

مطالعه تفکیک اجزای چربی شیر به روش کریستالیزاسیون جزء به جزء

مجید جمشیدیان، محمدعلی سحری و محسن برزگر^۱

چکیده

به منظور اصلاح چربی شیر، کریستالیزاسیون جزء به جزء آن پس از سرم گیری با دکاناتور در سه دامنۀ دمایی ۳۵-۳۰، ۲۲-۱۷ و ۱۰-۵ درجه سانتی گراد و سه زمان کریستالیزاسیون ۶، ۱۳/۵ و ۱۸ ساعت انجام گرفت. در هر مرحله پس از پایان زمان مورد نظر، جزء جامد یا استتارین توسط سانتریفوژ (۱۶۰۰۰ rpm) به مدت زمان ۱۵ دقیقه جدا شد. جزء مایع یا اولئین باقی مانده وارد مرحله بعد کریستالیزاسیون جزء به جزء گردیده و این عمل تا سه مرحله و تا جداسازی جزء با نقطه ذوب پایین یا LMF (Low melting fraction)، جزء با نقطه ذوب متوسط یا MMF (Middle melting fraction) و جزء با نقطه ذوب بالا یا HMF (High melting fraction)، تکرار شد. در پایان در ۲۷ جزء به دست آمده، عدد یدی به روش ویجز (Wejs) و درصد چربی جامد یا SFC (Solid fat content) با دستگاه NMR (Nuclear magnetic resonance) اندازه گیری و مقایسه شد. نتایج نشان داد که عدد یدی و SFC برای LMF متفاوت از MMF و HMF بوده و دارای اختلاف معنی دار با آن دو است (اختلاف عدد یدی، ۳-۶ واحد یا ۱۰-۲۰٪ و اختلاف SFC، ۳-۱۴٪) و می توان در فرمولاسیون بستنی از LMF، شیرینی دانمارکی از MMF و روکش بستنی از HMF استفاده نمود.

واژه های کلیدی: چربی شیر، کریستالیزاسیون جزء به جزء، LMF, MMF, HMF

مقدمه

چربی شیر پیچیده ترین چربی طبیعی و ترکیبی از تری آسیل گلیسرول هاست که دارای وزن مولکولی ۸۹۰-۴۷۰ دالتون بوده و شامل اسیدهای چرب متنوع از نظر تعداد کربن می باشد. چربی شیر، هم چنین دارای مقداری کلسترول بوده و ترکیب اسیدهای چرب آن منحصر به فرد است. ترکیب پیچیده اسیدهای چرب، دامنه طول زنجیر اسید چرب، میزان غیر

اشباعیت آن و توزیع ویژه فضایی اسیدهای چرب بر رفتار ذوبی چربی شیر تأثیر گذار می باشد. در دمای اتاق (۲۰°C)، چربی شیر مخلوطی از روغن، چربی نیمه سفت و چربی سفت شده است. دامنه ذوب چربی شیر از ۴۰°C - شروع شده و در ۴۰°C به پایان می رسد. فازهای جامد و مایع در کنار یکدیگر بوده و فازهای جامد به تدریج در این دامنه گسترده ذوب می شوند (۴). دلایل کاهش مصرف کره در اروپا و آمریکای

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

شمالی که قبلاً از مصرف‌کنندگان عمده کره بودند را می‌توان به گرانی قیمت کره حیوانی و کمی خاصیت گسترش‌پذیری (Spreadability) آن در مقایسه با مارگارین، هم‌چنین بالا بودن تری‌آسیل‌گلیسرول‌های اشباع، اسیدهای چرب زنجیر کوتاه، افزایش تری‌گلیسرید خون و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی آن نسبت داد (۳). از آنجا که چربی شیر دارای تری‌آسیل‌گلیسرول‌های مختلف با نقاط ذوب متفاوت می‌باشد می‌توان آنها را جداسازی نمود و در فرآورده‌های متفاوتی مانند شکلات، نانواپی، گسترده‌ها، فراورده‌های لبنی، پوشش‌های ترکیبی، تافی‌ها، کارامل‌ها، روغن‌های سرخ‌کردنی، شورتینگ‌ها، مواد آرایشی و دارویی استفاده کرد (۱۳).

برای نخستین مرتبه به محاسن کریستالیزاسیون جزء به جزء در اروپا توسط واردکنندگان روغن کاکائو از سریلانکا پی برده شد (۱۶). روغن گرم مایع که در داخل بشکه‌های چوبی بلند به نام Ceylon pipes ریخته می‌شد، زمانی که به سمت آب و هوای خنک‌تر اروپا حمل می‌شد سرد گشته، احتمالاً حرکت کشتی سبب هم زدن آرام آنها گردیده و در نتیجه روغن، بلورین و جزء به جزء می‌شد. بعدها قسمتی از آن که بلورین شده بود توسط شرکت‌های دریافت‌کننده چربی مورد ارزیابی قرار گرفت. آنها دریافتند که جزء استئارین در صنعت پوشش‌ها و محافظ‌ها، محاسنی دارد (۶).

