پمپ فشار بالا یا تقویت‌کننده، فشار آن به اندازه مورد نظر افزایش یافته است، می‌تواند انجام بگیرد. آب، روغن سیلیکون، روغن کاستور، گلیسرول، محلول بنزوات سدیم و اتانول از جمله سیالاتی هستند که می‌توانند به‌عنوان محیط ناقل فشار مورد استفاده قرار بگیرند [۸].

از آنجایی که در حین فرآیند فشار بالا تغییر حجم ناشی از متراکم‌سازی (۲۰-۱۰ درصد) رخ می‌دهد لذا مواد غذایی بسته‌بندی‌شده بایستی دارای بسته‌بندی‌های مستحکم و انعطاف‌پذیر باشند. از جمله بسته‌بندی‌هایی که قابلیت استفاده در فرآیند فشار بالا را دارند می‌توان به بسته‌بندی‌های پلیمری از قبیل پلی‌اتیلن ترفتالات، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و کوپلیمراتیلن-وینیل الکل اشاره کرد. بسته‌بندی‌های شیشه‌ای،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

فلزی و کاغذی برای این‌منظور مناسب نیستند [۳۴].

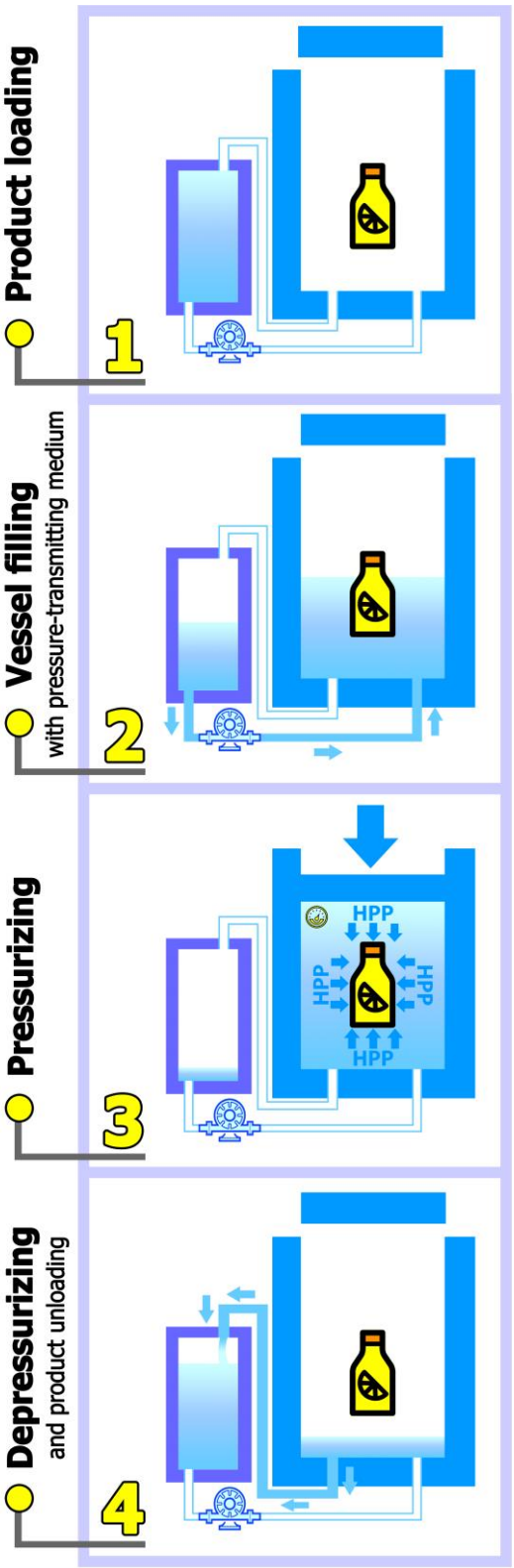

Fig 1 A schematic representation of the steps of batch high-pressure processing [8].

۳- تأثیر فرآیند فشار بالا بر ترکیبات شیر

۳-۱- تأثیر فرآیند فشار بالا بر چربی شیر

به‌طور کلی تغییرات حاصله در ساختار چربی شیر بر اثر فرآیند فشار بالا، به نوع شیر و شرایط فرآیند بستگی دارد. به‌عنوان مثال، در نتیجه یک پژوهش، فرآیند با فشار ۶۰۰-۱۰۰ مگاپاسکال به مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد، تأثیری بر اندازهٔ گلوبول‌های چربی شیر گاو نداشت [۳۵]. با این‌حال، طبق نتیجهٔ پژوهشی دیگر، اعمال فشار ۳۰۰-۲۰۰ مگاپاسکال بر شیر گوسفند در دمای ۵۰-۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، منجربه کاهش اندازه گلوبول‌های چربی شد [۳۶]. همچنین، گزارش شده است میزان اسیدهای چرب آزاد در شیر گوسفند تیمارشده با فرآیند فشار بالا افزایش نیافت که این موضوع از لحاظ کنترل بدطعمی حاصل از فعالیت آنزیم‌های لیپولیتیک می‌تواند حائز اهمیت باشد [۳۶ و ۳۷].

از طرفی دیگر، فرآیند فشار بالا ممکن است بر خامه‌ای‌شدن[1] گلبول‌های چربی تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال محققان اظهار کردند که میزان خامه‌بستن شیر ممکن است پس از فرآوری در فشارهای کمتر از ۲۵۰ مگاپاسکال، افزایش و پس از فرآوری در فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال، کاهش‌یابد [۳۸]. نتایج مشابهی در رابطه با میزان خامه‌بستن شیر گوسفند فرآوری‌شده تحت فشار ۵۰۰ مگاپاسکال در ۲۵ و ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد گزارش شده است [۳۶]. افزایش خامه‌بستن ممکن است ناشی از واکنش بین گلبول‌های چربی و پروتئین‌های شیر باشد، در-حالی‌که کاهش خامه‌بستن احتمالاً به‌دلیل غیرفعال‌شدن آگلوتینین‌ها یا کاهش اندازه گلبول‌های چربی است [۳۶ و ۳۸]. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که بسته به هدف مورد نظر، بتوان از فرآیند فشار بالا، هم برای کاهش خامه‌ای‌شدن گلبول‌های چربی (به‌عنوان مثال برای فرآوری شیر و نوشیدنی‌های بر پایه شیر) و هم به‌منظور افزایش خامه‌ای‌شدن گلبول‌های چربی (به-عنوان مثال جهت تسهیل جداسازی خامه در تولید کره) استفاده نمود [۳۷ و ۳۸].

۳-۲- تأثیر فرآیند فشار بالا بر پروتئین‌های شیر

۳-۲-۱- تأثیر فرآیند فشار بالا بر میسل‌های کازئین

به‌طور کلی ساختارهای سوم و چهارم پروتئین‌ها، در برابر فرآیند فشار بالا حساس هستند، به‌طوری‌که ساختارهای سوم

1. Creaming

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

در فشارهای بالاتر از ۲۰۰ مگاپاسکال و ساختارهای چهارم در فشارهای بالاتر از ۱۵۰ مگاپاسکال، دچار تغییرات شدیدی می‌شوند. اما به‌دلیل پایداری پیوندهای پپتیدی و هیدروژنی، فرآیند فشار بالا تأثیری بر ساختارهای اولیه و ثانویه پروتئین‌ها ندارد [۳۹].

بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته، فشارهای بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ مگاپاسکال به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد، باعث تغییر اندک یا عدم تغییر در میسل‌های کازئین می‌شود، درحالی‌که فشارهای ۲۵۰ مگاپاسکال برای زمان‌های بیشتر از ۱۵ دقیقه، موجب تجمع کازئین‌ها و در نتیجه افزایش اندازهٔ میسل‌ها (تقریباً به میزان ۲۵ درصد) می‌شود. از طرفی دیگر فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال، صرف‌نظر از مدت زمان و درجه حرارت فرآیند، موجب کاهش اندازه میسل‌های کازئین (تا ۵۰ درصد) می‌شود [۳۹ و ۴۰]. کاهش اندازه میسل‌های کازئین در فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال، ممکن است ناشی از شکستن پیوندهای آب‌گریز و انحلال بخشی از فسفات کلسیم کلوئیدی و در نهایت انحلال فراکسیون‌های کازئین باشد [۴۱ و ۴۲]. با این‌حال ممکن است تجزیهٔ کازئین پس از ۲۴ ساعت یا پس از اعمال حرارت (۸۵–۸۰ درجه سانتی‌گراد) معکوس شود، اما لازم به ذکر است که وجود بتالاکتوگلوبولین‌ها از تجمع کازئین‌ها جلوگیری خواهد کرد [۴۳ و ۴۴]. ترتیب انحلال کازئین‌های مختلف درفشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال به شرح ذیل است:

β–کازئین > k–کازئین > αs1–کازئین > αs2–کازئین [۴۵].

۳–۲–۲– تأثیر فرآیند فشار بالا بر پروتئین‌های سرمی شیر

پروتئین‌های سرمی شیر تحت تأثیر فرآیند فشار بالا، ممکن است دچار دناتوراسیون برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر شوند. شایان ذکر است که شدت دناتوراسیون پروتئین‌ها به میزان فشار و دمای فرآیند بستگی دارد و برای دناتوراسیون غیرقابل برگشت، نیاز به زمان فرآیند بیشتری است [۴۰].

