مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هفتم، شماره ۵، ویژه‌نامه زمستان ۱۳۹۱، صفحات ۷۵۱-۷۴۵

بررسی انواع روش‌های فرایند تغلیظ انجمادی در فرآورده‌های لبنی

محمدجواد ایوانی[۱]، سارا سهراب وندی[۲]، محسن عاطفی[۱]، آمنه نعمت‌الهی[۳]

۱- کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استادیار گروه تحقیقات صنایع غذایی، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- نویسنده مسئول: کمیته تحقیقات دانشجویان، انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور، دانشکده علوم تغذیه و صنایع غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران. پست الکترونیکی: amene.nematollahi@gmail.com

چکیده

تغلیظ انجمادی فرایندی است که با انجماد بخشی از آب موجود در فرآورده و در مرحله بعد با حذف کریستال‌های یخ ایجاد شده سبب افزایش غلظت مواد غذایی مایع می‌شود. علت افزایش توجه به روش تغلیظ انجمادی آن است که فراورده‌های لبنی حاوی ترکیبات حساس به حرارت مانند پروتئین‌ها و عوامل ایجاد کننده‌ی عطر و طعم هستند. با این حال تغلیظ انجمادی فراورده‌های لبنی دارای محدودیت‌ها و مشکلاتی نظیر افزایش غلظت کازئین و پروتئین‌های آب پنیر، افزایش تدریجی غلظت و گرانروی شیر، کاهش سرعت رشد کریستال‌های یخ و افت قابل توجه چربی و لاکتوز طی فرایند است. بنابراین مقاله حاضر به بررسی انواع روش‌های تغلیظ انجمادی در فراورده‌های لبنی می‌پردازد.

واژگان کلیدی: پروتئین‌های آب‌پنیر، تغلیظ انجمادی، لبنیات

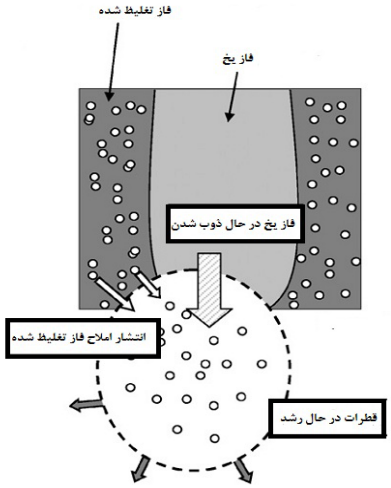
مقدمه

در فراوری مواد غذایی از پدیده تغلیظ به طور گسترده برای ایجاد کریستال، خشک کردن و پالایش غشایی (Filtration) استفاده می‌شود. در تغلیظ مواد غذایی عواملی نظیر کاهش میزان انرژی مصرفی، نگهداری مواد مغذی و عطر و طعم اولیه ماده غذایی، افزایش کارایی فرایند و کاهش افت فرآورده از اهمیت فراوانی برخوردار است (۳-۱). گستردگی و نیاز فراوان به تغلیظ، منجر به ایجاد و توسعه روش‌های مختلف به منظور تغلیظ مواد غذایی شده است که از متداول‌ترین روش‌های موجود می‌توان به پدیده غلیظ با استفاده از تبخیر اشاره نمود. روش تبخیر علاوه بر مصرف نسبتاً زیاد انرژی، سبب آسیب گرمایی به ماده غذایی و کاهش کیفیت فراورده می‌شود؛ بنابراین برای فرآوری ترکیبات حساس به گرما مناسب نخواهد بود. با این‌حال امکان دست‌یابی به غلظت‌های بالا (مواد جامد محلول بیش از ۵۰٪) توسط فرآیند تبخیر وجود دارد (۴). نیز به منظور تغلیظ مواد غذایی می‌توان از روش پالایش غشایی استفاده نمود به‌طوری‌که با استفاده از غشاهای خاص (با اندازه مناسب) تغلیظ فرآورده انجام می‌شود (به دلیل جداسازی آب). روش یادشده با کم‌ترین میزان مصرف انرژی همراه است اما معایبی نظیر قیمت بالای غشاها، هزینه بالای نگهداری و نیاز به تعویض و شست و شوی مداوم، استفاده از آن را محدود می‌کند (۹-۵).

