✓ پژوهش و سازندگی، شماره ۴۷، تابستان ۱۳۷۹

تهیه لاکتوز و محصولات فرعی (پروتئین و خوراک دام) از آب پنیر در واحدهای نیمه صنعتی تولیدکنندهٔ پنیر

● یدا... ترکاشوند، مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور (کرج)
● حسین میرنظامی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای (تهران)
● منوچهر حامدی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران (کرج)
● مهدی حریری‌مهر، کارخانه روغن‌نباتی پارس (تهران)

تاریخ دریافت: مردادماه ۱۳۷۷

چکیده

حداقل یکصد واحد نیمه صنعتی فعال تولید پنیر در کشور، قادرند که با صرف سرمایه‌گذاری ناچیزی، قسمت مهمی از ترکیبات پرارزش آب پنیر را بازیابی نمایند. هدف و ضرورت انجام این کار به دلیل نقش آلایندهٔ این ترکیبات در محیط زیست، جلوگیری از اسراف منابع غذایی، افزایش درآمد واحدهای تولیدی و نیاز بعضی از سایر بخش‌های تولیدی و صنعتی به محصولات آب پنیر می‌باشد. با افزودن یک دکانتور، یک اوپراتور غیرمداوم و یک سانتریفوژ سادهٔ آبگیری می‌توان ۸۳٪ پروتئین آب پنیر[1] و ۵۸٪ لاکتوز را بازیابی نمود و سپس ملاس باقیمانده[2] را نیز که حجم آن به کمتر از ۵٪ حجم آب پنیر اول یه کاهش یافته و حاوی مقدار قابل ملاحظه‌ای املاح و مواد معدنی می‌باشد در تغذیه دام و طیور استفاده نموده.

کلید واژه‌ها: لاکتوز، کریستاله شدن، تهیه، تولید، ساخت

✓ Pajouhesh & Sazandegi, No 47 PP: 103-108

Producing lactose and its by-products (protein & animal feedstuff) using whey in semi-industrial cheese factories.

By: Y. Torkashvand, Animal Science Reseach Institute, Karaj.; Mirnezami H., Nutrition Research Institute; Hamedi M., Agric. Fac. of Tehran Univ.; Hariri M., Oil Refinary Parsco.

In Iran daily remainly remarkable amount whey are produced by cheese factories where can be utilized by more than hundred semi - industrial dairy plants which are capable of recovering most of the nutritional components of whey through very less amount by investment. Therefore, the project were designed and conducted on the basis of following objectives including reduction of contaminating effect of whey on ecological environmental, preventing the loss of good source of nutrient, improving economical status of dairy factories and providing good source of raw materials for the other related industries. In this project by using the instruments like a decantor, a batch evaporator and a single dewatering centrifuge, were enabled us to separate and recover 83 percent or proteins in first step and 85 percent of lactose in second step of experiment. The volume of remaining liquor is about 5 percent of the initial volume which can be utilized for animal feeding.

Key words: Lactose, Crystalization, Preparation, Production, Manufacture, Recovery.

مقدمه

آب پنیر[3]، سرم حاصل از انعقاد[4] و تجمع[5] پروتئین شیر در اثر فعالیت آنزیم رنین یا اسیدی کردن شیر در فرآیند تولید پنیر و کازئین می‌باشد که در زمان آب انداختن[6] لخته یا فشردن[7] آن جهت آبگیری بیشتر تولید می‌شود.

بسته به عامل انعقاد، آب پنیر به دو نوع شیرین و اسیدی تقسیم می‌شود که از نظر خصوصیات و ترکیب تفاوت‌هایی با هم دارند. ترکیبات اصلی دو نوع آب پنیر آنزیمی که یکی به شکل سنتی و دیگری به شکل نیمه صنعتی به دست آمده است در جدول ۱ نشان داده شده است:

بیش از نیمی از مواد و ترکیبات با ارزش شیر در جریان تولید پنیر، وارد آب پنیر می‌شوند.

عملاً مقدار بسیار ناچیزی از این ترکیبات در بعضی از روستاها و مناطق عشایری کشور به شکل سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۶). مابقی یا همراه پساب شستشو و فاضلاب تصفیه بیولوژیک می‌شود و یا بدون تصفیه به رودخانه و چاه سرازیر می‌شود و سبب آلودگی محیط زیست می‌گردد.