همچنین تأثیر فرآیند فشار بالا بر پروتئین‌های سرمی مختلف، متفاوت است. به‌عنوان مثال، بتالاکتوگلوبولین‌ها و آلفالاکتالبومین‌ها مقاومت‌های مختلفی در برابر فرآیند فشار بالا نشان می‌دهند. به‌طوری‌که دناتوراسیون برگشت‌ناپذیر بتالاکتوگلوبولین (با تشکیل کمپلکس بتالاکتوگلوبولین–کاپاکازئین توسط پیوندهای دی‌سولفیدی) در فشار ۱۰۰ مگاپاسکال شروع می‌شود، درحالی‌که دناتوراسیون آلفالاکتالبومین در فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال شروع می‌شود [۴۶]. محققان بیان کردند آلفالاکتالبومین به‌دلیل داشتن بیشترین میزان پیوندهای دی‌سولفیدی درون مولکولی و نیز نداشتن گروه سولفیدریل آزاد، در برابر فرآیند فشار بالا مقاومت بالایی دارد [۴۷]. ترتیب مقاومت پروتئین‌های سرمی شیر نسبت به دناتوراسیون ناشی از فرآیند فشار بالا، به شرح ذیل است:

آلفالاکتالبومین> ایمونوگلوبولین> بتالاکتوگلوبولین> لاکتوفرین [۴۸].

ایمونوگلوبولین‌ها (IgG، IgM و IgA) نیز به‌عنوان ترکیبات زیست‌فعال و فراسودمند، از دیگر پروتئین‌های سرمی شیر هستند که به فرآیندهای حرارتی بسیار حساس هستند اما در برابر فرآیند فشار بالا مقاومت نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال، گزارش شده است IgG در فشارهای بالاتر از ۶۰۰ مگاپاسکال، به مدت ۳ دقیقه پایدار بود [۴۹].

۳–۲–۳– تأثیر فرآیند فشار بالا بر آنزیم‌های شیر

فرآیند فشار بالا ممکن است موجب فعال‌سازی، غیرفعال‌سازی و یا عدم تغییر در فعالیت آنزیم‌های موجود در شیر شود. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که اعمال فشارهای پایین (کمتر از ۴۰۰ مگاپاسکال) در درجه حرارت‌های ملایم، می‌تواند موجب فعال‌سازی آنزیم‌ها شود [۵۰ و ۵۱]. در مقابل، اعمال فشارهای بالاتر از آستانهٔ پایداری هر آنزیم، منجربه دناتوراسیون و در نهایت کاهش فعالیت آن خواهد شد [۵۰ و ۵۲ و ۵۳]. این موضوع در صنعت لبنیات می‌تواند حائز اهمیت باشد، زیرا با فعال‌سازی یا غیرفعال‌سازی آنزیم‌های لیپولیتیک و پروتئولیتیک می‌توان فرآیند تولید محصولات لبنی، از جمله پنیرهای رسیده را کنترل نمود. به‌عنوان مثال فرآوری شیر در فشارهای ۳۵۰ و ۴۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۰۰ دقیقه، موجب افزایش ۱۴۰ درصدی فعالیت آنزیم لیپاز شد [۵۴]. از طرف دیگر گزارش شده است فعالیت پلاسمین موجود در شیر و فرآورده‌های لبنی با قرارگیری در معرض فشار ۶۰۰ مگاپاسکال و دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه، به میزان ۷۵ درصد کاهش یافت [۴۶]. همچنین طبق نتایج پژوهشی دیگر، فعالیت پلاسمین در فشار ۴۰۰ مگاپاسکال و دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه، به میزان ۸۷ درصد کاهش پیدا کرد [۵۵].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

مقاومت آنزیم‌های مختلف در برابر فرآیند فشار بالا متفاوت است. برای مثال، آنزیم فسفاتاز قلیایی تحت فشارهای بالا بسیار مقاوم است، به‌طوری‌که در فشار ۸۰۰ مگاپاسکال، به مدت ۸ دقیقه پایدار است [۵۶]، در حالی که آنزیم فسفاتاز اسیدی در فشارهای بالاتر از ۲۰۰ مگاپاسکال غیرفعال می‌شود [۵۷].

به‌طور کلی آنزیم‌های شیر، در مقایسه با فرآیند حرارتی، به فرآیند فشار بالا مقاوم هستند. به‌عنوان مثال آنزیم لاکتوپراکسیداز پس از ٤ ساعت فرآیند با فشار ۸۰۰ مگاپاسکال در دمای ۲۵ تا ٦۰ درجه سانتی‌گراد، تنها ۵۰ درصد از فعالیت خود را از دست می‌دهد [۵٦] و یا لیزوزیم به مدت ۳۰ دقیقه در برابر فشار٤۰۰ مگاپاسکال مقاومت نشان می‌دهد [۵۸]. با توجه به اینکه آنزیم‌های لاکتوپراکسیداز و لیزوزیم فعالیت ضدمیکروبی دارند، لذا استفاده از فرآیند فشار بالا در صنعت لبنیات، از لحاظ حفظ فعالیت ضدمیکروبی این آنزیم‌های حساس به حرارت حائز اهمیت است.

۳-۲-٤- تأثیر فرآیند فشار بالا بر مواد معدنی شیر

بیشترین تأثیر فرآیند فشار بالا بر مواد معدنی شیر، محلول-سازی فسفات کلسیم کلوئیدی است [۳۹]. طبق نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته، میزان انحلال کلسیم و فسفر شیر، به شرایط فرآیند فشار بالا بستگی دارد. به‌عنوان مثال در نتیجه یک پژوهش، محققان حداکثر حلالیت کلسیم و فسفر را تحت فشارهای ۱۵۰ و۳۵۰ مگاپاسکال، به‌ترتیب ٤۲ و ٦۳ درصد اعلام کردند [۵۹]. درحالی‌که محققان دیگر حداکثر انحلال کلسیم در فشار ۱۳۰ مگاپاسکال را ۸ درصد و حداکثر انحلال کلسیم در فشار ۳۰۰ مگاپاسکال را ۳۰ درصد گزارش نمودند [٦۰ و ٦۱].

خلاصه‌ای از تغییرات ترکیبات شیر در اثر فرآیند فشار بالا در شکل ۲ ارائه شده است.

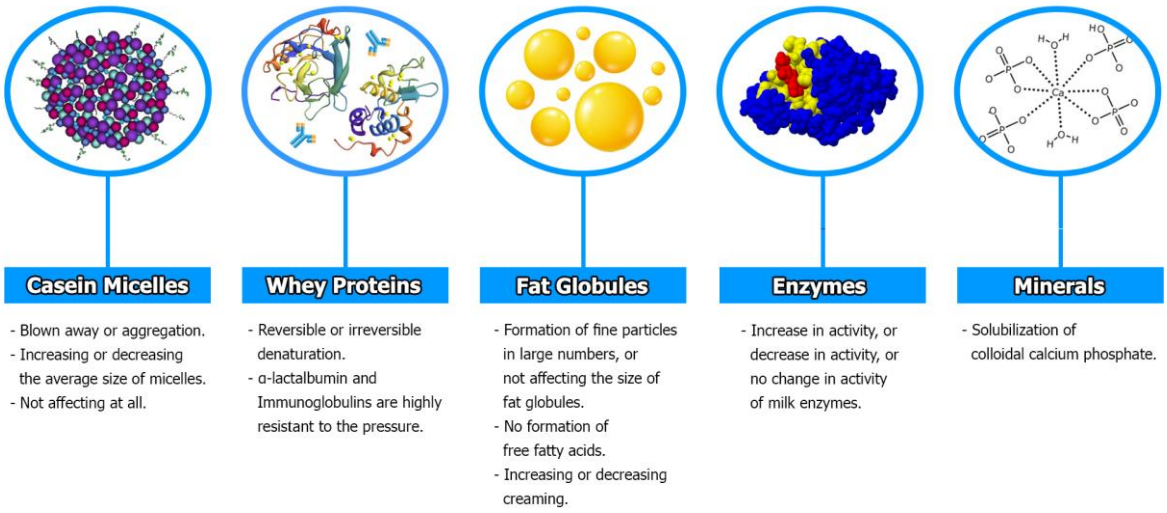

Fig 2 HPP effects on milk components [36,38–40,43,47,49,52,56,57].

٤- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید صنعتی شیر و فرآورده‌های شیر

خلاصه‌ای از اثرات فرآیند فشار بالا بر شیر و فرآورده‌های شیر در شکل ۳ ارائه شده است.

٤-۱- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید صنعتی شیر

فرآیند فشار بالا قابلیت کاهش جمعیت میکروبی شیر را در دماهای پایین دارد، بنابراین با استفاده از این فرآیند، ضمن غیرفعال‌سازی جمعیت میکروبی شیر، اثری از ترکیبات فرار نامطلوب تولیدشده در حین فرآیندهای حرارتی وجود نخواهد داشت [٦۲]. همچنین، فرآیند فشار بالا تأثیر قابل‌توجهی بر میزان ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه، اسیدهای چرب، قندهای ساده و ترکیبات طعم‌دهنده ندارد [۳۷ و ٦۳].