تغلیظ انجمادی (Cry concentration) "به دلیل حفظ بیشینه مواد مغذی و مواد موثر در طعم و رایحه" یکی از با کیفیت‌ترین روش‌های تغلیظ شناخته شده‌است. اما به دلایلی مانند مصرف انرژی و هزینه زیاد دستگاهی، نیاز به تمیزکردن و نگهداری بیش‌تر در مقایسه با سایر روش‌ها نظیر اسمز معکوس (Reverse osmosis) و تبخیر (Evaporation) کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. مشاهدات نشان می‌دهند که این روش قابلیت‌هایی نظیر انجام پدیده تغلیظ بدون افزایش دما و قابلیت جداسازی ذرات با اندازه‌های مختلف (تا رسیدن به بیشینه ماده خشک محلول معادل ۵۰٪) را دارد. تغلیظ انجمادی در واقع نوعی فرایند آب‌زدایی (Dehydration) به‌شمار می‌آید که قابلیت نگهداری ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای مواد غذایی (به دلیل اثر حفاظتی دمای پایین بر ویتامین‌ها، پروتئین‌های حساس

به گرما و پلی فنل‌ها) را دارد. نیز دمای پایین فرایند از رشد میکروبی جلوگیری نموده به‌طوری‌که این موضوع سبب افزایش کیفیت فرآورده می‌شود (۱۳-۹، ۷). تاکنون مطالعات زیادی در مورد فرایند تغلیظ انجمادی و اثر آن بر ترکیبات اصلی شیر (پروتئین، لاکتوز و چربی) انجام شده است(۱۵، ۱۴ ،۱). از دیدگاه ترمودینامیکی، تغلیظ انجمادی یک فرایند جداسازی بخش‌های جامد و مایع به‌شمار می‌آید که بر اساس تفاوت در دمای کریستاله‌شدن سبب جداسازی مولکول‌ها از یک‌دیگر می‌شود (۱۶). نمای کلی تغلیظ انجمادی در شکل ۱ نشان داده شده است.

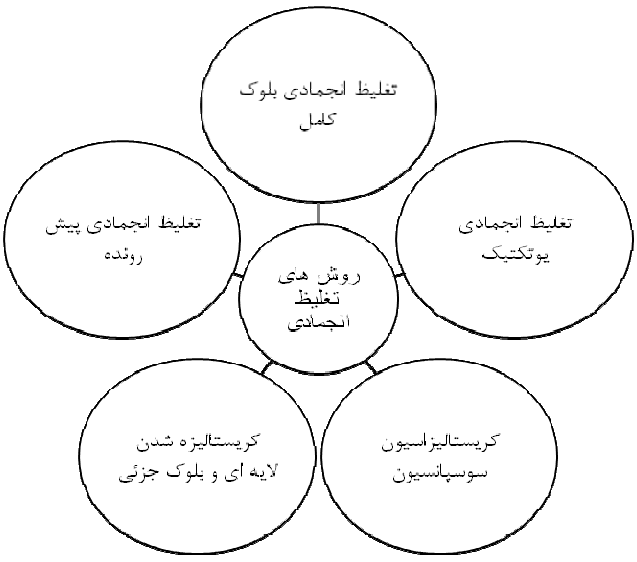
بنابراین در مقاله حاضر به بررسی انواع روش‌های تغلیظ انجمادی در فراورده‌های لبنی پرداخته می‌شود.



شکل۱. نمای کلی فرایند تغلیظ انجمادی (۲)

انواع روش‌های تغلیظ انجمادی

تغلیظ انجمادی پیش‌رونده (Progressive cryoconcentration): طراحی این روش به گونه‌ای است که از تشکیل کریستال‌های کوچک یخ جلوگیری کرده و منجر به تشکیل کریستال‌های بزرگ روی سطوح بسیار باریک مخازن کریستاله شدن (Crystalization vessels) می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به سهولت فرآیند جداسازی و کاهش هزینه‌ها اشاره نمود (۱۹، ۳). اصول روش تغلیظ انجمادی پیش‌رونده متفاوت از سایر روش‌ها است (۱۸، ۱۷) و نوعی کریستاله شدن ذوبی به‌شمار می‌آید که با نوسانات متناوب دما، رشد کریستال‌ها را امکان‌پذیر می‌نماید به‌طوری‌که با کاهش اولیه‌ی دما، کریستال‌هایی با اندازه‌های متفاوت تشکیل می‌شوند و سپس تناوب‌های دمایی منجر به ذوب مجدد کریستال‌های کوچک و الحاق آن‌ها به صورت ایجاد کریستال‌های بزرگ‌تر می‌شود (۲۰). در گذشته از این روش برای تغلیظ سوسپانسیون‌های دارای مواد معلق با اندازه کوچک و همین‌طور اهداف تجزیه‌ای استفاده شده است (۲۱). در شکل ۲ انواع روش‌های تغلیظ انجمادی به طور خلاصه آورده شده است.