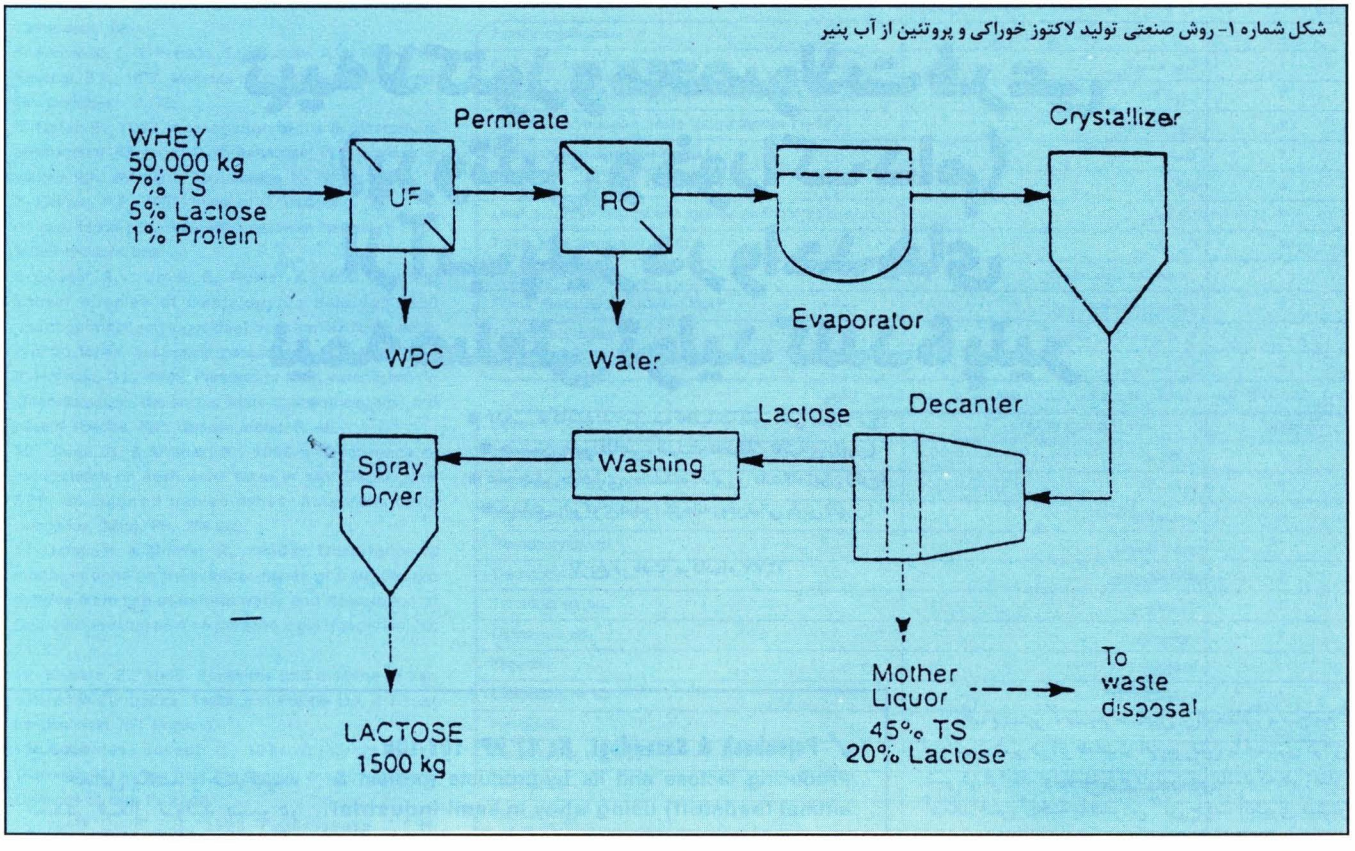
از نظر تغذیه‌ای آب پنیر حاوی بیش از ۱۵٪ پروتئین شیر می‌باشد و شامل ۲۵٪ آلفالاکتالبومین، ۵۰٪ بتالاکتوگلوبولین و ۲۵٪ ایمونوگلوبولین و سرم آلبومین است و بالاترین ارزش بیولوژیک را دارد و میزان جذب آن در بدن ۹۰-۸۵٪ است.

حدود ۹۵٪ لاکتوز نیز در ضمن تولید پنیر وارد آب پنیر می‌شود. هر گرم لاکتوز ۱۶/۸۵ kj انرژی در بدن تولید می‌کند و مهمترین منبع تأمین انرژی مورد نیاز نوزاد پستانداران است.

آب پنیر حاوی ۹۰-۴۰٪ ویتامین‌های محلول در آب شیر نیز می‌باشد.

امروزه با گسترش تکنیک جداسازی و بازیابی غشایی[8] مواد و افزایش ظرفیت کارخانه‌ها، تهیه

شکل شماره ۱- روش صنعتی تولید لاکتوز خوراکی و پروتئین از آب پنیر

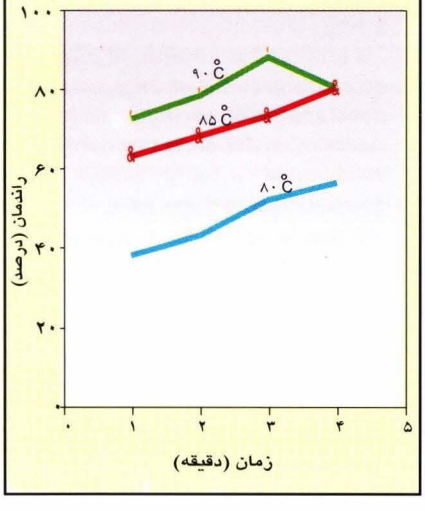


محصولات با ارزش افزوده هر چه بیشتر از آب پنیر در حال توسعه می‌باشد و سال به سال بر مصارف غذایی، دارویی و صنعتی آن افزوده می‌شود. بعضی از این محصولات وموارد‌مصرف آنهابه شرح‌زیرمی‌باشد (۵ و۶):