براساس پژوهش‌های انجام‌گرفته، فرآوری شیر به مدت ۱۵-۳ دقیقه در فشارهای ٦۰۰-٤۰۰ مگاپاسکال و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش ماندگاری آن معادل ماندگاری شیر پاستوریزه‌شده توسط فرآیند حرارتی شد [۵٦].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

به‌منظور استریلیزاسیون و غیرفعال کردن اسپورها، بایستی درجه حرارت‌های بالاتر (۶۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد) با فشارهای بالاتر (<۶۰۰ مگاپاسکال) ترکیب شود. همچنین می‌توان با استفاده از فشارهای پایین (<۴۰۰ مگاپاسکال)، جوانه‌زنی اسپورها را تحریک کرده و به دنبال آن با اعمال فشار، موجب غیرفعال‌سازی سلول‌های رویشی گردید [۶۴]. بنابراین فرآیند فشار بالا قابلیت جایگزینی با فرآیندهای حرارتی رایج، جهت تولید شیر با ماندگاری طولانی‌تر و عاری از طعم‌های نامطلوب را دارد.

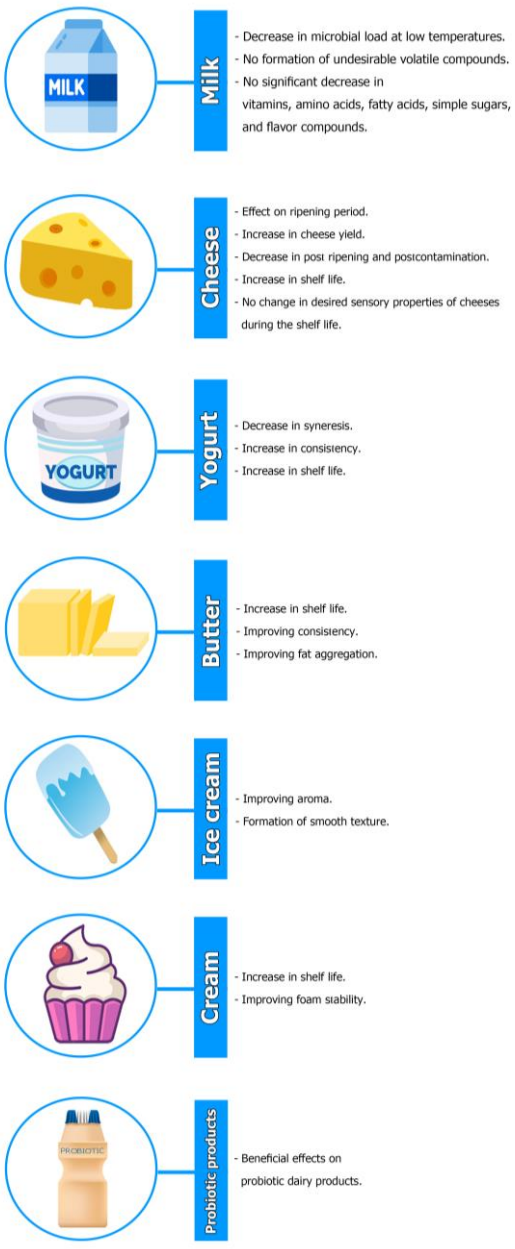

Fig 3 HPP effects on milk and its products [19,23,95,96,35,37,62,63,74,75,90,94].

با این‌حال، این فرآیند در مورد فرآوری شیر بدون چربی دارای محدودیت است چرا که فرآوری شیر بدون چربی در فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال، موجب نیمه شفاف شدن[2] آن می‌شود [۶۵]. این پدیده عمدتاً ناشی از تجزیهٔ کازئین‌ها است. اگرچه از شیر بدون چربی تیمارشده در شرایط مذکور، برای تولید برخی از فرآورده‌های لبنی، به‌عنوان مثال ماست و پنیر، که در فرآیند تولید آن‌ها تجمع کازئین‌ها (توسط اسید یا آنزیم) اتفاق می‌افتد، می‌توان استفاده کرد [۶۶].

۴-۲- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید پنیر

از فرآیند فشار بالا می‌توان در مراحل مختلف تولید پنیر استفاده کرد. یک روش، استفاده از شیر فرآوری‌شده با فرآیند فشار بالا برای تولید پنیر است که می‌تواند منجربه افزایش بازدهی و کاهش بار میکروبی اولیه شود. روش دیگر، استفاده از فرآیند فشار بالا در مراحل مختلف رسیدن پنیر است که موجب کاهش آلودگی ثانویه، تسریع فرآیند رسیدن به‌دلیل فعال شدن آنزیم‌ها، جلوگیری از رسیدن بیش از حد و حفظ کیفیت پنیر به‌دلیل غیرفعال شدن آنزیم‌ها و در نهایت افزایش ماندگاری پنیر می‌شود.

۴-۲-۱- تولید پنیر از شیر فرآوری‌شده با فرآیند فشار بالا

فرآیند فشار بالا می‌تواند بر مدت زمان انعقاد شیر و قوام نهایی ژل تشکیل‌شده، تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال در نتیجه یک پژوهش، مدت زمان انعقاد شیر فرآوری‌شده با فشار ۳۰۰ مگاپاسکال، کاهش یافت. کاهش زمان انعقاد ممکن است به‌دلیل کوچک‌تر شدن اندازهٔ میسل‌های کازئین تحت فرآیند فشار بالا باشد که موجب افزایش سطح و درنتیجه بهبود عملکرد رنت و تسریع روند انعقاد می‌شود.

از طرفی دیگر، گزارش شده است در فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال، مدت‌زمان انعقاد شیر افزایش می‌یابد، که این موضوع احتمالاً به‌دلیل دناتوراسیون بتا-لاکتوگلوبولین و کمپلکس بعدی آن با میسل‌های کازئین و در نتیجه ممانعت از دسترسی آنزیم به کاپا-کازئین باشد [۲۰ و ۴۷]. با این‌حال لازم به ذکر است که کمپلکس بتالاکتوگلوبولین-کاپاکازئین ناشی از فرآیند فشار بالا، به‌دلیل افزایش ظرفیت جذب آب پروتئین‌ها و به‌هم‌پیوستگی بیشتر بتالاکتوگلوبولین‌های دناتوره‌شده، باعث

2. Semitransparent milk

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

افزایش بازدهی پنیر می‌شود [۴۳ و ۴۶ و ۶۷]. محققان این موضوع را از طریق بررسی میزان پروتئین‌های موجود در آب-پنیر اثبات نمودند. طبق نتایج، میزان پروتئین‌های موجود در آب‌پنیر خروجی از فرآیند تولید پنیر، کاهش یافته بود [۴۱ و ۶۸ و ۶۹]. در نتیجهٔ یک پژوهش، بازده پنیر تولیدشده از شیر فرآوری‌شده با فشارهای ۸۰۰-۶۰۰ مگاپاسکال، تا ۲۵ درصد افزایش یافت. درحالی‌که هنگام استفاده از فشارهای کمتر از ۲۵۰ مگاپاسکال، افزایش بازده مشاهده نشد [۴۳].

همچنین شایان ذکر است فرآیند فشار بالا، با تغییر در ویژگی‌های حسی شیر، می‌تواند میزان پذیرش پنیر تازه را بهبود ببخشد. به‌عنوان مثال در نتیجهٔ یک پژوهش، پنیرهای کم‌چرب تولیدشده از شیر فرآوری‌شده با فشار ۴۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد و به دنبال آن پاستوریزاسیون حرارتی (۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه)، نسبت به پنیرهای تولیدشده از شیر پاستوریزه، مورد پذیرش بیشتری واقع شدند [۷۰]. در این پژوهش پنیرهای تولیدشده از شیر فرآوری‌شده با فرآیند فشار بالا، به‌دلیل داشتن بافتی نرم‌تر با شکنندگی کمتر و نیز طعم مطلوب‌تر، که احتمالاً ناشی از تغییرات پروتئین است، امتیازات بیشتری را از طرف مصرف‌کنندگان کسب کردند [۷۰]. بنابراین به‌نظر می‌رسد فرآیند فشار بالا یک فرآیند نویدبخش برای تولید پنیری با بازده بالا و کیفیت حسی مطلوب باشد [۷۱ و ۷۲].