در سال ۱۹۷۰ فجارول از یک دما برای کریستالیزاسیون جزء به جزء چربی شیر استفاده نمود و دو جزء نرم و سخت را جداسازی کرد که اختلاف بین نقاط نرم‌شدن این دو جزء $16/1^{\circ}\text{C}$ و اختلاف بین عدد یدی آنها $5/7$ بود (۱۰). آنتیلا و همکاران برای جزء به جزء سازی از سانتریفوژ صاف‌کننده در آزمایشگاه و در سطح پایلوت استفاده کردند (۱). کایلیگان و همکاران قابلیت استفاده از اجزای چربی شیر را در کره گسترده‌ها بررسی کردند (۱۳). دیفنس مروری کامل بر کریستالیزاسیون جزء به جزء چربی شیر و عوامل مؤثر بر آن ارائه نمود. وی پیشنهاد کرد که اجزای چربی شیر را می‌توان به تنهایی یا به صورت مخلوط با نسبت‌های مختلف در

فرمولاسیون‌های چربی مواد غذایی به کار برد (۷). هریرا و همکاران سینتیک تبلور چربی شیر را بررسی نمودند (۱۱). اوشه و همکاران اثر کریستالیزاسیون جزء به جزء را بر روی افزایش مقدار اسید لینولئیک کنژوگه (Conjugated linoleic acid) (CLA) بررسی کرده و اعلام داشتند این اسید دارای خواص ضد سرطانی، ضد تصلب شرایین و ضد دیابتی می‌باشد (۱۵).

در کشور ما اغلب کره مصرفی به صورت وارداتی بوده و عمدتاً به شکل اولیه بسته بندی و برای صبحانه، تولید کیک، شیرینی و معطر نمودن غذا مصرف می‌گردد. به طور کلی چربی شیر کاربرد محدودی در صنایع مختلف غذایی دارد که از جمله دلایل آن قیمت بالای کره در مقایسه با چربی‌های نباتی هیدروژنه می‌باشد. طعم مطلوب و منحصر به فرد چربی شیر نیاز مبرم به استفاده آن در صنعت از یک طرف و خصوصیات عملکردی پایین آن از طرف دیگر، صاحبان صنایع را وادار می‌کند تا دنبال اصلاح چربی شیر باشند و بدین وسیله خصوصیات عملکردی آن را بالا ببرند. چربی شیر از تری‌آسیل‌گلیسرول‌های مختلف با نقطه ذوب متفاوت تشکیل شده و هر بخش از آن به تنهایی می‌تواند کاربرد مطلوبی داشته باشد. یعنی با کریستالیزاسیون جزء به جزء چربی شیر می‌توان معایب آن را برطرف نموده و دقیقاً چربی سفارش شده‌ای را برای کاربردهای مختلف تهیه کرد (۹).

از طرف دیگر چربی‌های استفاده شده در صنعت غذایی کشور در خیلی مواقع مناسب برای هدف مشخص نبوده و اغلب از چربی‌های جایگزین استفاده می‌شود. برای مثال در صنعت بستنی‌سازی برای روکش بستنی باید از کره کاکائو، جزء سخت چربی شیر و چربی نباتی با نسبتی مشخص استفاده گردد. در حالی که اغلب چربی استفاده شده در روکش بستنی، چربی نباتی بوده و سبب نامطلوب بودن کیفیت آن در حین مصرف می‌گردد، یا در صنعت شکلات سازی از کره کاکائو به همراه جانشین‌های آن استفاده می‌شود که همگی وارداتی بوده، قیمت بالایی دارند و سبب افزایش قیمت محصول تمام شده

می‌گردند. به نظر می‌رسد با استفاده از جزء سخت چربی شیر که بالطبع قیمت پایین‌تری داشته و می‌تواند حجم زیادی از مصرف کره کاکائو را کم کند، از میزان واردات این ماده اولیه کاسته می‌شود.

در این تحقیق چربی شیر تحت عمل کریستالیزاسیون جزء به جزء قرار گرفته و سپس بر روی اجزای به دست آمده آزمایش‌های درصد چربی جامد (SFC) و عدد یدی انجام و مقایسه گردید و بر اساس نتایج به دست آمده، کاربرد هر جزء در صنایع غذایی معرفی شد.

مواد و روش‌ها

ماده عمده مورد نیاز کره بود که از کارخانه پاک (تولید ساری، جدا شده از شیر گاو خریداری شده از منطقه) و سایر مواد شیمیایی از کمپانی مرک با درجه آنالیتیک تهیه شد.

تعیین خصوصیات شیمیایی کره مورد استفاده

در مرحله اول خصوصیات شیمیایی کره شامل مقدار چربی و رطوبت به ترتیب با بوتیرومتر ژربر و روش تقطیر با تولوئن (۸)، عدد یدی، عدد صابونی، عدد اسیدی و عدد پراکسید طبق روش AOCS اندازه‌گیری گردید (۲).