شکل ۲. انواع روش‌های تغلیظ انجمادی

تغلیظ انجمادی یوتکتیک: به روشی گفته می‌شود که برای جداسازی نمک‌های غیر آلی از محلول آبی از دماهای بسیار پایین استفاده می‌شود (۱۳). یوتکتیک یک محلول ناهمگن، دمایی است که در آن دما، تمام اجزای محلول به حالت جامد است و هیچ جزء مایعی وجود ندارد. میزان این دما به ترکیب، نوع و بر هم‌کنش مواد تشکیل دهنده بستگی دارد. در نقطه‌ی یوتکتیک آب آزاد وجود ندارد و از این رو دو عامل گرانش و تفاوت چگالی مواد محلول، نیروی محرکه جداسازی به‌شمار می‌آیند. مزایای این روش مصرف انرژی کم و خلوص بسیار بالا است (۲۴-۲۲، ۱۳).

تغلیظ انجمادی بلوک کامل (Complete Block Cryoconcentration): در این روش پس از انجماد کامل ماده غذایی، یخ زدایی با کمک نیروی گرانشی (Gravitational-thawing assisted) انجام می‌شود و بخش‌های منجمد به شکل ترکیبات جامد از بین مایع عبور می‌کنند. با کنترل دمای بهینه ذوب می‌توان کارایی این نوع فرایند را تا ۹۰٪ افزایش داد، به‌طوری‌که سبب کاهش دمای ماده محبوس شده در یخ شد (۷). تغلیظ انجمادی بلوک کامل روشی مناسب برای غذاهای مایع (به دلیل حفظ بیشینه مواد مغذی و ویژگی‌های حسی) است (۱۴، ۷، ۱).

کریستالیزه شدن سوسپانسیونی (Suspension crystallization): کریستاله شده سوسپانسیونی روش مناسبی به منظور تغلیظ فرآورده‌هایی با اندازه‌ی بسیار کوچک مواد محلول به شمار می‌آید، زیرا تغلیظ این‌گونه مواد به دلیل حساسیت رایحه آن‌ها در سایر روش‌ها مشکل است. از آن‌جاکه این روش به دستگاه‌های پیچیده‌ای نظیر تبادل‌گر حرارتی با سطح خراشنده (برای تولید کریستال‌های اولیه)، مخازنی برای کریستاله شدن مجدد یخ (Recrystallization vessel for ice growth) و برج‌های شست‌وشو برای جداسازی بلورهای یخ نیاز دارد (۲۵، ۳، ۱) کریستالی‌شدن سوسپانسیونی یک روش پرهزینه تغلیظ انجمادی به‌شمار می‌آید. از این روش برای استخراج مواد با ارزش افزوده‌ی بالا نظیر قهوه استفاده می‌شود (۲۶).