۴-۲-۲- تیمار پنیر با فرآیند فشار بالا

از فرآیند فشار بالا می‌توان برای فرآوری پنیرها پس از تولید نیز استفاده کرد که در این‌صورت موجب کاهش آلودگی‌های ثانویه و افزایش ماندگاری پنیر خواهد شد [۷۵-۷۳]. به‌عنوان مثال در نتیجهٔ مطالعه انجام‌گرفته روی پنیر بز فرآیندشده با فشار ۵۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه، جمعیت میکروارگانیسم‌های مزوفیلی به اندازه ۶-۵ سیکل لگاریتمی کاهش یافت و همچنین *اشریشیاکلی* تلقیح‌شده به پنیر به‌طور کامل غیرفعال شد [۷۶]. همچنین فرآوری پنیر چدار با فشار ۴۰۰ مگاپاسکال به مدت ۲۰ دقیقه در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، منجربه کاهش جمعیت *اشریشیاکلی*، *پنی‌سیلیوم روکوفورتی* و *استافیلوکوکوس اورئوس*، به میزان ۳ تا ۷/۹ سیکل لگاریتم گردید و در طی ۸ هفته نگهداری، هیچ کپک و مخمری در پنیرهای فرآیندشده با فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال مشاهده نشد [۷۷ و ۷۸]. طبق نتایج پژوهشی دیگر، فرآیند پنیرهای تازه با فشار ۵۰۰ مگاپاسکال به مدت ۵ دقیقه در ۱۶ درجه سانتی‌گراد، مدت ماندگاری را از ۸ روز به ۲۱ روز افزایش داد [۷۴]. بنابراین فرآیند با فشارهای بالاتر از ۴۰۰ مگاپاسکال در مدت زمان‌های نسبتاً کوتاه و در دمای اتاق، می-تواند به‌عنوان روشی مؤثر برای افزایش ماندگاری پنیر، بدون کاهش کیفیت آن، مورد استفاده قرار بگیرد [۷۹].

در کنار اثرات ضدمیکروبی، فرآیند فشار بالا می‌تواند از طریق افزایش پروتئولیز و تغییر شبکه پروتئینی، موجب تسریع رسیدن پنیر شود [۸۰]. به‌عنوان مثال در نتیجه پژوهش‌های انجام‌گرفته، تیمار دلمهٔ پنیر با فشار متوسط (۳۴۵ مگاپاسکال به مدت ۳ دقیقه)، دورهٔ رسیدن پنیر چدار را تسریع و منجربه تسهیل فرآیند چداری‌کردن شد. بافت پنیر چدار تولیدشده با روش مذکور، مشابه پنیرهای چدار تیمارنشده بود [۸۱].

همچنین گزارش شده است فرآیند پنیرهای سخت، مانند پنیر آرژانتینی رگیانیتو، یک روز پس از تولید، با فشار ۴۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۰-۵ دقیقه در ۲۰ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش میزان پروتئولیز و تسریع رسیدن پنیر شد [۸۲]. بنابراین، استفاده از فشارهای کمتر از ۴۰۰ مگاپاسکال به‌علت تسریع دورهٔ رسیدن، می‌تواند در تولید پنیر مفید واقع شود. لازم به ذکر است که استفاده از فشارهای بالاتر، ممکن است موجب تأخیر در رسیدن پنیر شود [۷۸]. چنین تفاوت‌هایی عمدتاً به‌دلیل افزایش یا کاهش فعالیت آنزیم‌های مسئول پروتئولیز، از قبیل رنت یا پلاسمین تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌ها است [۸۳].

از طرف دیگر، فرآیند فشار بالا می‌تواند پس از سپری‌شدن دورهٔ رسیدن پنیر نیز انجام شود. مزیت روش مذکور این است که فرآیند رسیدن تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد و پنیر از لحاظ عطر و طعم مشابه پنیر تیمارنشده خواهد بود. ضمن اینکه فرآیند فشار بالا پس از دورهٔ رسیدن، با غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها و در نهایت کاهش تغییرات بیوشیمیایی، می‌تواند موجب حفظ ویژگی‌های حسی مطلوب پنیرها در طی مدت ماندگاری شود [۸۶-۸۴]. به‌عنوان مثال، فرآیند پنیر آبی رسیده با فشارهای ۴۰۰ یا ۶۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، منجربه کاهش پروتئولیز و افزایش ماندگاری شد [۸۵]. به‌طور مشابه، فرآیند پنیر بری ۲۱-۱۴ روز پس از تولید، با فشارهای ۴۰۰ یا ۶۰۰ مگاپاسکال، مانع از رسیدن بیش از حد آن شد [۸۶]. در پژوهشی دیگر،

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

فرآیند پنیر حاصل از شیر خام گوسفند، ۳۵-۲۱ روز پس از تولید، با فشارهای ۶۰۰-۴۰۰ مگاپاسکال به مدت ۵ دقیقه در دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد، موجب کاهش مؤثر میزان پروتئولیز و در نهایت مانع از رسیدن بیش از حد پنیر شد [۸۴]. با این-حال در مورد پنیرکاممبرت رسیده، استفاده از فرآیند فشار بالا (فشار۵۵۰ مگاپاسکال به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، تأثیر مخربی بر کیفیت پنیر داشت. در این پژوهش، فرآیند فشار بالا با تخریب میسلیوم‌های سطح پنیر کاممبرت، منجربه ایجاد ظاهری نامطلوب شد [۲۸].

۴-۲-۳- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید ماست

در تولید ماست به روش سنتی، شیر در معرض حرارت (۹۵-۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰-۳ دقیقه) قرار می‌گیرد تا پروتئین‌های سرمی، به‌ویژه بتالاکتوگلوبولین‌ها، دناتوره شده و منجربه وقوع واکنش‌هایی بین پروتئین‌های بتالاکتوگلوبولین و کاپاکازئین، از طریق پیوندهای دی‌سولفیدی شود. ساختار تشکیل‌شده مذکور، موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش قوام و کاهش آب‌اندازی ماست می‌شود. شایان ذکر است که فرآیند فشار بالا قابلیت بهبود ویژگی‌های مذکور را از طریق ایجاد تغییر در ریزساختار ماست دارد [۲۳] و گزارش شده است که با افزایش میزان فشار و مدت زمان فرآیند، نتایج بهتری در این زمینه حاصل خواهد شد [۸۷].

به‌عنوان مثال گزارش شده است فرآیند فشار بالا در شدت‌های بالا، منجربه افزایش قوام ماست می‌شود [۸۸]. محققان دلایل این امر را قطعه‌قطعه‌شدن (تفکیک) میسل‌های کازئین، انحلال نسبی فسفات کلسیم کلوئیدی و دناتوراسیون بتالاکتوگلوبولین در فشارهای بالا با مدت‌زمان‌های طولانی‌تر فرآیند بیان کردند. به عبارتی دیگر، تغییرات ایجادشده در کازئین منجربه افزایش فعل و انفعالات پروتئین‌ها و درنهایت تشکیل ساختار منسجم‌تر می‌شود که از نظر مصرف‌کننده مطلوب است [۸۹].

به‌طور کلی استفاده از شیر فرآوری‌شده با فرآیند فشار بالا برای تولید ماست، دارای چندین مزیت از جمله افزایش قوام، کاهش میزان آب‌اندازی، افزایش ماندگاری به‌دلیل غیرفعال‌شدن انتخابی میکروارگانیسم‌های فسادزا و حفظ باکتری‌های آغازگر است [۹۰].

همچنین از فرآیند فشار بالا برای غیرفعال‌کردن کشت‌های آغازگر ماست (گونه‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی*، *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس سالیواریوس* زیرگونه *ترموفیلوس*) به‌منظور افزایش ماندگاری ماست استفاده شده است. طبق نتایج، فرآیند ماست با فشارهای ۷۰۰-۳۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه، منجربه غیرفعال‌شدن گونه‌های *لاکتوباسیلوس دلبروکی*، *لاکتوباسیلوس بولگاریکوس* و *استرپتوکوکوس سالیواریوس* زیرگونه *ترموفیلوس* شد. در نتیجه میزان اسیدسازی ثانویه کاهش و ماندگاری نمونه‌های ماست افزایش پیدا کرد [۶۶].

۴-۲-۴- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید بستنی، کره و خامه

فرآوری خامه در فشارهای ۵۰۰-۳۰۰ مگاپاسکال می‌تواند منجربه تشکیل کریستال‌های چربی شود. همچنین فرآوری خامه در فشارهای بالاتر از ۶۰۰ مگاپاسکال به مدت ۲ دقیقه، منجربه بهبود قابلیت هوادهی و زده‌شدن آن می‌شود؛ این موضوع احتمالاً ناشی از کریستالیزاسیون بهتر چربی است. اما استفاده از فرآیند فشار بالا با شدت‌های بیشتر، به‌دلیل دناتوراسیون پروتئین‌های بتالاکتوگلوبولین، موجب کاهش پایداری خامه زده‌شده می‌شود [۹۱].

فرآیند فشار بالا می‌تواند نمودار فاز جامد-مایع آب را تغییر داده و در فشار ۲۰۱/۵ مگاپاسکال نقطه انجماد آب را تا ۲۲- درجهٔ سانتی‌گراد کاهش دهد. بنابراین، می‌توان با اعمال فشار در دمای انجماد، از حالت جامد به حالت مایع عبور کرد، و در این حالت برداشتن سریع فشار منجربه انجماد سریع و ایجاد کریستال‌های ریز در محصول خواهد شد. از این قابلیت فرآیند فشار بالا می‌توان در تولید بستنی استفاده کرد [۹۲].

همچنین گزارش شده است که فرآوری در فشار ۳۰۰ مگاپاسکال به مدت ۱۵ دقیقه، ویژگی‌های عملکردی پروتئین‌های سرمی و پایداری کف را در فرآورده‌های کم‌چرب بهبود می‌بخشد و باعث افزایش محل‌های اتصال پروتئین با ترکیبات مولد عطر و طعم می‌شود [۹۳]. بنابراین می‌توان گفت، فرآیند فشار بالا در ایجاد بافت نرم در بستنی و سایر محصولات منجمد، بهبود عطر و طعم و پایداری کف مؤثر است [۳۵].