کریستالیزاسیون جزء به جزء

در مرحله بعد کره در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد ذوب شده و در این دما توسط دکانتور آب‌گیری (سرم‌گیری) گردید. بعد از آن روغن کره به دست آمده به مدت نیم ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. علت انتخاب دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد این بود که در این دما کلیه هسته‌های اولیه بلورین چربی و پایدارترین کریستال‌های موجود در آن ذوب شود (۵). روغن کره سپس در ظرف دستگاه تبلور (انکوباتور یخچال دار (VELP, FOC 22SI) به همراه دستگاه هم‌زن با دور متغیر ریخته شد و در دماهای مشخص و زمان‌های تعیین شده قرار گرفت تا کریستالیزاسیون جزء به جزء صورت گیرد. سه مدت

زمان ۶، ۱۳/۵ و ۱۸ ساعت برای سه دامنه دمایی ۳۵-۳۰، ۲۲-۱۷ و ۱۰-۵ °C اعمال گردید و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد. در مرحله اول روغن کره ذوب شده با ۲۰-۳۰ دور در دقیقه و دمای ۳۵ °C (تکرار اول) به مدت ۶ ساعت هم زده شد. سپس فاز جامد و مایع به مدت ۲۰ دقیقه توسط سانتیفریژ با دور ۱۶۰۰۰ rpm جدا و فاز مایع وارد مرحله دوم تبلور شد (۵). فاز مایع به مدت نیم ساعت تا دمای ۶۵ °C گرم شده و همانند مرحله قبل در ظرف هم‌زن با همان دور این بار در دمای ۲۲ °C به مدت ۶ ساعت هم زده شد. فاز مایع توسط سانتیفریژ با همان دور و زمان، جدا شده و وارد مرحله سوم کریستالیزاسیون جزء به جزء گردید. فاز مایع به مدت نیم ساعت تا ۶۵ °C گرم و به ظرف هم‌زن وارد و به مدت ۶ ساعت با همان دور در دمای ۱۰ °C هم زده شد. پس از پایان مدت زمان لازم عمل جداسازی دو فاز به وسیله سانتیفریژ انجام گرفت. لازم به ذکر است که فازهای جامد جدا شده در هر مرحله پس از توزین در دمای ۱۸ °C -نگهداری شد.

در تکرار دوم و سوم به ترتیب از دماهای ۳۲/۵ و ۳۰ °C برای مرحله اول، ۱۹/۵ و ۱۷ °C برای مرحله دوم و ۷/۵ و ۵ °C برای مرحله سوم استفاده شد. تمامی مراحل فوق به جای ۶ ساعت در مدت زمان‌های ۱۳/۵ و ۱۸ ساعت تکرار شد. برای تنظیم دما از انکوباتور یخچال‌دار استفاده شد که دامنه دمایی ۵-۵۰ °C را تأمین نمود. به منظور انجام بهتر آزمایش‌ها تبلور کننده به طور کامل در داخل انکوباتور قرار گرفت.

فازهای جامد جدا شده در دامنه دمایی ۳۵-۳۰، جزء مربوط به نقطه ذوب بالا (HMF)، فازهای جامد جدا شده در دامنه دمایی ۲۲-۱۷، جزء مربوط به نقطه ذوب متوسط (MMF) و فازهای جامد جدا شده در دامنه دمایی ۱۰-۵ °C، جزء مربوط به نقطه ذوب پایین (LMF) نامیده شد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده در نهایت تعداد ۲۷ جزء از کره جداسازی شد که ۹ جزء مربوط به فراکسیون HMF، ۹ جزء مربوط به فراکسیون MMF و ۹ جزء دیگر مربوط به فراکسیون LMF بودند.

جدول ۱. خصوصیات شیمیایی کره مورد استفاده

مقدار	خصوصیات
۸۵	چربی (%)
۱۴/۶۵	رطوبت (%)
۳۰/۶	عدد یدی (%)
۲۳۲/۸	عدد صابونی
۰/۴	عدد پراکسید
۰/۴۲	عدد اسیدی

آمده از کریستالیزاسیون جزء به جزء در جدول ۲ نشان داده شده است. با مقایسه اعداد یدی کره اولیه و اجزای به دست آمده دیده می‌شود که جزء HMF عدد یدی پایین‌تر و جزء LMF دارای عدد یدی بالاتری نسبت به کره اولیه بوده و عدد یدی جزء MMF شبیه عدد یدی کره اولیه می‌باشد، از این رو می‌توان به اختلاف ماهیت اجزا پی برد که دارای درجه اشباعی متفاوت هستند، در واقع می‌توان بیان کرد که اسیدهای چرب اشباع کره اولیه بین اجزای مختلف پخش شده است (۱۶).