اولین بار از روش کریستاله‌شدن انجمادی به منظور تغلیظ مواد لبنی در آزمایشگاه استفاده شد و سپس به منظور بررسی راه‌کارهای افزایش سرعت رشد کریستال‌های یخ و بهینه‌سازی شرایط تغلیظ انجمادی مورد توجه قرار گرفت (۲۸، ۲۷). نتایج این پژوهش‌ها نشان دادند که سرعت هسته‌زایی و رشد کریستال‌ها ارتباط مستقیمی با سرعت حذف گرما و انتشار جرم (Mass diffusion) دارد (۳۱-۲۹)، به‌طوری‌که با افزایش سرعت حذف گرما و انتقال جرم در فرآورده، نرخ هسته‌زایی افزایش یافته وکریستال‌های کوچک‌تری تولید می‌شود، بنابراین به‌دلیل کاهش افت ماده موثر، بیشینه حفظ مواد رایحه‌ای وجود دارد. پژوهش‌هایی در مورد اثر تغلیظ انجمادی بر میزان پروتئین‌ها و لاکتوز انجام شده است. گزارشات Best و Vasada (۱۹۹۳) در زمینه کارایی تغلیظ انجمادی در تغلیظ شیر پس چرخ (Skim milk)، شیر کامل (Whole milk)، پروتئین‌های آب پنیر و ماده باقی مانده پشت غشا (Permeate) نشان داد بیش‌ترین غلظت به‌دست آمده در خصوص شیر پس چرخ، شیر کامل، پروتئین‌های آب پنیر و ماده باقی مانده پشت غشا به ترتیب برابر ۴۰٪، ۴۴٪، ۴۶/۵٪ و ۵۱٪ بر پایه وزن مرطوب در زمان‌های تغلیظ به ترتیب ۴۰، ۳۰، ۲۴ و ۲۶ ساعت بود. با توجه به این‌که شیر پس چرخ دارای بیش‌ترین مقدار کازئین و ماده باقی مانده پشت غشا دارای بیش‌ترین مقدار لاکتوز است، نتیجه‌گیری شد که میزان لاکتوز و پروتئین‌های آب پنیر در فرآورده رابطه‌ی مستقیمی با میزان تغلیظ دارد. احتمالاً کازئین، تراویده آب پنیر (Whey permeate) و لاکتوز کریستاله شده عوامل محدود کننده‌ای به منظور دست‌یابی به بیشینه غلظت در این روش هستند. نیز تعیین شد که گرانروی زیاد عامل مهمی در روش تغلیظ انجمادی بلوک کامل به شمار می‌آیند و با میزان تغلیظ رابطه‌ی وارون دارد (۳۳).

Hartel و Chung در سال ۱۹۹۳ پژوهشی در مورد فرایند سردکردن نزدیک به دمای بحرانی قبل از هسته‌زایی انجام دادند و دریافتند افزایش میزان پروتئین‌های آب پنیر سبب افزایش دمای بحرانی سردکردن می‌شود. نیز لاکتوز تاثیر بسیار کمی بر هسته‌زایی در دمای سرد کردن بحرانی دارد (۳۲).

تغلیظ انجمادی به روش کریستاله‌شدن لایه‌ای و بلوک جزئی: این نوع تغلیظ انجمادی، روش جدید و کارآمدی است که در سال ۲۰۰۷ توسط Aider و همکارانش با هدف بهبود تغلیظ لاکتوسرم (Lacto serum) معرفی شد. اساس عمل این نوع تغلیظ، ورود سوسپانسیون مایع به یک محفظه‌ی کریستاله‌کننده (Crystallizer Chamber) مجهز به لوله‌های سرمازا است به‌طوری‌که کریستاله‌شدن به‌تدریج از مرکز محلول آغاز می‌شود (۱). با توجه به ضریب هدایت گرمایی بالای یخ نسبت به آب، با افزایش مقدار یخ در مرکز

فراورده، سرعت کریستالەشدن هم به‌تدریج افزایش خواهد یافت. در این روش مقدار کل مواد جامد محلول می‌تواند به ۳۵٪ بر پایه وزن مرطوب (یعنی اندکی کم‌تر از آن‌چه که در کریستاله شدن سوسپانسیونی گزارش شد) برسد. در آزمایشات مشاهده شد چنان‌چه تغلیظ بیش از حد (برای رسیدن به درصد بالاتری از ماده خشک محلول) انجام پذیرد مقدار پروتئین به‌طور ناگهانی افزایش (به میزان ۱۹/۸۷٪ بر پایه وزن مرطوب) می‌یابد. دانسته شده است پروتئین‌های آب‌پنیر توانایی زیادی در ایجاد پیوندهای هیدروژنی با مولکول‌های آب دارند. بنابراین با افزایش غلظت پروتئین‌ها، مقدار آب قابل انجماد کاهش یافته و طی فرایند جداسازی فاز مایع غلیظ‌تر می‌شود، نیز فاز یخ زده غنی از پروتئین باقی خواهد ماند. این نتیجه ضعف بزرگی برای روش کریستاله شدن لایه‌ای و بلوک جزئی به حساب می‌آید ولی با تنظیم کمّی مقدار فرآورده مورد استفاده به منظور انجماد زدایی، می‌توان افت فرآورده را کاهش داد (۳۵، ۳۴، ۱۴).

مواردی نظیر "کاهش افت ماده خشک هنگام جداسازی فازهای با چگالی متفاوت" و "کارایی مطلوب‌تر در انتقال دما در لایه‌ی مرزی" از ویژگی‌های این روش به‌حساب می‌آید. مشخص شده است هر چه تفاوت چگالی‌های مواد تغلیظ شده بیش‌تر باشد، جداسازی کامل‌تر و آسان‌تر انجام می‌شود. در این روش یکسان‌شدن غلظت مواد در بخش مایع و جامد و تشابه سرعت جریان همرفت سبب توقف کریستاله‌شدن می‌شود.