از فرآیند فشار بالا در تولید کره نیز می‌توان استفاده نمود. طبق مطالعات انجام‌گرفته، فرآیند فشار بالا در فشارهای کمتراز ۲۵۰ مگاپاسکال موجب افزایش خامه‌ای‌شدن گلبول‌های چربی شیر و تسهیل جداسازی خامه در فرآیند تولید کره می‌شود. همچنین فرآیند فشار بالا قابلیت افزایش قوام و افزایش ماندگاری کره را

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

دارد [۳۸].

یکی دیگر از کاربردهای فرآیند فشار بالا، تولید خامه پاستوریزه یا استریل است. در نتیجهٔ یک پژوهش، فرآوری خامه (۳۵ درصد چربی) با فشار ٤۵۰ مگاپاسکال به مدت ۳۰ دقیقه در ۲۵ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش ماندگاری آن شد. در پژوهش مذکور فرآیند فشار بالا تأثیری بر اندازه گلبول‌های چربی خامه نداشت. با این‌حال، در فرآیندهای استریلیزاسیون، که نیاز به فشار و درجه حرارت‌های بالاتری (> ٤۰ درجه سانتی‌گراد) است، ممکن است ناپایداری سیستم امولسیون رخ دهد و در نهایت منجربه تجمع گلبول‌های چربی شود [۹٤].

٤-۲-۵- کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید فرآورده‌های لبنی پروبیوتیک

فرآیند فشار بالا با تأثیر بر پروتئین‌های شیر، قابلیت حفظ میکروارگانیسم‌های پروبیوتیک و بهبود خواص رئولوژیکی و حسی فرآورده‌های لبنی پروبیوتیک را دارد. به عبارتی دیگر فرآیند فشار بالا از طریق تجزیه پروتئین‌ها و درنتیجه، افزایش میزان پپتیدها و اسیدهای‌آمینه، می‌تواند منجربه افزایش رشد باکتری‌های پروبیوتیک و همچنین ایجاد خواص عطر و طعمی متفاوت ناشی از پروتئولیز ثانویه شود. از طرفی دیگر، فرآیند فشار بالا با تغییر در ساختار پروتئین‌ها، می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی از قبیل افزایش ویسکوزیته، افزایش قوام و کاهش آب‌اندازی شود. همچنین محققان معتقدند افزایش تراکم در ریزساختار محصول، ناشی از فرآیند فشار بالا، ممکن است موجب حفظ بهتر باکتری‌های پروبیوتیک شود. این موضوع در کاهش اتلاف باکتری‌های پروبیوتیک از طریق آب‌پنیر خروجی از فرآیند تولید پنیر می‌تواند ثمربخش باشد [۹۷]. خلاصه‌ای از کاربرد فرآیند فشار بالا در تولید فرآورده‌های لبنی پروبیوتیک، در شکل ٤ ارائه شده است.

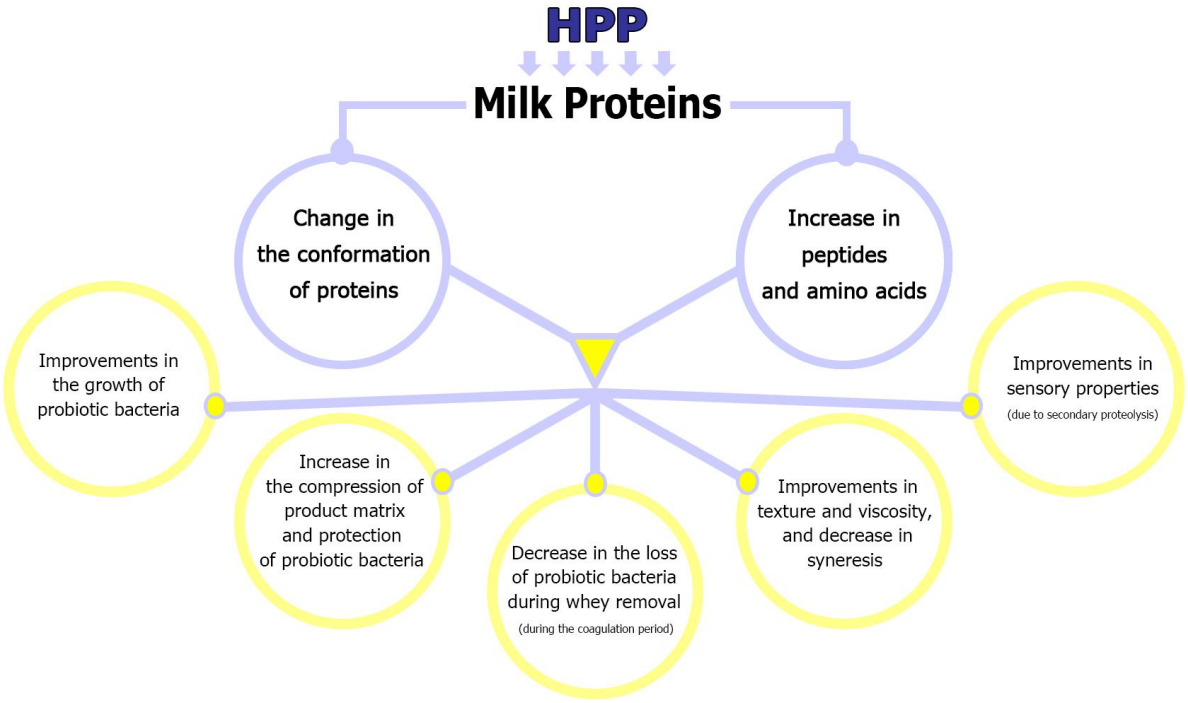

Fig 4 The main effects of HPP on probiotic dairy products [97].

لازم به ذکر است که انتخاب شرایط بهینه فرآیند اعم از میزان فشار، مدت زمان فرآیند و دمای فرآیند، در دستیابی به اثرات مفید مذکور، حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال، گزارش شده است که با فرآوری ماست پروبیوتیک در فشار ۲۰۰ مگاپاسکال، ضمن زنده‌ماندن باکتری‌های پروبیوتیک، خواص بافتی و حسی آن بهبود یافت [۲۳].

خلاصه‌ای از جدیدترین پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه اثرات فرآیند فشار بالا بر شیر و فرآورده‌های لبنی، در جدول ۱ ارائه شده است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

Table 1 HPP effects on milk and milk products.

Matrices	Process conditions	Effects	References
Goat milk	Pressure: 200-600 MPa Time: 5-15 min Temperature: <40 ºC	▪ Decrease in microbial load. ▪ HPP-treated milk had better quality in terms of viscosity, total soluble solids, pH, and total color difference than thermal-treated milk (60-80 ºC for 5-15 min).	[11]
Milk inoculated with *L. monocytogenes*, *S.aureus*, and *E. coli*	Pressure: 400-600 MPa Time: 15-30 min Temperature: <32 ºC	▪ Decrease in *S.aureus* populations by 7 log after treating at 600 MPa for 30 min. ▪ Inactivation of *E. coli* and *L. monocytogenes* after treating at >550 MPa for 15 min. ▪ *S. aureus* was the most pressure resistant pathogen. ▪ *E. coli* was the most pressure sensitive pathogen.	[12]
Milk inoculated with *L.monocytogenes*, *L.innocua*, and *S.aureus*	Pressure: 350 and 500 MPa Time: up to 7 min Temperature: 4.4 and 60 ºC	▪ Decrease in *L.monocytogenes*, *L.innocua*, and *S.aureus* populations by <2 and ≥5 log after treating at 500 MPa for up to 7 min at 4..4 ºC and 60 ºC, respectively.	[13]
Ewe milk (for cheese making)	Pressure: 121 MPa Time: 30 min Temperature: 11-13 ºC	▪ Increase in cheese yield. ▪ Inactivation of contaminant bacteria. ▪ No adverse effect on lactic acid bacteria. ▪ No change in physicochemical properties of cheese.	[14]
Indian cottage cheese (in different stages of cheese making)	Pressure: 500 MPa Time: 15 min Temperature: <28 ºC	▪ Increase in cheese yield (using HPP treated milk for cheese making). ▪ Increase in shelf life of cheese. ▪ No adverse effects on quality properties of cheese.	[15]
Whole milk	Pressure: 600 MPa Time: 5 min Temperature: 5 ºC	▪ Decrease in total bacteria and *E.coli* populations. ▪ Denaturation of β-lactoglobulin. ▪ No change in quality properties.	[16]
Whole and skim milk	One- and Two-cycle HPP treatments Pressure: 600 MPa Time: either 5 min (2 2.5 min), or 3 min (2 1.5 min) Temperature: 23 ºC	▪ Preventing microbial activity (particularly for two-cycle treatments). ▪ Aggregation of β-lactoglobulins. ▪ Decrease in size of casein micelles. ▪ Change in level of volatiles. ▪ No formation of strong flavors. ▪ Slight change in proteins by two-cycle treatments.	[10]
Caprine milk	Pressure: 200-500 MPa Time: 10 min Temperature: 20 ºC	▪ Increase in size (200-400 MPa) and aggregation of fat globules (500 MPa). ▪ No effect in fatty acid profile, excluding an increase in branched chain fatty acids.	[17]
Caprine milk (for cheese making)	Pressure: 300-500 MPa Time: 20-60 min Temperature: 20-60 ºC	▪ Decrease in rennet coagulation time, increase in curd firming rate, gel strength, and water holding capacity (at higher pressures).	[18]
Pasteurized cow milk (for cheese making)	Pressure: 400 MPa Time: 15 min Temperature: < 40 ºC	▪ Increase in antioxidant activity and Angiotensin-I converting enzyme-inhibitory potential of cheeses. ▪ Increase in proteolytic activity during cheese making and ripening. ▪ Increase in bioactive compounds in cheeses. ▪ Improvements in antihypertensive attributes of cheeses. ▪ Improvements in nutritional attributes of cheeses.	[19]
Microfiltration retentate caprine milk	Pressure: 100-500 MPa Time: 15 min Temperature: 25 ºC	▪ Decrease in the size of casein micelles. ▪ Decrease in turbidity. ▪ Decrease in G'max and yield stress values of the gels. ▪ Increase in pH, soluble calcium and phosphorus, hydrophobicity, rennet coagulation time and yield strain. ▪ Increase in solubility, emulsifying and foamability of micellar casein concentrate powder.	[20]
Reconstituted micellar casein concentrate	Pressure: 300-600 MPa Time: 5 min Temperature: 4 ºC	▪ Inactivation of spoilage microorganisms. ▪ Increase in acidity (450-600 MPa). ▪ Change in colour. ▪ Decrease in particle size (450-600 MPa). ▪ Aggregation of casein micelles (450-600 MPa). ▪ No change in physical stability.	[21]
Reformed casein micelles	Pressure: 100-500 MPa Time: 10 min Temperature: 18 ºC	▪ Decrease in the size of reformed casein micelles. ▪ No change in the internal structure of reformed casein micelles.	[22]
Probiotic dairy beverages	Pressure: 100-400 MPa Time: 10 min Temperature: 26.1 ºC	▪ No significant effect on probiotics viability (200-300 MPa). ▪ Improvements in rheological and sensory properties. ▪ No effect on post-acidification.	[23]
Reconstituted powder milk	Pressure: 500-600 MPa Time: 3-5 min Temperature: 25 ºC	▪ Inactivation of *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* and *Enterobacter aerogenes*. ▪ Increases in the levels of microorganism-derived	[24]