جدول ۳ درصد اجزای به دست آمده (راندمان) از کریستالیزاسیون جزء به جزء نمونه چربی را پس از مدت زمان‌های ۶، ۱۳/۵ و ۱۸ ساعت و در دماهای مختلف نشان می‌دهد. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که به طور کلی درصد جزء یا فراکسیون HMF در تمامی زمان‌ها با کاهش دما، افزایش می‌یابد ولی این روند در مورد درصد فراکسیون‌های MMF و LMF در تمامی زمان‌ها با کاهش دما، کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت اگر در صنعت هدف از عمل کریستالیزاسیون جزء به جزء در چربی شیر، تهیه HMF برای مصارف خاص خود باشد در دمای کمتر (30°C)، جزء یا فراکسیون HMF بیشتری را می‌توان تفکیک نمود و برای تهیه بیشتر دو فراکسیون MMF و LMF برای مصارف خاص خود در صنعت به دمای بیشتری (به ترتیب ۲۲ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد) در مدت زمان یکسان نیاز هست.

اندازه‌گیری درصد چربی جامد (SFC) اجزای به دست آمده
درصد چربی جامد در یک مخلوط روغن یا چربی بسیار مهم بوده و بر نقطه ذوب، پلاستیسیته و خواص فیزیکوشیمیایی محصول مؤثر است و دامنه کاربرد آن را مشخص می‌نماید (۱۴). در این روش نمونه چربی ابتدا در هر دمایی که SFC آن اندازه‌گیری گردید به مدت ۳۰ دقیقه نگه‌داری شد و سپس نمونه در محفظه قرائت دستگاه NMR (Bruker, Minispec pc 100, Germany) قرار داده شد، درصد چربی جامد در دامنه دمایی $40-0^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید (AOCS Cd16-81).

اندازه‌گیری عدد یدی اجزای به دست آمده
از آنجا که عدد یدی نیز ملاکی برای تعیین اختلاف درجه اشباعی چربی‌هاست، عدد یدی اجزای مطابق AOCS با روش Cd1-25 اندازه‌گیری شد.

طرح آماری

به منظور بررسی آماری نتایج از طرح تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها از آزمون t جفت شده و برای تجزیه و تحلیل آنها از نرم افزار آماری SPSS استفاده شده است.

نتایج و بحث

خصوصیات کره اولیه در جدول ۱ و عدد یدی اجزای به دست

جدول ۲. عدد یدی اجزای به دست آمده از کریستالیزاسیون جزء به جزء نمونه چربی

عدد یدی، %			جزء یا فراکسیون
۱۸ ساعت	۱۳/۵ ساعت	۶ ساعت	
HMF			
۲۸/۱ ^a	۲۸/۷ ^a	۲۸/۰ ^a	۳۵ °C
۲۸/۰ ^a	۲۹/۰ ^a	۲۸/۲ ^a	۳۲/۵ °C
۲۹/۰ ^a	۲۷/۷ ^a	۲۹/۰ ^a	۳۰ °C
MMF			
۳۰/۴ ^c	۳۰/۲ ^c	۲۹/۰ ^c	۲۲ °C
۲۹/۰ ^c	۳۰/۰ ^c	۲۹/۳ ^c	۱۹/۵ °C
۳۰/۰ ^c	۲۹/۵ ^c	۲۹/۶ ^c	۱۷ °C
LMF			
۳۳/۷ ^b	۳۴/۵ ^b	۳۲/۸ ^b	۱۰ °C
۳۳/۴ ^b	۳۳/۵ ^b	۳۳/۴ ^b	۷/۵ °C
۳۶/۶ ^b	۳۴/۵ ^b	۳۴/۲ ^b	۵ °C

حروف a و b: نشان دهنده اختلاف معنی دار بین اعداد یدی اجزای در سطح ۵٪

و حرف c نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در این سطح می باشد.

جدول ۳. درصد اجزای به دست آمده (راندمان) از کریستالیزاسیون جزء به جزء نمونه چربی

مدت زمان کریستالیزاسیون(ساعت)			جزء
۱۸	۱۳/۵	۶	
درصد			
			HMF
۱۸/۶	۲۷/۸	۲۰	۳۵ °C
۳۵/۶	۳۴	۳۹/۳	۳۲/۵ °C
۵۱/۴	۴۱	۶۰/۶	۳۰ °C
			MMF
۴۰/۵	۴۴/۶	۴۵	۲۲ °C
۲۸/۲	۲۸/۱	۲۸/۴	۱۹/۵ °C
۲۸/۴	۳۳/۱	۱۵/۶	۱۷ °C
			LMF
۳۷/۹	۲۴/۶	۳۱	۱۰ °C
۳۳/۲	۳۴/۹	۲۹/۲	۷/۵ °C
۱۷/۳	۲۲/۹	۲۰/۸	۵ °C