- فرمولاسیون فرآورده‌های لبنی (پنیر، بستنی، ماست و...).
- تهیه فرآورده‌های نانی (بیسکوئیت، کراکر، کیک،...) از «کنسانترهٔ پروتئین آب پنیر[۹]»، لاکتوز و «پودر آب پنیر[۱۰]».
- تهیه غذای کودک (شیرخشک، لاکتولوز...) از کنسانتره پروتئین آب پنیر و لاکتوز
- محصولات دارویی (پرکننده‌های قرص، قرص‌های آهن، لاکتیتول و...) از لاکتوز.
- تهیه شربت هیدرولیز شدهٔ لاکتوز، انواع نوشابه‌های کربناته (گازدار) و غیر کربناتهٔ تقویتی[۱۱]، مایونز، و مارگارین، پودینگ[۱۲]، کاستارد[۱۳]، ژله، پورهٔ مخلوط میوه‌جات، انواع سوپ، شیرهای معطر[۱۴] و...
- تهیه محصولات متابولیت مثل آنتی‌بیوتیک، ویتامین، اسیدهای آلی (لاکتیک، پروپیونیک، سیتریک، لاکتوبیونیک و گلوکونیک اسید)، اسیدهای آمینه، آنزیم (پروتئاز، لیپاز، بتاگالاکتوزیداز و...)، توده‌های بیولوژیک خوراکی و صنعتی (پروتئین، چربی و مواد پلی ساکاریدی مانند صمغ گزانتان)، حلال (الکل، استون و...)، اولیگوسارکایدها و...
- تهیه مواد آرایشی، مواد شوینده (پالمیتات لاکتیتول) و...

- تغذیه دام به شکل تازه خوری، تغلیظ شده، پودر کم‌لاکتوز[۱۵] یاکم‌پروتئین[۱۶]، غنی‌سازی سیلو، لاکتوزیل اوره، آمونیوم لاکتات، تغذیه نوزاد شیرخوار پستانداران و...(۳).
- محصولات جانبی تصفیه بی‌هوازی مثل بیوگاز[۱۷] و کود آلی و استفاده کنترل شده در استخرهای پرورش ماهی و آبیاری.

شکل شماره ۲ ـ منحنی تغییرات انعقاد و جداسازی پروتئین آب پنیر بر حسب دما و زمان



مواد و روش‌ها

عمر تولید صنعتی لاکتوز از آب پنیر در حدود یک قرن می‌باشد. در حال حاضر برای تولید آن از آخرین دستاوردهای تکنولوژی مثل اولترافیلتراسیون، اسمزمعکوس[۱۸]، الکترودیالیز[۱۹]، و... استفاده می‌شود. فرآیند تهیه لاکتوز خوراکی از آب پنیر شامل دو مرحلهٔ اصلی است که عبارت است از تغلیظ آب پنیر (با یا بدون گرفتن چربی، پروتئین، املاح و...) و جداسازی لاکتوز به روش تبلور و ترسیب[۲۰]. روش معمول تولید صنعتی لاکتوز در شکل ۱ نشان داده شده است. هر کدام از مراحل جداسازی چربی، املاح، پروتئین، ازت غیر پروتئینی[۲۱]، فسفات کلسیم (در صورت لزوم) و نیز تغلیظ، سرد کردن (جهت تبلور) و رسوب لاکتوز در طی نزدیک به صد سال که از تولید غیر آزمایشگاهی آن می‌گذرد، به روش‌های مختلف انجام شده است. مراحل اصلی تولید و محدودیت‌های فرضی استفاده از هر روش به شرح زیر می‌باشد:

جداسازی املاح

هزینه جداسازی مواد معدنی از آب پنیر به خصوص در روش الکترودیالیز بسیار زیاد است لذا در واحدهای بزرگ تولید لاکتوز خوراکی نیز استفاده از آن محدود شده است (۱).

به طوری که بعدا نیز خواهد آمد میزان بازیابی لاکتوز از محلول خالص آن (قابل مقایسه با آب پنیر عاری از املاح) نیز تفاوت چندان زیادی را بدون جداسازی املاح از آب پنیر نشان نمی‌دهد.

جداسازی پروتئینهای آب پنیر

جهت جداسازی آب پنیر، روشهای زیادی وجود دارد که بعضی به دلیل هزینه تولید بالا و محدودیت‌های فنی هنوز جنبهٔ تجاری نیافته‌اند. از روشهای الکترودیالیز، روشهای آنزیمی، هم‌رسوبی، کروماتوگرافی و جداسازی پروتئین با استفاده از الکل، تانن، پلی اکریلیک اسید، سدیم لوریل فسفات، بنتونیت، لیگنوسولفونات، چیتوزان، گلیسرول، آهک و... در این مورد می‌توان نام برد. بعضی از روشها نیز نیاز به هزینه زیاد و تکنولوژی پیشرفته و در اغلب موارد تجهیزات فرعی دارند و با وجود سرعت زیاد در بسیاری از موارد راندمان قابل توجهی ندارند. در این میان می‌توان از روشهای جذب یونی، سولفیتاسیون، اولترافیلتراسیون، ژل فیلتراسیون و رسوب پروتئین با کربوکسی متیل سلولز، مواد پلی‌فسفات، کلرورآهن و آلومینیوم نام برد(۱).