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

		lipopolysaccharides.	
Raw milk	Pressure: 400-600 MPa Time: 1-5 min Temperature: 18 ºC	▪ Decrease in pathogenic *E. coli*, *Salmonella*, and *L. monocytogenes* populations by 5 log. ▪ Increase in shelf life of raw milk. ▪ No change in quality properties.	[25]
Raw caprine milk	Pressure: 200-500 MPa Time: 25 min Temperature: 25 ºC	▪ Decrease in the size of casein micelles. ▪ Decrease in milk turbidity and L*-value. ▪ Denaturation of whey proteins. ▪ Increase in the amount of non-protein nitrogen compounds. ▪ Increase in the degree of hydration micelles. ▪ Increase in the solubilization of colloidal calcium phosphate. ▪ Increase in viscosity.	[26]
Mature Torta del Casar (raw ewe's milk cheese)	Pressure: 200-600 MPa Time: 5-20 min Temperature: 10 ºC	▪ Improvements in sensory properties. ▪ Increase in shelf life.	[27]
Camembert-type cheese (3, 11, and 45 days after manufacture)	Pressure: 350-550 MPa Time: 10 min Temperature: 25 ºC	▪ Decrease in *L. monocytogenes* populations by > 5 log (11 days after manufacture, 450-550 MPa). ▪ Destructive effect on the appearance of cheeses (45 days after manufacture).	[28]
Milk-coagulating enzymes (recombinant chymosin, calf rennet, adult bovine rennet and porcine pepsin)	Pressure: 50-280 MPa Time: 20 min Temperature: 10-25 ºC	▪ Increase in specific activity. ▪ Increase in the rate of hydrolysis of κ-casein. ▪ Increase in the formation of caseinomacropeptide. ▪ Improvements in coagulants hydrolytic profile. ▪ No increase in non-specific activity.	[29]

۵- جمع‌بندی

امروزه با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان، بسیاری از تولیدکنندگان فرآورده‌های لبنی، به دنبال استفاده از فناوری‌هایی هستند که ضمن کاهش جمعیت میکروبی و تأمین ایمنی، اثرات مخربی بر خواص تغذیه‌ای، عملکردی و حسی شیر و فرآورده‌های آن نداشته باشند. به‌نظر می‌رسد استفاده از فناوری‌های غیرحرارتی، به‌منظور دستیابی به اهداف مذکور، ثمربخش باشد. در این راستا، فرآیند فشار بالا، به‌عنوان یکی از فناوری‌های غیرحرارتی نوظهور، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. طبق نتایج پژوهش‌های متعدد، فرآیند فشار بالا، ضمن کاهش مؤثر جمعیت میکروبی و افزایش ماندگاری شیر و فرآورده‌های آن، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های تغذیه‌ای، عملکردی و حسی آن‌ها ندارد. در اکثر پژوهش‌های انجام‌گرفته، فرآیند فشار بالا موجب بهبود خواص رئولوژیکی، بافتی و حسی شیر و فرآورده‌های آن شده است. همچنین با استفاده از فناوری فشار بالا امکان کنترل فرآیند رسیدن پنیر میسر است. به‌علاوه استفاده از این فناوری در تولید پنیر، منجربه افزایش بازدهی می‌شود. در تولید فرآورده‌های لبنی پروبیوتیک، با استفاده از فرآیند فشار بالا، علاوه بر بهبود خواص بافتی و حسی، رشد باکتری‌های پروبیوتیک نیز افزایش می‌یابد. در کل براساس نتایج پژوهش‌های انجام‌گرفته، به‌نظر می‌رسد فرآیند فشار بالا یک روش نویدبخش برای تولید و فرآوری محصولات لبنی باشد.

۶- منابع

[1] Manafi Dizaj Yekan M, Manafi Dizaj Yekan M, ESARI J, Azadmard Damirchii S, Ravash N. Effect of chitosan on the physico-chemical, microbiological and sensory properties of doogh. Food Sci Technol [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 26];18(112):169–78. Available from: https://fsct.modares.ac.ir/article-7-28096-en.html

[2] Nottagh S, Hesari J, Peighambardoust SH, Rezaei-Mokarram R, Jafarizadeh-Malmiri H. Effectiveness of edible coating based on chitosan and Natamycin on biological, physico-chemical and organoleptic attributes of Iranian ultra-filtrated cheese. Biologia (Bratisl). 2020;75(4).

[3] Delorme MM, Guimarães JT, Coutinho NM, Balthazar CF, Rocha RS, Silva R, et al. Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. Vol. 102, Trends in Food Science and Technology. 2020.

[4] de Toledo Guimarães J, Silva EK, de Freitas MQ, de Almeida Meireles MA, da Cruz AG. Non-thermal emerging technologies and their effects on the functional properties of dairy products. Vol. 22, Current Opinion in Food Science. 2018.

[5] Guimarães JT, Scudino H, Ramos GL, Oliveira GA, Margalho LP, Costa LE, et al. Current applications of high-intensity ultrasound with microbial inactivation or stimulation purposes in dairy products. Vol. 42, Current Opinion in Food Science. 2021.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