جدول ۴، میانگین درصد چربی جامد ۲۷ جزء جدا شده از نمونه چربی (۹ جزء از هر کدام از HMF، MMF و LMF) که در دستگاه NMR قرائت شده است را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول مشخص می‌شود که جزء HMF نسبت به جزء MMF و LMF و هم‌چنین جزء MMF نسبت به جزء LMF در دماهای مشخص، درصد چربی جامد بالاتری دارد. البته تفاوت بین درصد چربی جامد اجزا در مدت زمان‌های مختلف متغیر است (۱۷). برای بررسی معنی‌دار بودن درصد چربی جامد اجزای به دست آمده، مطابق جدول ۵، نمونه‌های جفت شده به روش آزمون t مقایسه آماری گردید و معنی داری تفاوت آنها مشخص شد. نتایج این جدول نشان می‌دهد که به جز جفت‌های HMF8-MMF8، HMF5-MMF5، HMF1-MMF1، HMF2-MMF2، HMF4-MMF4، بین ۲۲ جفت بقیه از نظر درصد چربی جامد، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ دیده می‌شود و نیز می‌توان نتیجه گرفت این روش جداسازی در حد نسبتاً زیادی توانسته است اجزای متفاوتی از نظر درصد چربی جامد و بالطبع متفاوت از نظر نقطه ذوب، پلاستیسیته و خواص فیزیکوشیمیایی را تفکیک نماید (۱۴).

در مورد این که کدام مدت زمان نگه‌داری برای کریستالیزاسیون جزء به جزء مناسب‌تر است، نتایج نشان می‌دهد (جدول ۳-۴)، مدت زمان ۶ ساعت، اجازه تشکیل کامل‌تر تری‌گلیسریدهای جامد از روغن کره را نداده و اجزای به دست آمده از مدت زمان نگه‌داری ۱۸ ساعت نیز تفاوت زیادی با مدت زمان ۱۳/۵ ساعت ندارند. به نظر می‌رسد چون مدت زمان بیشتر مستلزم هزینه و وقت بیشتری است، بنابراین زمان ۱۳/۵ ساعت توصیه می‌شود. هم‌چنین در مورد دامنه دمایی مناسب باید گفت که در هر دما درصدی از روغن کره به صورت جامد و درصدی به صورت مایع در می‌آید، برای نمونه این درصد در دماهای ۱۲ و ۱۳ درجه سانتی‌گراد، متفاوت است، بنابراین بنا به توصیه کالگیان لازم است ابتدا نقش مورد نظر چربی در ماده غذایی بررسی شود، آن گاه عمل

کریستالیزاسیون جزء به جزء روی آن انجام گیرد و نمی‌توان بدون مشخص نمودن مورد استفاده، دمای بهینه جداسازی را مشخص کرد (۱۲). مثلاً در مورد روکش بستنی چون لازم است چربی مورد استفاده در درجه حرارت بدن یا کمتر از آن ذوب شود، بنابراین بهتر است جداسازی جزء HMF در دمایی انتخاب گردد که این مهم صورت پذیرد. یعنی بهتر است جزء مورد نظر در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد مایع بوده و هم‌زمان با کاهش دما درصد چربی جامد آن زیادتر شود تا استحکام کافی را نیز در روکش فراهم آورد (۱۸).

از مراحل مهم و تکنیکی در جزء به جزء سازی، جداسازی فازهای تشکیل شده است. زیرا معمولاً مقداری از فاز مایع در شبکه کریستالی جامد به دام می‌افتد و به این ترتیب سبب کاهش درصد چربی جامد آن شده و قابلیت آن را کاهش می‌دهد. معنی‌دار نبودن اختلاف عدد یدی اجزای HMF و MMF و هم‌چنین MMF و LMF در جدول ۲ دلیل اثبات این مدعاست که جداسازی این اجزا به طور کامل انجام نگرفته است. نکته قابل توجه این که علی‌رغم جدا نشدن کامل این اجزا، از لحاظ فیزیکی، در مرحله عمل این فازها کاملاً از یکدیگر مجزا بوده و به راحتی از هم جدا می‌شدند (به شکلی که پس از سانتریفوژ کردن دو لایه کاملاً مجزا تشکیل می‌شد، لایه زیرین به صورت کاملاً جامد و کریستالی و لایه فوقانی به صورت کاملاً مایع). ولی همان گونه که ذکر شد وجود فاز مایع به دام افتاده در فاز جامد سبب کاهش درصد چربی جامد جامد گردیده و این امر موجب نزدیک بودن درصد چربی جامد بعضی از اجزای جدا شده توسط سانتریفوژ گردید (۱۳). اگر جداسازی فازها به صورت کامل انجام گیرد، درصد چربی جامد آنها نیز تغییر کرده و اختلاف بین اجزا بارزتر خواهد بود، بنابراین بهتر است از روش‌های جداسازی پیچیده‌تر با راندمان بالاتر مانند صاف کردن تحت خلأ استفاده شود (۱۶) اگر چه منجر به افزایش هزینه این فرایند گردد. از طرفی چون هدف از این پژوهش استفاده از روش ساده‌تر، ارزان‌تر و با کاربرد صنعتی بیشتر بود از روش مزبور استفاده گردید و نتایج آن نیز