عملی‌ترین و مناسب‌ترین طریقه جداسازی پروتئین‌های آب پنیر در کارگاههای مورد نظر، انعقاد آنها با حرارت و اسید و تخلیهٔ آب پنیر می‌باشد. جداسازی پروتئین نه تنها یک مرحلهٔ لازم از فرآیند تولید لاکتوز است بلکه محصول آن همانطور که گفته شد یک فرآوردهٔ غذایی بسیار پرارزش است.

جداسازی لاکتوز

بیشتر از سه روش برای جداسازی لاکتوز استفاده می‌شود. در روش اول پس از تغلیظ آب پنیر، برای تبلور لاکتوز آن را سرد می‌کنند. در روش دوم از نمک فلزات به خصوص فلزات قلیایی خاکی برای رسوب لاکتوز استفاده می‌شود و در روش سوم از الکل برای جداسازی لاکتوز و رسوب آن استفاده می‌گردد. تغلیظ آب پنیر به روش اسمز معکوس که هم اکنون از آن در واحدهای بزرگ صنعتی در کشورهای پیشرفته استفاده می‌شود، در کارگاههای کوچک به دلیل هزینه زیاد و متعلقات جنبی، عملی نیست و در صورت استفاده نیز واحد تولیدی را از تبخیر کننده برای تغلیظ تا میزان مورد نیاز، بی‌نیاز نمی‌کند. استفاده از آهک، هیدروکسید فلزات قلیایی خاکی و سایر فلزات کمپلکس کننده نیز به دلیل ناخالصی زیاد و مشکل آزادسازی لاکتوز از کمپلکس رسوبی ایجاد شده از توان این کارگاهها خارج است. مثلاً در صورت استفاده از آهک به روش استفن[۲۲]، تمامی آهک با لاکتوز رسوب می‌کند. برای جلوگیری از تجزیه لاکتوز و پروتئین همراه آن بایستی آن را با اسید فسفریک خنثی نمود که در این صورت بر میزان ناخالصی محصول به شکل خاکستر افزوده می‌شود. چنانچه با تزریق گازکربنیک، لاکتوز در سوسپانسیون از کمپلکس رسوبی آزاد شود برای جداسازی مجدد آن بایستی عملیات بازیابی دیگری را طراحی نمود.

استفاده از الکل (و بطور مشابهی استون) به دلیل مصرف زیاد حلال و مشکل بازیابی آن در این کارگاهها نیز توصیه نمی‌شود. با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد که روش مناسب بازیابی لاکتوز در کارگاههای متوسط نیمه صنعتی، تغلیظ آب پنیر با یا بدون پروتئین به روش تبخیر تحت خلأ[۲۳] و سپس تبلور لاکتوز با سردکردن تدریجی آب پنیر غلیظ شده باشد.

پس از بررسی روشهای مختلف آزمایشگاهی و صنعتی جداسازی املاح، پروتئین و لاکتوز، عملی‌ترین و ساده‌ترین روشهای انجام کار در هر قسمت مورد ارزیابی و آزمایشات لازم قرار گرفت. تا روش انتخاب شده متناسب با شرایط و امکانات واحدهای متوسط نیمه صنعتی باشد[۲۴]. لذا در میان کلیه روشهای موجود، به نظر می‌رسد عملی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش باشد. برای جداسازی املاح به دلیل هزینه زیاد و شرایط فنی خاص کارگاههای مورد نظر، اقدامی نشده و تنها توصیه می‌شود که با ۳-۲ بار شستشو، خلوص محصول به حد قابل قبولی جهت مصارف خاص رسانده شود.

برای جداسازی پروتئین از روش انعقاد با حرارت بایا بدون افزودن اسید استفاده می‌شود. به این منظور پس از تنظیم pH، نمونه‌های مختلف آب پنیر در درون بشرهای شیشه‌ای ۵۰۰cc در میان حمام آب داغ بن‌ماری ۱ ± درجه سانتیگراد مجهز به ترموستات، در دماها و مدت زمانهای مورد بررسی بایا بدون همزدن آن (توسط همزن دور متغیر آزمایشگاهی)، حرارت داده می‌شود. این روش به دلیل سادگی و برخورداری اکثر واحدهای تولیدی از مخازن دو یا سه جدارهٔ مجهز به همزن[۲۵] عملی‌ترین روش ممکن می‌باشد(۴). برای انعقاد و تجمع پروتئین، در صورت استفاده از اسید، اسیدیته آن با اسیداستیک خوراکی تنظیم می‌شود. پس از رسوب پروتئین و تخلیه فاز مایع عاری از پروتئین[۲۶]، رسوب پروتئین با کاغذ صافی واتمن آبگیری می‌شود. این کار به شکل مشابهی با وسایل آبگیری از لخته پنیر در کارخانه انجام شدنی است.

برای جداسازی لاکتوز، آب پنیر کامل یا عاری از پروتئین، در آون تحت خلاء آزمایشگاهی در دمای ۶۰-۵۵ درجه سانتیگراد و فشار ۱۲۰mm جیوه تا TS=٪۵۵ تغلیظ می‌شود. این مرحله نیز با استفاده از تبخیر کننده تک مرحله‌ای[۲۷] یا لایه نازک[۲۸] که تکنولوژی ساخت آن در کشور وجود دارد، قابل انجام باشد.