[6] Cappozzo JC, Koutchma T, Barnes G. Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. J Dairy Sci. 2015;98(8).
[7] Norton T, Sun DW. Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. Food Bioprocess Technol. 2008;
[8] Emerging Technologies for Food Processing. Emerging Technologies for Food Processing. 2015.
[9] Munir M, Nadeem M, Qureshi TM, Leong TSH, Gamlath CJ, Martin GJO, et al. Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. Innov Food Sci Emerg Technol. 2019;57:102192.
[10] Yang S, Liu G, Munk DME, Qin Z, Petersen MA, Cardoso DR, et al. Cycled high hydrostatic pressure processing of whole and skimmed milk: Effects on physicochemical properties. Innov Food Sci Emerg Technol. 2020;
[11] Razali MF, Narayanan S, Nurul NA, Abdul Karim Shah NN, Mustapa Kamal SM, Mohd Fauzi NA, et al. Minimal processing for goat milk preservation: Effect of high-pressure processing on its quality. J Food Process Preserv. 2021;45(7).
[12] Zagorska J, Galoburda R, Raita S, Liepa M. Inactivation and recovery of bacterial strains, individually and mixed, in milk after high pressure processing. Int Dairy J. 2021;123.
[13] Kabir MN, Aras S, George J, Wadood S, Chowdhury S, Fouladkhah AC. High-pressure and thermal-assisted pasteurization of habituated, wild-type, and pressure-stressed Listeria monocytogenes, Listeria innocua, and Staphylococcus aureus. LWT. 2021;137.
[14] Inácio RS, Pinto CA, Saraiva JA, Gomes AMP. Effect of high pressure pre-treatment on raw ewes' milk and on subsequently produced cheese throughout ripening. J Sci Food Agric. 2021;101(9).
[15] Kapoor S, Singh MP, Vatankhah H, Deshwal GK, Ramaswamy HS. Production and quality improvement of Indian cottage cheese (Paneer) using high pressure processing. Innov Food Sci Emerg Technol. 2021;72.
[16] Liu G, Carøe C, Qin Z, Munk DME, Crafack M, Petersen MA, et al. Comparative study on quality of whole milk processed by high hydrostatic pressure or thermal pasteurization treatment. LWT. 2020;
[17] Kiełczewska K, Jankowska A, Dąbrowska A, Wachowska M, Ziajka J. The effect of high pressure treatment on the dispersion of fat globules and the fatty acid profile of caprine milk. Int Dairy J. 2020;
[18] Nassar KS, Lu J, Pang X, Ragab ES, Yue Y, Obaroakpo UJ, et al. The functionality of micellar casein produced from retentate caprine milk treated by HP. J Food Eng. 2020;
[19] Munir M, Nadeem M, Mahmood Qureshi T, Gamlath CJ, Martin GJO, Hemar Y, et al. Effect of sonication, microwaves and high-pressure processing on ACE-inhibitory activity and antioxidant potential of Cheddar cheese during ripening. Ultrason Sonochem. 2020;
[20] Nassar KS, Lu J, Pang X, Ragab ES, Yue Y, Zhang S, et al. Rheological and microstructural properties of rennet gel made from caprine milk treated by HP. J Food Eng. 2020;
[21] Iturmendi N, García A, Galarza U, Barba C, Fernández T, Maté JI. Influence of high hydrostatic pressure treatments on the physicochemical, microbiological and rheological properties of reconstituted micellar casein concentrates. Food Hydrocoll. 2020;
[22] Hemar Y, Xu C, Wu S, Ashokkumar M. Size reduction of "reformed casein micelles" by high-power ultrasound and high hydrostatic pressure. Ultrason Sonochem. 2020;
[23] Tsevdou M, Ouli-Rousi M, Soukoulis C, Taoukis P. Impact of high-pressure process on probiotics: Viability kinetics and evaluation of the quality characteristics of probiotic yoghurt. Foods. 2020;
[24] Aires Machado KI, Roquetto AR, Moura CS, de Souza Lopes A, Cristianini M, Amaya-Farfan J. Comparative impact of thermal and high isostatic pressure inactivation of gram-negative microorganisms on the endotoxic potential of reconstituted powder milk. LWT. 2019;
[25] Stratakos AC, Inguglia ES, Linton M, Tollerton J, Murphy L, Corcionivoschi N, et al. Effect of high pressure processing on the safety, shelf life and quality of raw milk. Innov Food Sci Emerg Technol. 2019;
[26] Nassar KS, Zhang S, Lu J, Pang X, Ragab ES, Yue Y, et al. Combined effects of high-pressure treatment and storage temperature on the physicochemical properties of caprine milk. Int Dairy J. 2019;
[27] Delgado-Martínez FJ, Carrapiso AI,

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

Contador R, Ramírez MR. Volatile compounds and sensory changes after high pressure processing of mature “Torta del Casar” (raw ewe’s milk cheese) during refrigerated storage. Innov Food Sci Emerg Technol. 2019;
[28] Batty D, Meunier-Goddik L, Waite-Cusic JG. Camembert-type cheese quality and safety implications in relation to the timing of high-pressure processing during aging. J Dairy Sci. 2019;
[29] Leite Júnior BR de C, Tribst AAL, Ribeiro LR, Cristianini M. High pressure processing impacts on the hydrolytic profile of milk coagulants. Food Biosci. 2019;
[30] Marciniak A, Suwal S, Touhami S, Chamberland J, Pouliot Y, Doyen A. Production of highly purified fractions of α-lactalbumin and β-lactoglobulin from cheese whey using high hydrostatic pressure. J Dairy Sci. 2020;
[31] Espinosa-Pesqueira D, Hernández-Herrero MM, Roig-Sagués AX. High hydrostatic pressure as a tool to reduce formation of biogenic amines in artisanal Spanish cheeses. Foods. 2018;
[32] Palou E, López-Malo A, Welti-Chanes J. Innovative fruit preservation methods using high pressure. In: Engineering and Food for the 21st Century. 2002.
[33] Ting EY, Marshall RG. Production issues related to UHP food. In: Engineering and Food for the 21st Century. 2002.
[34] Juliano P, Koutchma T, Sui Q, Barbosa-Cánovas G V., Sadler G. Polymeric-Based Food Packaging for High-Pressure Processing. Vol. 2, Food Engineering Reviews. 2010.
[35] Huppertz T, Smiddy MA, Goff HD, Kelly AL. Effects of high pressure treatment of mix on ice cream manufacture. Int Dairy J. 2011;
[36] Gervilla R, Ferragut V, Guamis B. High hydrostatic pressure effects on color and milk-fat globule of ewe’s milk. J Food Sci. 2001;
[37] Trujillo AJ, Capellas M, Saldo J, Gervilla R, Guamis B. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: A review. Innov Food Sci Emerg Technol. 2002;
[38] Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. High pressure-induced changes in the creaming properties of bovine milk. Innov Food Sci Emerg Technol. 2003;
[39] López-Fandiño R. High pressure-induced changes in milk proteins and possible applications in dairy technology. International Dairy Journal. 2006.
[40] Bravo FI, Felipe X, López-Fandiño R, Molina E. Skim milk protein distribution as a result of very high hydrostatic pressure. Food Res Int. 2015;
[41] Huppertz T, Fox PF, de Kruif KG, Kelly AL. High pressure-induced changes in bovine milk proteins: A review. Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics. 2006.
[42] Huppertz T, De Kruif CG. Disruption and reassociation of casein micelles under high pressure: Influence of milk serum composition and casein micelle concentration. J Agric Food Chem. 2006;
[43] Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. Effects of high pressure treatment on the yield of cheese curd from bovine milk. Innov Food Sci Emerg Technol. 2004;
[44] Johnston DE, Darcy PC. The effects of high pressure treatment on immature Mozzarella cheese. Milchwissenschaft. 2000;
[45] López-Fandiño R, De La Fuente MA, Ramos M, Olano A. Distribution of minerals and proteins between the soluble and colloidal phases of pressurized milks from different species. J Dairy Res. 1998;
[46] Huppertz T, Fox PF, Kelly AL. Plasmin activity and proteolysis in high pressure-treated bovine milk. Lait. 2004;
[47] Lopez-Fandiño R, Carrascosa A V., Olano A. The Effects of High Pressure on Whey Protein Denaturation and Cheese-Making Properties of Raw Milk. J Dairy Sci. 1996;
[48] Patel HA, Singh H, Anema SG, Creamer LK. Effects of heat and high hydrostatic pressure treatments on disulfide bonding interchanges among the proteins in skim milk. J Agric Food Chem. 2006;
[49] Sousa SG, Santos MD, Fidalgo LG, Delgadillo I, Saraiva JA. Effect of thermal pasteurisation and high-pressure processing on immunoglobulin content and lysozyme and lactoperoxidase activity in human colostrum. Food Chem. 2014;
[50] Leite Júnior BR de C, Tribst AAL, Cristianini M. The effect of high pressure processing on recombinant chymosin, bovine rennet and porcine pepsin: Influence on the proteolytic and milk-clotting activities and on milk-clotting characteristics. LWT - Food Sci Technol. 2017;
[51] Leite Júnior BR de C, Tribst AAL, Bonafe CFS, Cristianini M. Determination of the influence of high pressure processing on calf rennet using response surface methodology: Effects on milk coagulation.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