جدول ۴. میانگین درصد چربی جامد ۲۷ جزء جدا شده از نمونه چربی در دماهای مختلف

درصد SFC در دماهای مختلف (°C)									دمای جزء جدا شده	زمان جزء جدا شده، (ساعت)	اجزای جدا شده
۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۰	(°C)		
۰/۵	۱۶/۱۵	۲۰	۲۸/۷	۳۷/۲۶	۴۵	۶۲	۶۶	۹۳	۳۵	۶	HMF1
۰/۳	۱۲	۱۶	۲۵	۳۰	۳۸	۵۵	۶۰	۹۰	۲۲	۶	MMF1
۰/۲۸	۱۰	۱۴/۰.۸	۱۵	۱۹/۳.۴	۲۷/۷.۵	۴۷/۰.۱	۵۴/۵.۴	۸۷	۱۰	۶	LMF1
۰/۳۳	۱۷/۳	۲۲	۲۸	۳۷/۸	۴۵/۹	۶۵	۷۰	۹۵	۳۲/۵	۶	HMF2
۰/۲۴	۱۴	۱۷	۲۳/۳.۱	۳۱/۱.۳	۴۱/۷	۵۹	۶۴/۹.۲	۹۲	۱۹/۵	۶	MMF2
۰/۲	۱۰	۱۳/۸.۵	۱۴/۱.۹	۱۷/۹.۷	۲۴/۴.۹	۴۴/۶	۵۰/۵.۱	۸۰	۷/۵	۶	LMF2
۰/۲۶	۱۸	۲۱	۲۴/۵.۳	۳۰/۵.۸	۵۰	۶۵	۷۰	۹۵	۳۰	۶	HMF3
۰/۲۴	۱۴	۱۷	۲۲/۰.۹	۲۶	۴۰/۱.۵	۵۸	۶۳	۹۱	۱۷	۶	MMF3
۰/۲۲	۱۱/۴.۳	۱۳/۶.۳	۱۳/۷.۹	۲۰/۹.۸	۲۳/۸.۱	۴۳/۶	۵۲/۲.۲	۸۷/۵.۶	۵	۶	LMF3
۰/۲۶	۱۹/۰.۱	۲۲/۵.۵	۲۸/۵	۳۳/۶	۴۴/۸.۸	۶۴	۶۸	۹۵	۳۵	۱۳/۵	HMF4
۰/۲۵	۱۶/۲.۳	۱۸	۲۲/۵.۶	۲۹/۵	۳۹/۳	۵۵	۶۰	۸۹	۲۲	۱۳/۵	MMF4
۰/۲۴	۱۳/۰.۳	۱۳/۲.۱	۱۴/۰.۴	۱۸/۵.۳	۲۴/۳.۴	۴۴/۹.۶	۵۰/۸.۲	۸۰	۱۰	۱۳/۵	LMF4
۰/۲۷	۱۸/۳.۳	۲۲/۵.۷	۲۷/۳	۳۷/۵	۴۶/۳.۳	۶۵	۷۲	۹۵	۳۲/۵	۱۳/۵	HMF5
۰/۲۲	۱۵/۰.۱	۱۸/۹	۲۳/۳.۸	۳۴/۴	۴۱/۲.۹	۶۱/۴.۳	۶۷/۲.۸	۹۰	۱۹/۵	۱۳/۵	MMF5
۰/۲۵	۱۳/۵.۴	۱۳/۷.۱	۱۴/۷.۸	۱۶/۵.۱	۲۴/۴.۳	۴۶/۰.۳	۵۳/۵	۸۰	۷/۵	۱۳/۵	LMF5
۰/۲۴	۱۵/۷.۶	۲۱/۶.۸	۲۶/۶.۵	۳۵/۸	۴۲/۴.۷	۶۲/۲.۲	۶۷/۰.۵	۹۴	۳۰	۱۳/۵	HMF6
۰/۲۲	۱۴/۲.۲	۱۴/۷.۲	۱۹/۶.۶	۲۷/۶.۴	۳۵/۰.۲	۵۵	۶۱/۰.۷	۹۱	۱۷	۱۳/۵	MMF6
۰/۲۳	۱۱/۵	۱۳	۱۴	۱۹	۲۵	۳۴/۳.۲	۴۰/۱.۸	۸۰	۵	۱۳/۵	LMF6
۰/۲۶	۱۴/۵.۵	۲۰/۲.۸	۲۶/۳.۳	۳۲/۴.۴	۴۰/۲.۲	۶۰/۹.۸	۶۸/۵.۴	۹۵	۳۵	۱۸	HMF7
۰/۲۴	۱۳	۱۸/۲.۸	۲۲/۶.۸	۲۶/۳.۵	۳۵/۲.۳	۵۵/۲.۹	۶۲/۳.۵	۹۰	۲۲	۱۸	MMF7
۰/۲۳	۱۱/۱.۳	۱۴/۰.۶	۱۴/۰.۹	۱۸/۷.۳	۲۲/۷.۶	۴۲/۵.۹	۵۱/۵	۸۰	۱۰	۱۸	LMF7
۰/۲۵	۱۷/۶.۸	۲۰/۲.۲	۲۷/۳.۷	۳۳/۵.۶	۴۸/۶.۵	۶۰	۶۷	۹۴	۳۲/۵	۱۸	HMF8
۰/۲۳	۱۴/۱.۹	۱۷/۵.۶	۲۴/۶.۲	۳۰/۰.۳	۴۴/۵.۶	۵۵/۸.۴	۶۳	۹۰	۱۹/۵	۱۸	MMF8
۰/۲	۱۲	۱۲/۰.۸	۱۴/۹.۱	۱۸/۸.۳	۲۳/۹.۹	۴۶/۵.۷	۵۳/۱.۳	۸۰	۷/۵	۱۸	LMF8
۰/۲۶	۱۶/۳.۷	۲۲/۴.۹	۲۹/۵.۶	۳۵/۲.۲	۳۵/۲.۲	۶۴/۱.۴	۶۷/۰.۵	۹۳	۳۰	۱۸	HMF9
۰/۲۳	۱۴/۰.۹	۱۴/۵.۹	۱۹/۶.۵	۲۴/۴.۱	۲۴/۴.۱	۵۵/۲	۶۱/۱.۱	۹۰	۱۷	۱۸	MMF9
۰/۲۳	۱۲	۱۲/۸	۱۳/۸.۱	۱۶/۸.۳	۱۷/۰.۷	۳۷	۴۶/۰.۱	۸۰	۵	۱۸	LMF9