برای تبلور لاکتوز نیاز به سردکردن آب پنیر تغلیظ شده می‌باشد. در آزمایشگاه برای انجام این مرحله ظرف حاوی آن را درون حمام آب یخ گذاشته و محتویات آن همزده می‌شود. این کار در واحدهای تولیدی نیز با استفاده از تانکهای دو جداره که مجهز به همزن دور متغیر است، انجام می‌شود. پس از تبلور لاکتوز و تعیین میزان تبلور در غلظت‌ها و دماهای مختلف، ملاس باقیمانده از تبلور مورد آزمایش قرار می‌گیرد. برای تعیین میزان لاکتوز چنانچه تعداد نمونه‌ها زیاد باشد از دستگاه رفراکتومتر و جهت مقایسه و تعیین میزان دقت از روش تیتراسیون لین - اینون[۲۹] استفاده می‌شود. پس از تبلور، مخلوط توسط کاغذ صافی صاف می‌شود تا بلور از ملاس آن جدا شود. این مرحله نیز با استفاده از خشک کن‌های کابینتی[۳۰] ساده سوراخدار به راحتی امکانپذیر است. استفاده از سانتریفوژ دکانتور[۳۱] یا سانتریفوژ پوشر[۳۲] نیز بسته به قیمت و امکانات کارگاه با استفاده از تکنولوژی داخلی امکانپذیر است. ساده‌ترین شکل آبگیری و خشک کردن بلورهای لاکتوز به وسیله صفحات سوراخدار در گرمخانه‌های مجهز به هواکش[۳۳] در توان کلیه واحدهای تولیدی می‌باشد.

برای اندازه‌گیری ترکیبات آب پنیر و سایر ترکیبات ملاس نهایی از روشهای مرجع استفاده شده است. پروتئین به روش ماکروکلدال[۳۴]، چربی به روش ژربر[۳۵]، لاکتوز به روش لین - اینون، خاکستر با استفاده از کورهٔ الکتریکی و ماده خشک با استفاده از دستگاه خشک‌کن مادون قرمز[۳۶] اندازه‌گیری شده است. pH نمونه‌ها نیز به وسیله دستگاه pH متر عقربه‌ای و اسیدیته نیز با تیتراسیون نمونه‌ها با سود ۰/۱ نرمال بر حسب درجه دورنیک[۳۷] اندازه‌گیری شده است.

جدول شماره ۱- متوسط ترکیبات اصلی آب پنیر در واحدهای سنتی و نیمه صنعتی کشور (۱)

ترکیبات (درصد وزنی حجمی) / نوع آب پنیر	ماده خشک	لاکتوز	ازت کل	چربی	مواد معدنی
نیمه صنعتی	۶/۴	۴/۵۵	۰/۹۸	۰/۱	۰/۶
سنتی	۷/۷	۴/۵۶	۰/۸۵	۰/۶۳	۰/۴۴

جدول شماره ۲- اثر زمان و درجه حرارت بر انعقاد و جداسازی پروتئین‌های آب پنیر

زمان (دقیقه)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۵
درجه حرارت (C°)	راندمان (٪)			
۸۰	۴۰	۴۲	۴۹	۵۴
۸۵	۶۴	۶۷	۷۶	۸۳
۹۰	۷۳	۷۶	۸۳	۸۳

جدول شماره ۳- راندمان جداسازی پروتئین در pH=۳/۲۶-۶/۱۳ (۱)

pH	۶/۱۳	۵/۲۵	۴/۷۵	۴/۴۳	۴/۰۹	۳/۲۶
راندمان(درصد)	۸۲	۸۲	۸۹	۷۹	۶۵	۵۵

جدول شماره ۴- راندمان جداسازی پروتئین در pH=۴/۲۵-۵/۷۵ (۱)

pH	۴/۲۵	۴/۵	۴/۷۵	۵	۵/۵	۵/۷۵
راندمان(درصد)	۷۵	۸۵	۸۹	۸۳	۸۲	۸۲

جدول شماره ۵- راندمان جداسازی پروتئین در pH=۴/۵-۵ (۱)

pH	۴/۵	۴/۶	۴/۷	۴/۸	۴/۹	۵
راندمان(درصد)	۸۹	۸۹	۸۹	۸۹	۸۵	۸۳

جدول شماره ۶- راندمان تبلور لاکتوز بر حسب درصد از کل در آب پنیر کامل تغلیظ شده (۱)

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
زمان سردکردن (ساعت)	۰/۳۰	۱/۴۸	۲/۲۵	۴/۰۵	۵/۱۰	۵/۴۸	۹	۱۳	۱۷/۲۰	۲۰/۵۰	۲۷	۴۳
زمان نمونه‌برداری (ساعت)												
۲	۱۴/۵											
۴	۲۰/۹	۱۷/۹	۱۸/۶				۱۸/۴		۱۱/۳	۱۰/۶	۹/۶	
۸	۲۵/۲	۲۲/۵	۲۶/۶	۲۳/۶	۳۲/۸	۲۹/۳		۲۰/۹	۱۸/۷	۲۳	۱۹/۴	۱۳/۳
۱۲	۳۰/۶	۲۴/۶	۲۸/۴	۲۹/۲	۳۵/۶	۳۰/۶	۲۸/۲		۲۲/۸	۲۸/۳	۲۵/۸	۱۷/۸
۱۶	۳۰/۸	۳۱/۱	۳۱/۷		۳۹	۳۶/۲	۳۱/۸	۲۶/۸	۳۰	۳۳/۷	۳۵/۸	۲۱/۸
۲۰		۳۰/۹	۳۲/۲	۳۳/۳	۴۰/۴	۳۹/۶	۳۵	۲۹/۳	۳۴		۴۱/۴	۲۶/۳
۲۴	۳۳	۳۶/۵	۳۶/۹	۳۷/۱	۴۳/۷	۳۹/۸	۳۹/۲	۳۴	۳۶/۱	۴۵	۴۴	۳۳/۵