از این روش برای تغلیظ شیر، شربت‌ها و استخراج ترکیبات معطر از انگور استفاده می‌شود (۸).

انجماد زدایی: انجماد زدایی بخش مهمی از فرآیند تغلیظ انجمادی است که به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. یکی از بهترین روش‌های انجمادزدایی "انجمادزدایی به کمک مایکروویو" است. اهمیت این روش به دلیل کارایی آن به‌منظور تغلیظ پروتئین و مواد جامد حاوی رطوبت کم است. با این حال، انجمادزدایی به کمک مایکروویو تاثیر منفی بر برخی پروتئین‌های مواد غذایی دارد، به‌طوری‌که تجمع تراکمی پروتئین‌ها مخصوصاً بتالاکتوگلوبولین و آلفا لاکتوبومین (دارای خاصیت کف‌کنندگی و امولسیفایری) را تقویت کرده و موجب دناتوره شدن آن‌ها می‌شود. نیز، افزایش غلظت یون پتاسیم حین جداسازی سبب تشدید دناتوراسیون این دو نوع پروتئین می‌شود. به همین دلیل استفاده از روش مایکروویو همراه با سایر روش‌ها مانند به‌کارگیری نیروی گرانش یا گریز از مرکز می‌تواند سبب کاهش افت مواد محلول در این مرحله شده و کارایی فرایند را تا حد زیادی افزایش دهد (۱۴).

در جدول ۱ انواع روش های تغلیظ انجمادی، ویژگی‌ها و کاربردهای آن‌ها به طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌ها و کاربرد انواع روش‌های تغلیظ انجمادی

روش	ویژگی	کاربرد	منبع
تغلیظ انجمادی پیش روتده	تشکیل و جداسازی آسان کریستال‌ها / هزینه‌کمتر	تغلیظ محصولات دارای مواد محلول نسبتاً کوچک / اهداف تجزیه‌ای	۱۷-۲۱
تغلیظ انجمادی یوتکتیک	مصرف انرژی کم / خلوص بسیار بالا / توزیع یکسان اندازه ذرات	جداسازی نمک های غیر آلی از محلول آبی	۱۳
تغلیظ انجمادی بلوک کامل	حفظ مواد مغذی و ویژگی‌های حسی	تغلیظ غذاهای مایع	۱۴، ۷، ۱
کریستاله شدن سوسپانسیونی	پرهزینه‌ترین روش	استخراج مواد با ارزش افزوده بالا مانند قهوه	۲۶، ۲۵
تغلیظ انجمادی به روش کریستاله شدن لایه‌ای و بلوک جزئی	کاهش درصد افت ماده خشک هنگام جداسازی فازها با چگالی متفاوت / کارایی بالاتر و بهتر در انتقال دما در لایه مرزی	تغلیظ شیر، شربت‌ها و استخراج ترکیبات آروماتیک از انگور	۸

نتیجه‌گیری

افزایش میزان تشکیل کریستال‌ها و دست‌یابی به شرایط تعادل گرمایی بهینه (به منظور آسان‌تر کردن جداسازی)، بحث اصلی در تغلیظ انجمادی مواد غذایی به‌ویژه فرآورده‌های لبنی است، به طوری که فرایند تغلیظ انجمادی در کم‌ترین زمان و هزینه‌ی ممکن انجام شود. موضوع مهم دیگر رابطه مهم تاثیر ترکیب ماده‌ی غذایی (یعنی مقدار افت کازئین و پروتئین‌های آب پنیر) بر مراحل تغلیظ انجمادی است. بنابراین کاربرد این روش با توجه به مقدار بالای لاکتوز و چربی در بخش منجمد (بیش‌تر از فاز محلول غلیظ شده) ماده غذایی، سبب افت فرآورده می‌شود. نیز دانسته شده است که گرانروی زیاد و غلظت بالای کازئین نوعی عامل محدودکننده برای تغلیظ انجمادی انواع محصولات لبنی به شمار می‌آیند و غلظت پروتئین‌های آب پنیر شیر دارای رابطه وارون با سرعت رشد یخ است، به‌طوری‌که با افزایش غلظت آن‌ها، سرعت رشد کریستال‌ها کاهش می‌یابد.