LWT - Food Sci Technol. 2016;
[52] Leite Júnior BR de C, Tribst AAL, Cristianini M. Comparative effects of high isostatic pressure and thermal processing on the inactivation of Rhizomucor miehei protease. LWT - Food Sci Technol. 2016;
[53] Eisenmenger MJ, Reyes-De-Corcuera JI. High pressure enhancement of enzymes: A review. Enzyme and Microbial Technology. 2009.
[54] Pandey Pk, Ramas Wamy Hs. Effect Of High-Presure Treatment Of Milk On Lipase And γ-Glutamyl Transferase Activity. J Food Biochem. 2004 Dec;28(6):449–62.
[55] García-Risco MR, Olano A, Ramos M, López-Fandiño R. Micellar changes induced by high pressure. Influence in the proteolytic activity and organoleptic properties of milk. J Dairy Sci. 2000;
[56] Rademacher B, Pfeiffer B, Kessler HG. Inactivation of Microorganisms and Enzymes in Pressure-treated Raw Milk. In: High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry. 1998.
[57] Balci AT, Ledward DA, Wilbey RA. Effect of high pressure on acid phosphatase in milk. High Press Res. 2002;
[58] Viazis S, Farkas BE, Allen JC. Effects of high-pressure processing on immunoglobulin a and lysozyme activity in human milk. J Hum Lact. 2007;
[59] KieŁczewska K, Kruk A, Czerniewicz M, Kopeć M. Effect of high pressure on constituents of the colloidal phase of milk. Milchwissenschaft. 2009;
[60] Serra M, Trujillo AJ, Jaramillo PD, Guamis B, Ferragut V. Ultra-high pressure homogenization-induced changes in skim milk: Impact on acid coagulation properties. J Dairy Res. 2008;
[61] Zamora A, Ferragut V, Jaramillo PD, Guamis B, Trujillo AJ. Effects of ultra-high pressure homogenization on the cheese-making properties of milk. J Dairy Sci. 2007;
[62] Garrido M, Contador R, García-Parra J, Delgado FJ, Delgado-Adámez J, Ramírez R. Volatile profile of human milk subjected to high-pressure thermal processing. Food Res Int. 2015;
[63] Martínez-Monteagudo SI, Saldaña MDA. Modeling the retention kinetics of conjugated linoleic acid during high-pressure sterilization of milk. Food Res Int. 2014;
[64] Black EP, Setlow P, Hocking AD, Stewart CM, Kelly AL, Hoover DG. Response of spores to high-pressure processing. Compr Rev Food Sci Food Saf. 2007;
[65] Devi AF, Buckow R, Singh T, Hemar Y, Kasapis S. Colour change and proteolysis of skim milk during high pressure thermal-processing. J Food Eng. 2015;
[66] Reps A, Jankowska A, Wiśniewska K. The effect of high pressure on selected properties of yoghurt. In: High Pressure Research. 2009.
[67] Huppertz T, Hinz K, Zobrist MR, Uniacke T, Kelly AL, Fox PF. Effects of high pressure treatment on the rennet coagulation and cheese-making properties of heated milk. Innov Food Sci Emerg Technol. 2005;
[68] Roach A, Harte F. Disruption and sedimentation of casein micelles and casein micelle isolates under high-pressure homogenization. Innov Food Sci Emerg Technol. 2008;
[69] Zamora A, Trujillo AJ, Armaforte E, Waldron DS, Kelly AL. Effect of fat content and homogenization under conventional or ultra-high-pressure conditions on interactions between proteins in rennet curds. J Dairy Sci. 2012;
[70] Molina E, Dolores Álvarez M, Ramos M, Olano A, López-Fandiño R. Use of high-pressure-treated milk for the production of reduced-fat cheese. Int Dairy J. 2000;
[71] Sandra S, Stanford MA, Meunier Goddik L. The use of high-pressure processing in the production of Queso Fresco cheese. J Food Sci. 2004;
[72] Alonso R, Picon A, Gaya P, Fernández-García E, Nuñez M. Effect of high-pressure treatment of ewe raw milk curd at 200 and 300 MPa on characteristics of Hispánico cheese. J Dairy Sci. 2012;
[73] Evert-Arriagada K, Trujillo AJ, Amador-Espejo GG, Hernández-Herrero MM. High pressure processing effect on different Listeria spp. in a commercial starter-free fresh cheese. Food Microbiol. 2018;
[74] Evert-Arriagada K, Hernández-Herrero MM, Guamis B, Trujillo AJ. Commercial application of high-pressure processing for increasing starter-free fresh cheese shelf-life. LWT - Food Sci Technol. 2014;
[75] Ozturk M, Govindasamy-Lucey S, Jaeggi JJ, Johnson ME, Lucey JA. Low-sodium Cheddar cheese: Effect of fortification of cheese milk with ultrafiltration retentate and high-hydrostatic pressure treatment of cheese. J Dairy Sci. 2015;
[76] Capellas M, Mor-Mur M, Sendra E, Pla R, Guamis B. Populations of aerobic mesophils and inoculated E. coli during storage of fresh goat's milk cheese treated

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

with high pressure. J Food Prot. 1996;
[77] Daryaei H, Coventry MJ, Versteeg C, Sherkat F. Effect of high pressure treatment on starter bacteria and spoilage yeasts in fresh lactic curd cheese of bovine milk. Innov Food Sci Emerg Technol. 2008;
[78] O'Reilly CE, O'Connor PM, Kelly AL, Beresford TP, Murphy PM. Use of hydrostatic pressure for inactivation of microbial contaminants in cheese. Appl Environ Microbiol. 2000;
[79] Ribeiro LR, Leite Júnior BR de C, Cristianini M. Effect of high-pressure processing on the characteristics of cheese made from ultrafiltered milk: Influence of the kind of rennet. Innov Food Sci Emerg Technol. 2018;
[80] Delgado FJ, González-Crespo J, Cava R, Ramírez R. Changes in microbiology, proteolysis, texture and sensory characteristics of raw goat milk cheeses treated by high-pressure at different stages of maturation. LWT - Food Sci Technol. 2012;
[81] Serrano J, Velazquez G, Lopetcharat K, Ramírez JA, Torres JA. Effect of moderate pressure treatments on microstructure, texture, and sensory properties of stirred-curd cheddar shreds. J Dairy Sci. 2004;
[82] Costabel LM, Bergamini C, Vaudagna SR, Cuatrin AL, Audero G, Hynes E. Effect of high-pressure treatment on hard cheese proteolysis. J Dairy Sci. 2016;
[83] O'Reilly CE, Kelly AL, Murphy PM, Beresford TP. High pressure treatment: Applications in cheese manufacture and ripening. Trends in Food Science and Technology. 2001.
[84] Calzada J, del Olmo A, Picon A, Gaya P, Nuñez M. High-Pressure Processing for the Control of Lipolysis, Volatile Compounds and Off-odours in Raw Milk Cheese. Food Bioprocess Technol. 2014;
[85] Voigt DD, Chevalier F, Qian MC, Kelly AL. Effect of high-pressure treatment on microbiology, proteolysis, lipolysis and levels of flavour compounds in mature blue-veined cheese. Innov Food Sci Emerg Technol. 2010;
[86] Calzada J, Del Olmo A, Picon A, Gaya P, Nuñez M. Effect of high-pressure-processing on the microbiology, proteolysis, texture and flavour of Brie cheese during ripening and refrigerated storage. Int Dairy J. 2014;
[87] Harte F, Luedecke L, Swanson B, Barbosa-Cánovas G V. Low-fat set yogurt made from milk subjected to combinations of high hydrostatic pressure and thermal processing. J Dairy Sci. 2003;
[88] Harte F, Amonte M, Luedecke L, Swanson BG, Barbosa-Cánovas G V. Yield stress and microstructure of set yogurt made from high hydrostatic pressure-treated full fat milk. J Food Sci. 2002;
[89] De Ancos B, Pilar Cano M, Gómez R. Characteristics of stirred low-fat yoghurt as affected by high pressure. Int Dairy J. 2000;
[90] Penna ALB, Subbarao-Gurram, Barbosa-Cánovas G V. High hydrostatic pressure processing on microstructure of probiotic low-fat yogurt. Food Res Int. 2007;
[91] Devi AF, Buckow R, Hemar Y, Kasapis S. Structuring dairy systems through high pressure processing. Journal of Food Engineering. 2013.
[92] Kalichevsky MT, Knorr D, Lillford PJ. Potential food applications of high-pressure effects on ice-water transitions. Trends in Food Science and Technology. 1995.
[93] Kühn J, Considine T, Singh H. Interactions of milk proteins and volatile flavor compounds: Implications in the development of protein foods. Journal of Food Science. 2006.
[94] Dumay E, Chevalier-Lucia D, Picart-Palmade L, Benzaria A, Gràcia-Julià A, Blayo C. Technological aspects and potential applications of (ultra) high-pressure homogenisation. Trends in Food Science and Technology. 2013.
[95] Ozturk M, Govindasamy-Lucey S, Jaeggi JJ, Johnson ME, Lucey JA. Investigating the properties of high-pressure-treated, reduced-sodium, low-moisture, part-skim Mozzarella cheese during refrigerated storage. J Dairy Sci. 2018;
[96] Vazquez-Landaverde PA, Torres JA, Qian MC. Effect of high-pressure-moderate-temperature processing on the volatile profile of milk. J Agric Food Chem. 2006;
[97] da Cruz AG, Fonseca Faria J de A, Isay Saad SM, André Bolini HM, SantAna AS, Cristianini M. High pressure processing and pulsed electric fields: Potential use in probiotic dairy foods processing. Trends in Food Science and Technology. 2010.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]
[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage:www.fsct.modares.ir

Review Article

The effects of high-pressure processing (HPP) on milk and milk products

Ravash, N. [1*], Hesari, J. [1]

1. Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

ABSTRACT

Milk and its products are rich in bioactive and functional compounds. Most of these compounds are heat-sensitive. Therefore, common thermal processes may have destructive effects on the nutritional properties of milk and its products. Non-thermal processes, hence, have attracted the attention of many researchers. High-pressure processing (HPP) is one of the novel non-thermal processes that has been investigated in terms of increasing the shelf life of milk and dairy products, and promising results have been obtained. This article aims to review the studies conducted on the effects of HPP on milk and dairy products. According to the findings of the studies, HPP is able to change the structure of milk components, especially proteins and fat globules. In addition to this, HPP can inactivate spoilage and pathogenic microorganisms, preserve nutrients and flavoring compounds, increase yield, and improve rheological and sensorial properties of milk and its products.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2020/ 03/ 07
Accepted 2021/ 11/ 01

Keywords:

High-pressure processing,
Non-thermal processing,
Milk and milk products,
Dairy products.

DOI: 10.52547/fsct.18.121.11

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1

*Corresponding Author E-Mail:
negarravash@tabrizu.ac.ir

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-09-03]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.121.7.1]

[DOI: 10.52547/fsct.18.121.11]