جدول شماره ۷- راندمان تبلور لاکتوز بر حسب درصد از کل در آب پنیر بدون پروتئین (۱)

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
زمان سردکردن (ساعت)	۰/۳۰	۱/۴۸	۲/۲۵	۴/۰۵	۵/۱۰	۵/۴۸	۹	۱۳	۱۷/۲۰	۲۰/۵۰	۲۷	۴۳
زمان نمونه‌برداری (ساعت)												
۲	۲۲/۳											
۴	۲۶/۹	۲۶/۱	۲۴/۳									
۸	۲۹/۳	۲۸/۲	۲۹	۳۱/۵	۳۶/۳	۳۶/۲			۱۹/۲	۲۳	۱۴/۴	۲/۱
۱۲	۳۲/۱	۳۰/۴	۳۲/۲	۳۶	۳۹/۸	۴۰/۸	۳۱/۴		۳۴/۴	۳۵	۲۴/۷	۱۶
۱۶	۳/۷	۳۳	۳۵	۳۹/۲	۴۲/۳	۴۲/۵	۳۶/۳	۳۰/۸	۳۲	۳۵/۶	۳۵/۵	۲۲/۳
۲۰										۴۴/۵	۴۴/۴	۳۰
۲۴	۳۸/۱	۳۹/۱	۳۹/۸	۴۳/۳	۴۸/۴	۴۶/۶	۴۰/۴	۳۶/۹	۳۸/۳	۴۶/۳	۴۵	۳۴/۷

نتایج و بحث

الف) اثر انعقاد و جداسازی پروتئین

نتایج حاصل از میزان انعقاد و جداسازی پروتئین آب پنیر بدون اسیدی کردن آن

جهت بررسی عامل زمان و درجه حرارت بر میزان انعقاد و جداسازی پروتئین، نمونه‌های مختلف آب پنیر (pH = ۶/۵۹) در درجه حرارت و زمانهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. در کلیه بررسی‌های بعدی از چنین رژیم حرارتی برای جداسازی پروتئین استفاده می‌شود.

انعقاد و جداسازی پروتئین در اثر حرارت و اسیدی کردن آب پنیر

نتایج نشان می‌دهد بسته به امکانات کارگاه با یا بدون اسیدی کردن آب پنیر می‌توان ۸۹-۸۳٪ پروتئین‌های آن را جدا نمود.

ب) عوامل مؤثر بر تبلور و جداسازی لاکتوز

اثر پروتئین و سرعت سردکردن بر راندمان تبلور و جداسازی لاکتوز

اثر مزاحم پروتئین بر راندمان لاکتوز با توجه به نتایج بررسی‌های این قسمت در همه حال کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. با این حال لازم است ابتدا پروتئین از آب پنیر جدا شود چون بدون جداسازی آن خلوص محصول کاهش یافته، قابلیت فساد آن افزایش پیدا می‌کند و در صورت شستشوی محصول نیز ضایعات آن افزایش می‌یابد. به علاوه در صورت جدانکردن پروتئین، تغلیظ آب پنیر بایستی در دماهای پایین‌تر انجام شود در غیر این صورت با ژله‌ای شدن آن مشکلاتی در کار تبخیر کننده و راندمان تبخیر ایجاد می‌شود. در عین حال جهت مقایسه اثر پروتئین بر راندمان تولید لاکتوز با و بدون جداسازی آن، نتایج در جدول ۶ و ۷ نشان داده شده است. به منظور بررسی و مقایسه بیشتر و دقیق‌تر، از لحظهٔ شروع سردکردن در فواصل زمانی معین بدون اینکه لازم باشد دمای آب پنیر به دمای نهایی مورد نظر برسد میزان تبلور لاکتوز ارزیابی شده است.

ارقام جدول ۶ نشان می‌دهد که در اکثر موارد هر چه سرعت سردکردن کاهش یابد، پس از گذشت زمان ثابت، میزان تبلور بیشتر می‌شود. بنا به محدودیت‌هایی که در کارگاههایی کوچک هست، امکان سردکردن فقط در یک شیف‌کاری ۱۲ ساعته امکان‌پذیر است. لذا برای یافتن نمونه اپتیمم بایستی در طیف ۱۳-۰/۳۰ ساعت در جدول فوق به بررسی و انتخاب پرداخت مگر اینکه نتایج در خارج از این دو حد با ارقام داخل آن تفاوت قابل توجهی داشته باشد. می‌توان فرض نمود که چنانچه سرعت سردکردن در کنسانتره آب پنیر کامل، ۵/۱۰ ساعت باشد (در نمونه شماره ۵)، پس از گذشت ۲۴ ساعت، راندمان تبلور به ماکزیمم مقدار خود یعنی ۴۳/۷٪ می‌رسد. به‌طوری که در قسمت بعد نشان داده می‌شود با جداسازی اولیه پروتئین، می‌توان بازیابی لاکتوز را به بیش از ۴۸٪ افزایش داد.