جدول ۵. مقایسه اجزای به دست آمده به روش آزمون t جفت شده

مقایسه جفت به جفت اجزای به دست آمده	اختلاف میانگین جفت شده	انحراف معیار	معنی دار بودن جفت ها	مقایسه جفت به جفت اجزای به دست آمده	اختلاف میانگین جفت شده	انحراف معیار	معنی دار بودن جفت ها
HMF1 - MMF1	۴/۷۹	۲/۴۵	۰/۰۰۰	MMF5 - LMF5	۹/۹۱	۶/۶۳	۰/۰۰۲**
HMF1 - LMF1	۱۰/۴۰	۶/۱۰	۰/۰۰۱**	HMF6 - MMF6	۵/۲۶	۲/۹۶	۰/۰۰۲**
MMF1 - LMF1	۵/۶۱	۴/۰۲	۰/۰۰۳**	HMF6 - LMF6	۱۴/۲۹	۹/۳۵	۰/۰۰۱**
HMF2 - MMF2	۴/۲۲	۱/۹۴	۰/۰۰۰	MMF6 - LMF6	۹/۰۴	۷/۶۵	۰/۰۰۸**
HMF2 - LMF2	۱۳/۹۵	۷/۳۵	۰/۰۰۳**	HMF7 - MMF7	۳/۹۱	۲/۲۳	۰/۰۰۱**
MMF2 - LMF2	۹/۷۲	۶/۰۰	۰/۰۰۱**	HMF7 - LMF7	۱۱/۵۰	۶/۶۸	۰/۰۰۱**
HMF3 - MMF3	۴/۷۶	۲/۸۶	۰/۰۰۱**	MMF7 - LMF7	۷/۵۹	۴/۶۰	۰/۰۰۱**
HMF3 - LMF3	۱۱/۸۹	۸/۲۵	۰/۰۰۳**	HMF8 - MMF8	۳/۱۹	۱/۳۱	۰/۰۰۰
MMF3 - LMF3	۷/۱۳	۵/۶۵	۰/۰۰۵**	HMF8 - LMF8	۱۱/۹۰	۶/۸۵	۰/۰۰۱**
HMF4 - MMF4	۵/۱۱	۲/۶۹	۰/۰۰۰	MMF8 - LMF8	۸/۷۰	۵/۹۱	۰/۰۰۲**
HMF4 - LMF4	۱۲/۹۶	۶/۶۴	۰/۰۰۱**	HMF9 - MMF9	۶/۷۳	۴/۱۵	۰/۰۰۱**
MMF4 - LMF4	۷/۸۵	۴/۴۹	۰/۰۰۱**	HMF9 - LMF9	۱۴/۱۳	۸/۴۰	۰/۰۰۱**
HMF5 - MMF5	۳/۶۰	۱/۵۱	۰/۰۰۰	MMF9 - LMF9	۷/۳۹	۶/۱۳	۰/۰۰۷**
HMF5 - LMF5	۱۳/۵۰	۷/۶۱	۰/۰۰۱**				

** : اختلاف معنی دار در سطح ۱٪

تا حد زیادی رضایت بخش بود. گرچه پیشنهاد می شود در بهینه سازی روش مورد استفاده که جنبه کاربردی بهتری در صنعت دارد، مطالعات و تحقیقات دنبال گردد.