به‌طور کلی در شیر پس چرخ و شیر کامل، روش کریستاله‌شدن سوسپانسیونی نسبت به روش تغلیظ انجمادی بلوک جزئی، کارامدتر و راندمان تغلیظ آن بالاتر است. در نهایت حفظ ارزش بیولوژی، تغذیه‌ای و کیفیت پروتئین طی تولید و نگهداری فراورده از مهم‌ترین فاکتورها به شمار می‌آیند.

برای افزایش کارایی این فرایند بهتر است از روش‌هایی با صرفه اقتصادی بیش‌تر، به منظور بازیابی مجدد یخ استفاده شود تا حداقل افت مواد جامد به دست آید، بهینه‌سازی انتقال گرما و نرخ برش در سیستم‌ها انجام شود و تا حد ممکن مولکول‌های بزرگ مانند کازئین و پروتئین‌های آب پنیر با روش‌هایی نظیر فراپالایش حذف شوند و سپس فرایند تغلیظ انجمادی انجام شود.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح دانشجویی کمیته‌ی تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم‌پزشکی شهیدبهشتی استخراج شده‌است.

References

1. Min SG. Effect of ice recrystallization on freeze concentration of milk solutes in a lab-scale unit. Food Sci Biotechnol 2006;15 (2): 196-201.
2. Sánchez J, Ruiz Y, Auleda J, Hernández E, Raventós M. Review. Freeze concentration in the fruit juices industry. Food Sci Technol Int 2009; 15(4): 303-15.
3. Miyawaki O, Liu L, Shirai Y, Sakashita S, Kagitani K. Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. J Food Eng 2005; 69(1): 107-13.
4. Heldman DR, Lund DB. The Beginning, current, and future of food engineering: A perspective. Food Eng Interfaces 2011: 3-18.
5. Güell C, Davis RH. Membrane fouling during microfiltration of protein mixtures. J Membrane Sci 1996; 119(2): 269-84.
6. Jiraratananon R, Chanachai A. A study of fouling in the ultrafiltration of passion fruit juice. J Membrane Sci 1996; 111(1): 39-48.
7. Aider M, de Halleux D. Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology. LWT-Food Sci Technol 2008; 41(10): 1768-75.
8. Shafiur Rahman M, Ahmed M, Chen XD. Freezingmelting process and desalination: review of present status and future prospects. Int j nucl desalination 2007; 2(3): 253-64.
9. Song W, Su Y, Chen X, Ding L, Wan Y. Rapid concentration of protein solution by a crossflow electro-ultrafiltration process. Sep Purif Technol 2010; 73(2): 310-18.
10. Ziegler J, Vogt T, Miersch O, Strack D. Concentration of dilute protein solutions prior to sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. Anal Bioch 1997; 250(2): 257.
11. Nakagawa K, Maebashi S, Maeda K. Freeze-thawing as a path to concentrate aqueous solution. Sep Purif Technol 2010; 73(3): 403-8.
12. Habib B, Farid M. Freeze concentration of milk and saline solutions in a liquid–solid fluidized bed: Part II. Modelling of ice removal. Chem Eng Process: Process Intensification 2008; 47(4): 539-47.
13. Himawan C, Vaessen R, Kramer H, Seckler M, Witkamp G. Dynamic modeling and simulation of eutectic freeze crystallization. J cryst growth 2002; 237: 2257-63.
14. Aider M, de Halleux D, Melnikova I. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its

functional properties: Impact of processing conditions. Innovative Food Sci Emerg Technol 2009; 10(3): 334-41.