چنانچه زمان سردکردن افزایش یابد پس از ۲۴ ساعت راندمان تبلور سیر نزولی دارد که علت آن مشخص نیست و قاعدتاً می‌بایستی به علت اینکه سرعت سردکردن کاهش یافته، محلول مدت زمان بیشتری را در درجه حرارت‌های بالاتر طی کرده و با برخورددداری از نسبت بیشتری از آلفا - لاکتوز به میزان بیشتری متبلور شده باشد. این روند نزولی در زمان‌های ۲۰، ۱۶، ۱۲ و ۱۸ ساعت نیز در مورد این سه نمونه دیده می‌شود.

امکان سردکردن طی زمان‌های بالا (بدلایلی که قبلاً گفته شد) در این بررسی مورد نظر نمی‌باشد. لذا در این مرحله از کار سردکردن تدریجی در طی ۵/۱۰ ساعت به عنوان نقطه اپتیمم فرض می‌شود.

چنین روند صعودی و نزولی، قبلاً در مورد آب پنیر کامل نیز ملاحظه شد ولی همانطور که گفته شد برای انتخاب نمونه اپتیمم بایستی تا نمونه ۸ به بررسی و انتخاب پرداخت. مشاهده می‌شود که در نمونه ۵ پس از گذشت ۲۴ ساعت راندمان تبلور به حداکثر می‌رسد. به طوریکه در مورد آب پنیر کامل نیز دیده شده اگر زمان سرد کردن ۵/۱۰ ساعت باشد راندمان تبلور به حداکثر می‌رسد. بنابراین می‌توان انتظار داشت با کاهش دمای آب پنیر تغلیظ شده تا ۲۳ درجه سانتیگراد طی حدود ۵ ساعت، ۴۸/۳٪ لاکتوز را در مقیاس نیمه صنعتی بازیابی نمود. این رقم ۴/۷٪ از راندمان تبلور در نمونه مشابهی که پروتئین آن قبلاً جدا نشده است بیشتر می‌باشد و قطعاً ناشی از اثر مزاحم پروتئین به صورت تشکیل ترکیبات هم‌رسوب[۳۸] یا واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی یا از این قبیل می‌باشد.

اثر غلظت بر راندمان تبلور

به طوریکه درجدول ۸ دیده می‌شود اثر غلظت بر راندمان تبلور ناچیز و بهتر است که در عمل آب پنیر تا غلظت ۵۵٪ تغلیظ شود.

اثر دما بر راندمان تبلور

چنانچه سه نمونهٔ فوق‌الذکر پس از سرد کردن تا دمای محیط (طی ۵/۱۰ ساعت) به یخچال یا سردخانه ۹ درجه سانتیگراد منتقل شوند، با کاهش دمای نگهداری آب پنیر غلیظ می‌توان راندمان تبلور لاکتوز را پس از ۲۴ ساعت به میزان ۶/۴۵، ۷/۷ و ۸/۲٪ در هر یک از این سه نمونه افزایش داد. بدیهی است هر چه زمان نگهداری ملاس باقیمانده از تبلور در سردخانه بیشتر

باشد به علت رسیدن تدریجی محلول به نقطهٔ فوق اشباع پایین‌تر، مقادیر دیگری از لاکتوز محلول، متبلور می‌شود و بر راندمان تولید افزوده می‌شود. عملاً به دلیل ظرفیت محدود تانک‌های تبلور، محیط سردخانه و تبلور ناچیز باقیماندهٔ لاکتوز محلول، افزایش تبلور به بیش از ۲۴ ساعت اقتصادی نیست (۲).

پیشنهاد

با اسیدی کردن آب پنیر و حرارت دادن آن به مدت نیم ساعت در دمای ۹ درجه سانتیگراد، ۸۳٪ از پروتئین آب پنیر همراه با مقادیر دیگری از سایر مواد آب پنیر منعقد می‌گردد که پس از مدت زمان کوتاهی (چند دقیقه) به شکل رسوب ته‌نشین می‌گردند. مایع رویی را می‌توان توسط شیرهای تخلیه (دکانتور) برداشته و رسوب را در صورت لزوم (برای کاهش رطوبت) صاف نمود و آبگیری کرد. این عملیات حرارتی را می‌توان در تانکهای دو جداره مجهز به همزن و شیرهای تخلیه که اغلب کارگاه‌های سابق‌الذکر مجهز به آن هستند انجام داد. آب پنیر را می‌توان بلافاصله (جهت جلوگیری از افت درجه حرارت) به تبخیر کننده تحت خلاء ۷۰ درجه سانتیگراد منتقل نمود و پس از تغلیظ تا ۵۵٪=TS، در تانکهای دو جداره مشابه تانکهای قبلی در مدت زمان تقریبی ۵ ساعت تا درجه حرارت محیط (۲۳ درجه سانتیگراد) سرد نمود و پس از انتقال به سردخانه بالای صفر پس از ۲۴ ساعت بیش از ۵۵٪ از لاکتوز را پس از تخلیه ملاس و صاف نمودن بلورهای باقیمانده، جداسازی نمود (این رقم بیش از ۳۹٪ لاکتوز آب پنیر را شامل می‌شود). با برگرداندن ملاس باقیمانده از تبلور لاکتوز به آب پنیر آماده تبلور روز بعد می‌توان عملاً یک مرحله دیگر نیز بر جداسازی لاکتوز باقیمانده در آن اقدام کرد (هر چند به مقدار جزئی باعث کاهش راندمان تبلور مخلوط می‌شود). با توجه به شرایط بهداشتی غیرایده‌ال در کارگاه‌های مورد نظر بهترین کار در مورد این فرآورده‌های جنبی ملاس مانند با توجه به اینکه بیش از ۳۰٪ ماده خشک، ۱۶٪ لاکتوز و مقادیر متنابهی مواد ازته و مواد معدنی دارد، استفاده از آن در تغذیه دام می‌باشد. فروش روزانه ملاس باقیمانده که تنها ۴/۵٪ حجم آب پنیر اولیه را دارد و یا تحویل مجانی آن به دامداران طرف قرارداد کارگاه نیز امکان‌پذیر است.