نتیجه گیری

همان طور که جداول ۲ تا ۵ نشان می دهد بین نقطه ذوب، عدد یدی، درصد چربی جامد و در نتیجه خواص فیزیکوشیمیایی اکثر اجزای به دست آمده در دماهای مشخص اختلاف وجود

دارد و هر جزء در هر دمایی نقطه ذوب مخصوص به خود را داراست. ولی از آن جایی که به دلیل دامنه ذوب گسترده کره نمی توان از کره به تنهایی در فرمولاسیون های غذایی استفاده کرد، بنابراین با کریستالیزاسیون جزء به جزء چربی شیر می توان دامنه استفاده از آن را بالاتر برده و از این اجزا به جای کره استفاده نمود، بنابراین به نظر می رسد HMF به دلیل داشتن درصد چربی جامد بیشتر در دماهای مختلف در روکش ها و در شکلات ها به عنوان جایگزین کره کائو مناسب است

(۱۲). از جزء MMF نیز در شیرینی‌ها و کیک‌ها به دلیل خصوصیت لایه‌دار کردن (Layering) خوبی که از خود نشان می‌دهد، می‌توان استفاده نمود (۱۶). همچنین پیشنهاد می‌شود از جزء LMF در فرمولاسیون بستنی استفاده شود، چون عقیده بر این است که ساختار صحیح بستنی با این نوع چربی به دست می‌آید (۱۲).

منابع مورد استفاده

1. Antila, V. 1984. Milk and its modification. Contribution at a LIPIDFORUM Symposium, Goteborg, January 26-28, 84-91.
2. AOAC. 1989. Official and Tentative Methods of the American Oil Chemists' Society: Additions and Revisions. 4th ed., Champaign, IL. USA.
3. Boudreau, A. and J. Arul. 1993. Cholesterol reduction and fat fractionation technologies for milk fat, an overview. J. Dairy Sci. 76: 1772-1781.
4. Bradley, R. L. 1989. Removal of cholesterol from milk using supercritical carbon dioxide. J. Dairy Sci. 72: 2834-40.
5. Breeding, C. J. and R. T. Marshall. 1995. Crystallization of butter oil and separation by filter-centrifugation. J. Amer. Oil Chem. Soc. 72: 449-453.
6. Campos, R. J., J. W. Litwinenko and A. G. Marangoni. 2003. Fractionation of milk fat by short-path distillation. J. Dairy Sci. 86:735-745.
7. Deffense, E. 1993. Milk fat fractionation today: A review. J. Amer. Oil Chem. Soc. 70: 1193-1201.
8. Egan, H., R. S. Kirk and R. Sawyer. 1987. Pearson's Chemical Analysis of Foods. 8th ed., Avon: Longman Scientific and Technical, England.
9. Eyres, L., P. M. Boon and D. Illingworth. 1988. Tailored food ingredients from fractionated milk fat. Paper presented at the 3rd International Exhibition and Conference on Ingredients and Additives, November 15-17, London.
10. Fjaervoll, A. 1970. Fractionation of milk fat. P. 239. In: Proceeding of XVIII International Dairy Congress, Sydney, Australia.
11. Herrera, M. L., M. Gatti de leon and R. W. Hartel. 1999. A kinetic analysis of crystallization of a milk fat model system. Food Res. Int. 32: 289-298.
12. Kaylegian, K. E. 1999. The production of specialty fat ingredients. J. Dairy Sci. 82: 1433-39.
13. Kaylegian, K. E., R. W. Hartel and R. C. Lindsay. 1993. Applications of modified milk fat in food products. J. Dairy Sci. 76: 1782-1796.
14. Mortensen, B. K. 1983. Physical properties and modification of milk fat. pp. 159-194. In: P. F. Fox. (Ed.), Developments in Dairy Chemistry. Vol. 2, Elsevier Appl. Sci., London.
15. O'shea, M., R. Devery, F. Lawless, K. Keogh and C. Staton. 2000. Enrichment of the conjugated linoleic acid content of bovine milk fat by dry fractionation. Int. Dairy J. 10: 289-294.
16. Rajah, K. K. 1996. Fractionation of fat. P. 207. In: A. S. Grandison and M. J. Lewis (Eds.), Separation Process in the Food and Biotechnology Industries. Wood Head Pub., Cambridge, UK.
17. Rossell, J. B. 1985. Fractionation of lauric oils. J. Amer. Oil Chem. Soc. 62: 385-90.
18. Walstra, P. 1999. Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes (Food Science and Technology). Marcel Dekker Pub., New York.