15. Habib B, Farid M. Heat transfer and operating conditions for freeze concentration in a liquid–solid fluidized bed heat exchanger. Chem Eng Process: Process Intensification 2006; 45(8): 698-710.
16. Aider M, Halleux Dd, Akbachea A. Whey cryoconcentration and impact on its composition. Food Sci Technol 2000.
17. Bae S, Miyawaki O, Arai S. Control of freezing front structure and its effect on the concentration efficiency in the progressive freeze-concentration. Cryobiol Cryotechnol 1994; 40: 29-32.
18. Gu X, Suzuki T, Miyawaki O. Limiting Partition Coefficient in Progressive Freeze-concentration. J Food Sc 2006; 70(9): 546-51.
19. Atwood GR. Studies in melt crystallization. separation & purification reviews. 1972 ;1(1): 297-369.
20. Gilbert SW. Melt crystallization: Process analysis and optimization. AICHEJ 1991; 37(8): 1205-18.
21. Shapiro J. Freezing-out, a safe technique for concentration of dilute solutions. Sci 1961; 133(3470): 2063-64.
22. Vaessen R, Seckler M, Witkamp GJ. Eutectic freeze crystallization with an aqueous KNO3-HNO3 solution in a 100-L cooled-disk column crystallizer. Ind Eng Chem Res 2003; 42(20): 4874-80.
23. Stepakoff G, Siegelman D, Johnson R, Gibson W. Development of a eutectic freezing process for brine disposal. Desalination. 1974; 15(1): 25-38.
24. Van der Ham F, Witkamp G, De Graauw J, Van Rosmalen G. Eutectic freeze crystallization: Application to process streams and waste water purification. Chem Eng Process: Process Intensification 1998; 37(2): 207-13.
25. Okawa S, Ito T, Saito A. Effect of crystal orientation on freeze concentration of solutions. Int Journal Refrigerat 2009; 32(2): 246-52.
26. Braddock R, Marcy J. Freeze concentration of pineapple juice. J Food Sci 1985; 50(6): 1636-39.
27. Qin FGF, Russell AB, Chen XD, Robertson L. Ice fouling on a subcooled metal surface examined by thermo-response and electrical conductivity. J Food Eng 2003; 59(4): 421-9.
28. Hartel R, Espinel L. Freeze concentration of skim milk. J Food Eng 1993; 20(2): 101-20.
29. Dickey LC, Craig JC, Radewonuk ER, McAloon AJ, Holsinger VH. Low temperature concentration of skim milk by direct freezing and vacuum evaporation. J Dairy Sci 1995; 78(6): 1369-76.
30. Zhang Z, Hartel RW. A multilayer freezer for freeze concentration of liquid milk. J Food Eng 1996; 29(1): 23-38.
31. Habib B, Farid M. Freeze concentration of milk and saline solutions in a liquid–solid fluidized bed: Part I. Experimental. Chem Eng Process: Process Intensification 2007; 46(12): 1400-11.
32. Hartel R, Chung M. Contact nucleation of ice in fluid dairy products. J Food Eng 1993; 18(3): 281-96.
33. Aider M, Ounis WB. Skim milk cryoconcentration as affected by the thawing mode: gravitational vs. microwave-assisted. Int J Food Sci Technol 2012.
34. Aider M, de Halleux D, Melnikova I. Skim milk whey cryoconcentration and impact on the composition of the concentrated and ice fractions. Food Bioprocess Technol 2009; 2(1): 80-88.
35. Hernández E, Raventós M, Auleda J, Ibarz A. Concentration of apple and pear juices in a multi-plate freeze concentrator. Innovative Food Sci Emerg Technol 2009; 10(3): 348-55.
36. Aider M, De Halleux D, Akbache A. Whey cryoconcentration and impact on its composition. J Food Eng 2007; 82(1): 92-102.

Study of different methods of freeze concentration technology in dairy products

*Eivani MJ[1], Sohrabvandi S[2],Atefi M[1], Nematollahi A[*3]*

1- *Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran, Iran*

2- *Assistant Prof, Dept. of Food Technology Research, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences, Food Science and Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

3- **Corresponding author: Students' Research Committee, National Nutrition and Food Technology Research Institute, Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran,Iran. Email: Amene.nematollahi@gmail.com*

Abstract

Freeze concentration is a process of concentrating liquid products by freezing the water content and subsequently removing the so-formed ice crystals from the food system. In dairy processing, this technology offers the advantage of minimizing the heat abuse of sensitive milk components, such as proteins and flavors. It thus provides an opportunity for producing dairy ingredients with enhanced functional and organoleptic qualities. By freeze concentration, skim milk has been concentrated up to 40wt% total solids (TS) and whole milk up to 44wt% TS. Lactose and lipids are more concentrated in the ice fraction than in the concentrated fraction. Proteins (casein and whey protein) decrease the ice growth rate and the high viscosity is a limiting factor for the freeze concentration of both skim milk and whole milk. In this study, the most important studies relating to the suspension, block and layer freeze concentration of milk are summarized, analyzing results and indicating how freeze concentration process efficiency of dairy products can be improved.

Keywords: Freeze concentration, Dairy products, Whey, Skim milk, Whole milk.