به طوریکه گفته شد ۲۹٪ لاکتوز در مرحله جداسازی پروتئین و بیش از ۳۹٪ آن به شکل بلور ناخالص لاکتوز از آب پنیر جدا می‌شود. به این شکل روی هم رفته می‌توان تا ۶۸٪ از لاکتوز را به شکل قابل مصرف برای انسان و ۳۲٪ را نیز جهت تغذیه دام بازیابی نمود. البته مقداری از هر دو به شکل پساب حاصل از شستشو و ضایعات ضمن تولید از دست می‌رود.

محصول ناخالص پروتئینی را نیز که در اثر انعقاد حرارتی به دست آمده می‌توان به عنوان مکمل خوراکی یا جهت مصارف قنادی به مصرف رساند و یا به شیر پنیرسازی اضافه نمود که با بررسی‌های انجام شده باعث بهبود نسبی راندمان تولید پنیر می‌گردد (۴). لاکتوز ناخالص حاصل را نیز می‌توان به مصرف بستنی‌سازی و محصولات قنادی رسانده و یا برای افزایش ماندگاری (بدون شیرینی زیاد) به مواد غذایی اضافه نمود (۱).

جدول شماره ۸- راندمان تبلور لاکتوز در غلظتهای بالا (۱)

زمان سردکردن (ساعت) / غلظت (درصد)	۵/۱	۸	۱۲	۱۶	۲۰	۲۴
۶۰	۳۰	۳۹	۴۴/۲	۴۶/۵	۴۹/۱	۴۹/۹
۶۵	۲۸/۳	۳۸/۵	۴۴/۴	۴۹/۸	۵۱	۵۱/۳

سپاسگزاری

از کلیه همکاران اداره صنایع غذایی معاونت صنایع روستایی وزارت جهاد سازندگی آقایان مهندس یدا... رحیمی، محمدرضا سعید خانی و فضل‌ا... گنجی و سرکار خانم صلاحی که در انجام این تحقیق از مساعدت‌های معنوی و عملی آنها برخوردار بوده‌ام تقدیر و تشکر می‌نمایم.

پاورقی‌ها

1- Whey protein
2- Mother liquor
3- Whey
4- Denaturation
5- Coagulation
6- Synersis
7- Pressing
8- Ultra filtration (UF)
9- Whey protein concentrate (WPC)
10- Whey powder
11- Tunic beverage
12- Puding
13- Custard
14- Flavoured milk
15- Lactose reduced whey powder
16- Protein reduced whey powder
17- Bio gas
18- Reverse osmosis
19- Electrodialyse
20- Precipitation
21- Non protein nitrogen (NPN)
22- Steffen method
23- Vacuum evaporation
24- Semi - ind. Plant
25- Jacketed tank
26- Deproteinated whey
27- Single stage evaproator
28- Falling film evaporator
29- Lane and eynon titration
30- Cabinet dryer
31- Decantor centrifuge
32- Pusher centrifuge
33- Ventilator
34- Macro - kjeldahl
35- Jerber procedure
36- Ultra - x dryer
37- Durnic degree (D)
38- Co - precipitate

منابع مورد استفاده

۱- ترکاشوند- یدالله، ۱۳۷۱. استفاده از آب پنیر جهت تهیه لاکتوز. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده کشاورزی. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد).

۲- ترکاشوند- یدالله، ۱۳۷۵. تهیه بیوگاز از آب پنیر در واحدهای پنیرسازی، مجموعه مقالات ارائه شده در اولین سمینار بیوگاز، سازمان انرژی اتمی، مرکز تحقیقات و کاربرد انرژیهای نو.

۳- ترکاشوند- یدالله، ۱۳۷۵. تهیه محصولات مختلف از آب پنیر و استفاده از آنها در تغذیه دام و طیور، سمینار داخلی. مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور.

۴- مفید- وحید، ۱۳۷۶. بازیابی پروتئین‌های آب پنیرهای صنعتی با روش فیزیکوشیمیایی و بررسی خواص آنها. دانشگاه تهران. دانشکده کشاورزی. (پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد).

5- Young. S.T. and Silva, E.M. 1995. Noval products and new technologies for use of a Familar Carbohydrate, milk lactose, j. of dairy Sci. N. 2541-62.

6- Zadow. J.G., 1992. Whey and lactose processing. Elseivier APPL. Sci, London.